

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ TASARIM VE
ANALİZLERİNDE ZEMİN PARAMETRELERİNİN ETKİSİ**

Halil KARAKAYA

**Danışman
Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2019**



© 2019 [Halil KARAKAYA]

TEZ ONAYI

Halil KARAKAYA tarafından hazırlanan "**Jeosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Tasarım ve Analizlerinde Zemin Parametrelerinin Etkisi**" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri üyeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı**'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Dr. Öğretim Üyesi Ali YALÇIN
Süleyman Demirel Üniversitesi

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Ahmet YILDIZ
Afyon Kocatepe Üniversitesi

Enstitü Müdürü

Doç. Dr. Şule Sultan UĞUR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Halil KARAKAYA



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Amaç ve Kapsam.....	1
1.2. Tezin Önemi	2
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	3
3. MATERYAL VE YÖNTEM	9
3.1. Materyal.....	9
3.2. Yöntem	9
3.2.1. Büro çalışmaları.....	9
3.2.2. Arazi çalışmaları.....	10
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	11
4.1. Jeosentetikler	11
4.1.1. Jeosentetiklerin hammaddeleri.....	11
4.1.2. Jeosentetiklerin çeşitleri	11
4.1.2.1. Geçirimli jeosentetikler	12
4.1.2.2. Geçirimsiz jeosentetikler	16
4.1.3. Jeosentetiklerin kullanım alanları	18
4.2. İstinat Yapıları	19
4.2.1. İstinat yapılarının sınıflandırılması	20
4.2.2. İstinat yapılarının kullanım alanları.....	23
4.3. Jeosentetik Donatılı İstinat Duvarları	24
4.3.1. Tanımı ve özellikleri	24
4.3.2. Çeşitleri ve bileşenleri	26
4.3.3. Tasarım esasları	29
4.4. Jeosentetik Donatılı İstinat Duvarı Uygulama Örneği.....	35
4.4.1. Uygulama alanının yeri ve morfolojik özellikleri	35
4.4.2. Jeoloji	37
4.4.3. Mühendislik jeoloji çalışmaları.....	40
4.4.3.1. Arazi çalışmaları.....	40
4.4.3.2. Zemin profili ve tasarım parametreleri.....	44
4.4.4. Jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımı ve stabilite hesapları	50
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	72
KAYNAKLAR	74
EKLER.....	78
EK-1 BBA Paragrid Sertifikası	79
EK-2 İncelenen 9 m Yüksekliğindeki Duvar Statik Hesap Çıktıları.....	88
EK-3 İncelenen 9 m Yüksekliğindeki Duvar Sismik Hesap Çıktıları	99
ÖZGEÇMİŞ.....	110

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

JEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARLARININ TASARIM VE ANALİZLERİNDE ZEMİN PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

Halil KARAKAYA

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

Bu tez çalışması kapsamında, günümüzde en önemli mühendislik yapılarından birisi olan istinat duvarlarının tasarım ve analizlerinden bahsedilmiştir. Polimer bazlı jeosentetik malzemelerin istinat duvarlarında kullanımının artmasının bir sonucu olarak, jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımı ve bu tasarımlarda zemin parametrelerinin önemi, duvar tasarımındaki etkin rolleri vurgulanmıştır.

Çalışma kapsamında jeosentetikler, istinat yapıları, jeosentetik donatılı istinat duvarları anlatılarak, jeosentetik donatılı istinat duvarlarının özellikleri, çeşitleri ve bileşenleri ile tasarım esasları ele alınmıştır. Birçok farklı mühendislik yapısında tercih edilebilen bu tip duvarların kentsel dönüşüm projesi kapsamında konut projesi örneği olarak Kocaeli'nin Dilovası ilçesinde yapılması planlanan, ön yüzü gabion görünümlü ve arka yüzü jeogrid ve yapısal dolgu ile desteklenmiş duvar tasarımı, kabul görmüş teori ve yöntemlerle ve bilgisayar yazılımı desteğiyle BS'e göre Limit Denge Analiz metoduyla kritik kesitler için statik ve sismik analizleri yapılmıştır.

Sonuç olarak; yapılan stabilite analizlerine göre, 9.0 m ve 13.0 m duvar yüksekliklerinin iç-dış stabilite koşullarında, normal ve sismik durumlar için yeterli güvenlik sayılarını karşıladığı anlaşılmıştır. Hesaplamaların temel dayanağı olan zemin parametrelerinin ise, temel sondaj, laboratuvar deneylerine dayandığı, ancak bu deneysel parametrelerin tasarım parametrelerine dönüştürülmesinde kişisel deneyimin ön plana çıktığı, yanlış seçilen parametrelerin aşırı maliyetli bir duvar yapılmasına neden olmakla birlikte duvarın yıkılması gibi sonuçları da ortaya çıkaracağı anlaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Jeosentetik donatı, istinat duvarları, zemin mekaniği

2019, 122 sayfa

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EFFECT OF SOIL PARAMETERS IN DESIGN AND ANALYSIS OF THE GEOSYNTHETIC REINFORCED RETAINING WALLS

Halil KARAKAYA

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geological Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK

In this thesis, design and analysis of retaining walls, which is one of the most important engineering structures, are mentioned. As a result of the increase in the use of polymer based geosynthetic materials on retaining walls, the design of geosynthetic reinforced retaining walls and the importance of the soil parameters in these designs and their effective role in wall design have been emphasized.

In this study, geosynthetics, retaining structures, retaining walls with geosynthetic reinforcement are explained and properties, types, components and design principles of retaining walls with geosynthetic reinforcement are discussed. As a part of this type of walls, which can be preferred in many different engineering structures, a gabion-shaped front side and supported by geogrid and structural backfill retaining wall which is planned to be built in Dilovası district of Kocaeli as an example of a housing project within urban design project has been analyzed statically and seismically for critical sections with Limit State Analysis method according to BS by using accepted theories and methods and supported by computer software.

As a result; according to the stability analysis, it was found that the wall heights of 9.0 m and 13.0 m meet sufficient safety numbers for normal and seismic conditions under internal-external stability conditions. It was understood that ground parameters, which are the main basis of the calculations, were based on basic drilling and laboratory experiments, but personal experience was prominent in the conversion of these experimental parameters to design parameters, and the wrongly chosen parameters would lead to overly costly wall construction but also result in the destruction of the wall.

Keywords: Geosynthetic reinforced, retaining walls, soil mechanic.

2019, 122 pages

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın Yüksek Lisans tezi olarak hazırlanmasını ve gerekli olanakları sağlayan, beni yönlendiren, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan değerli Danışman Hocam Prof. Dr. Mahmut MUTLUTÜRK'e teşekkürlerimi sunarım.

Saha uygulamalarında desteklerini esirgemeyen ve manevi yardımlarını gördüğüm Maccaferri Çevreci Mühendislik Çözümleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi çalışanlarından İnşaat Grup Yöneticisi İnşaat Yüksek Mühendisi Volkan ÜSTÜNEL ve Proje Koordinasyon Yöneticisi Jeoloji Mühendisi Süleyman Alp EKİZ'e, tasarım ve projelendirme anlamında, büro çalışmalarım kapsamında bilgi ve tecrübelerinden yararlanma fırsatı bulduğum Proje Teknik Yöneticisi İnşaat Yüksek Mühendisi Serap KAYMAKÇI ve Proje Mühendisi İnşaat Yüksek Mühendisi Ceren DEMİREL'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Ayrıca tez çalışması kapsamında her türlü imkânı sağlayan Süleyman Demirel Üniversitesi-Mühendislik Fakültesi-Jeoloji Mühendisliği Bölümü'ne de teşekkür ederim.

Tezimin imalat aşamasındaki desteklerinden dolayı Maccaferri Çevreci Mühendislik Çözümleri Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketine teşekkür ederim. Maccaferri'nin kendi yazılımı olan Macstars W'nin tez çalışmam kapsamında kullanılmasına imkân sağladıkları için ayrıca teşekkür ederim.

Çalışmamın her aşamasında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen aileme sonsuz teşekkür ederim.

Halil KARAKAYA
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 4.1. Jeosentetiklerin çeşitleri.....	12
Şekil 4.2. Bir istinat duvarının görünür yüzey ve arka dolgusu arasında koruma ve filtrasyon amaçlı jeotekstil uygulamasından bir görünüm.....	13
Şekil 4.3. Jeotekstillerin fonksiyonları.....	13
Şekil 4.4. Zemin-jeogrid kenetlenmesi	14
Şekil 4.5. Taşıma gücünü artırmak amaçlı dolgu altında jeogrid kullanımı ...	14
Şekil 4.6. Jeonet örneği	15
Şekil 4.7. Jeosentetik kil kaplamalar.....	16
Şekil 4.8. Bir atık toplama alanında jeomembran uygulaması.....	17
Şekil 4.9. Zeminin doğal ve istinat yapıları durumu.....	19
Şekil 4.10. Rijit istinat duvarı tipleri	21
Şekil 4.11. Kafes tipi istinat duvarı	22
Şekil 4.12. Donatılı zemin duvarı.....	22
Şekil 4.13. İstinat duvarı kullanım alanları.....	23
Şekil 4.14. Donatı yüzeyi ile dolgu arasındaki sürtünme kuvveti.....	24
Şekil 4.15. Donatılı zemin duvarların temel geometrisi ve bileşimi	25
Şekil 4.16. Tipik bir donatılı duvar en kesiti	26
Şekil 4.17. Jeogridlerin istiflenmesinden bir görünüm.....	27
Şekil 4.18. Arazide sıkışma kontrol testleri.....	28
Şekil 4.19. Donatılı zemin duvarlarında muhtemel dış stabilite durumları .	30
Şekil 4.20. Donatılı zemin duvar iç geometrisi ve üç boyutlu görünümü	34
Şekil 4.21. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.....	36
Şekil 4.22. İzmit Körfezi kuzeyi jeoloji haritası.....	38
Şekil 4.23. İzmit Körfezi kuzey alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti.....	39
Şekil 4.24. Sondaj vaziyet planı	41
Şekil 4.25. Kazı çalışmalarından bir görünüm.....	44
Şekil 4.26. Zemin profili ve istinat duvarı	45
Şekil 4.27. Duvar arka dolgusunun uygulanmasından bir görünüm.....	46
Şekil 4.28. Proje ön yüz kullanılacak taş kafesi ebat ve özellikleri.....	47
Şekil 4.29. Ön yüz elemanı bağlantı detayları.....	48
Şekil 4.30. 200 kN/m jeogrid uygulama aşamasından bir görünüm.....	49
Şekil 4.31. Program giriş penceresi	52
Şekil 4.32. Program arayüzü	52
Şekil 4.33. İncelenen 9m yüksekliğindeki duvarın en kesiti.....	53
Şekil 4.34. Tasarım standardının seçilmesi	53
Şekil 4.35. Proje genel bilgilerinin girilmesi.....	54
Şekil 4.36. Temel zeminin tasarım parametrelerinin girilmesi	55
Şekil 4.37. Arka dolgu parametrelerinin girilmesi	56
Şekil 4.38. Ön yüz malzeme parametrelerinin girilmesi	56
Şekil 4.39. a) Alt temel malzemesinin geometrisi b) Yapısal dolgu geometrisinin tanımlanması	57
Şekil 4.40. Ön yüzün geometrisi ve donatı geometrisinin girilmesi	58
Şekil 4.41. Jeogrid özelliklerinin tanımlanması	59
Şekil 4.42. İncelenen 9m yüksekliğindeki duvarın en kesiti.....	60
Şekil 4.43. Su tablası menüsü.....	61

Şekil 4.44. Sürşarj yükünün girilmesi.....	61
Şekil 4.45. Yükleme durumundaki model	62
Şekil 4.46. Yük kombinasyonlarının seçimi.....	63
Şekil 4.47. Toptan göçme yöntemi ve sınırlar	63
Şekil 4.48. Toptan göçme sonucu	64
Şekil 4.49. Kayma, dönme ve taşıma gücü güvenlik sayıları.....	64
Şekil 4.50. İç stabilite güvenlik sayısı.....	64
Şekil 4.51. Kocaeli bölgesi deprem derecelendirme haritası.....	67
Şekil 4.52. Deprem katsayılarının girilmesi	67
Şekil 4.53. İncelenen 13m yüksekliğindeki duvarın en kesiti	68
Şekil 4.54. İlk sıra ünite, kalıp kurulumu ve taş dolumu	70
Şekil 4.55. İlk sıra montajın tamamlanması	70
Şekil 4.56. Arka dolgu aşaması	70
Şekil 4.57. İkinci kademe saha görünümü	71
Şekil 4.58. Üçüncü kademe saha görünümü.....	71
Şekil 4.59. Duvarın bitmiş görünümü.....	71

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 4.1. Jeogrid özellikleri.....	15
Çizelge 4.2. TS 7994'e göre istinat yapılarının genel sınıflandırılması	20
Çizelge 4.3. Önerilen dolgu dene boyu dağılımı.....	28
Çizelge 4.4. Sondajlara ait bilgiler	42
Çizelge 4.5. Zeminin mekanik özellikleri	42
Çizelge 4.6. Kayaların mekanik ve mühendislik özellikleri.....	43
Çizelge 4.7. Duvar temel zeminin mühendislik özellikleri	44
Çizelge 4.8. Duvar arka dolgusunun mühendislik özellikleri	46
Çizelge 4.9. Ön yüzde kullanılacak taşların mühendislik özellikleri.....	47
Çizelge 4.10. Ön yüz çift bükümlü tel elemanı malzeme özellikleri.....	48
Çizelge 4.11. Jeogrid özellikleri	49
Çizelge 4.12. Kısmi güvenlik katsayıları	54
Çizelge 4.13. İncelenen 9m yüksekliğindeki duvara ait stabilite sonuçları ..	66
Çizelge 4.14. Duvar tipine göre r faktörü	67
Çizelge 4.15. İncelenen 9m yüksekliğindeki duvara ait sismik stabilite sonuçları	68
Çizelge 4.16. İncelenen 13m yüksekliğindeki duvara ait sismik stabilite sonuçları	69
Çizelge 4.17. İncelenen 13m yüksekliğindeki duvara ait sismik stabilite sonuçları	69

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

a	Etkin yer ivme katsayısı
ASTM	American Society for Testing and Materials
b	Donatı eni
BS	British Standarts
c	Kohezyon
c _u	Üniformluk katsayısı
d	Donatı kalınlığı
FHWA	Federal Highway Administration
F _R	Donatı sürtünme kuvveti
g	Yerçekim ivmesi
GS	Güvenlik katsayısı
K _a	Aktif itki
k _h	Yatay sismik yük katsayısı
kPa	Kilopaskal
KTS	Karayolları Teknik Şartnamesi
k _v	Düşey sismik yük katsayısı
L	Donatı uzunluğu
l _e	Donatılındırılan bölgenin uzunluğu
m	Metre
M _o	Devirmeye çalışan kuvvetlerin toplamı
MPa	Megapaskal
M _r	Devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin moment toplamı
M _{σ_v}	Meyerhof taban basıncı
P _d	Yatay kaydırma kuvvetleri
PGA	Peak ground acceleration
PI	Plastisite indisi
P _r	Yatay direnç kuvvetleri
RQD	Kaya kalitesi değerlendirmesi
S _h	Donatılar arası yatay mesafe
SK	Sondaj kuyusu
S _v	Donatılar arası düşey mesafe
TS	Türk Standartları
UU	Konsolidasyonsuz drenajsız
W _n	Su içeriği
σ _e	Donatı malzemesinin çekmeye dayanımı
Φ	İçsel sürtünme açısı
μ	Sürtünme katsayısı
γ _n	Doğal birim hacim ağırlık
q _{em}	Emniyetli taşıma gücü
q _{nihai}	Son taşıma gücü

1. GİRİŞ

1.1. Amaç ve Kapsam

Bu çalışma Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim dalında yüksek lisans tezi olarak hazırlanmıştır.

Günümüzde kırsal alanlardan kentlere yoğun göçler meydana gelmesi, kent nüfusunun giderek artmasına neden olmaktadır. Bu artış beraberinde mevcut arazilerin daha verimli kullanılması ihtiyacını oluşturmuş, çok katlı bodrum, yüksek katlı binalar, otopark, kanalizasyon, metro, tünel vb. alt yapı sistemlerine gereksinimi arttırmıştır. Küçük alanlarda derin kazıların yapılması, bu alanların duraylılığının sağlanması amacı ile bazı destekleme yapılarının yapılması gereğini doğurmuştur. Bu destekleme yapılarına istinat duvarları denilmektedir. İstinat duvarları yeraltı suyunun, temel zemin şartlarının, varsa çevre yapıların denge durumunu bazı hallerde bozabilir, bozulan bu dengeyi tekrar sağlamak kimi zaman çok maliyetli ve tehlikeli olabilir. Bu yüzden istinat duvarları tasarlanırken ve projelendirilirken birtakım aşamaların bu konuda uzman ve tecrübeli kişilerce dikkatli ve detaylı bir şekilde incelenmesi gerekmektedir.

Günümüz mühendisliğinde gerek altyapı ve yer kullanım ihtiyaçlarından, gerekse koruma ve güvenlik gibi birçok amaçla da yapılabilen istinat duvarlarında, son zamanlarda rijit ya da betonarme duvarların yanısıra jeosentetik donatılı duvarlar da tercih edilmektedir. Esnek sistemler olan bu istinat duvarlarında, yanal yöndeki yer değiştirmelerin önlenmesi amacı ile jeosentetik donatılar ya da başka bir deyişle zemin donatıları, uygun granüler özellikteki dolgularla beraber tabakalar halinde uygulanmaktadır. Bu tez kapsamında, jeosentetikle uygulanan esnek tipteki istinat duvar sistemleri ve bu duvar sistemlerinin kabul görmüş teoriler ve bilgisayar programları ile örnek uygulama projesi üzerinden hesaplanması, hesaplamalara zemin parametrelerinin etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

1.2. Tezin Önemi

İstinat duvarları, dayanma yapıları, toprak ya da zemin tutma yapıları olarak isimlendirilen mühendislik yapılarının inşasında, 1960'lı yıllardan itibaren zayıf zeminleri güçlendirmek amacıyla zemin içerisine çelik, polimer, sentetik vb. materyaller konulması ile daha ekonomik, çevreci ve modern istinat yapıları yapılmaya başlanmıştır.

Son zamanlarda Dünya ve Türkiye genelinde sürekli istinat duvarlarının göçmesi, can ve mal kayıpları ile büyük maddi hasarlar yaşanması bu duvarların tasarım ve uygulama aşamalarının irdelenmesi ve denetlenmesini daha gerekli kılmıştır.

Ülkemizde, bu tarz istinat yapılarını karayollarında, barajlarda, büyük şevlerde ve yarmalarda, köprü yaklaşım ayaklarında birçok farklı amaç için yaygın bir şekilde görmekteyiz. Bu yapıların doğru bir şekilde projelendirilmesi, özellikle tasarım ve uygulama safhaları arasındaki kopukluğun giderilmesi çok önem arz etmektedir. Bu tez çalışması ile, kullanılan tasarım yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönlerinin belirlenmesi, tasarımda kullanılan zemin parametrelerinin önemi, bu parametrelerin doğru şekilde seçilmesi ve istinat yapılarının tasarımındaki önemine vurgu yapılarak bilimsel çalışmalara ve jeosentetik donatılı istinat duvar uygulamalarına katkı sağlanacaktır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Jeosentetik ürünlerin mühendislik yapılarında kullanımı son zamanlarda artış göstermektedir. Bu tez çalışması kapsamında jeosentetiklerin istinat duvarlarında kullanımı araştırılmıştır. İstinat duvarlarında yanal toprak basınçları çok önem arz etmekle birlikte bilinen eski çalışmalar Coulomb ve Rankine'nin çalışmalarıdır. İstinat duvarlarının tasarımında halâ bu metotlar kullanılmaktadır. Sismik durum ele alındığı zaman çalışmalar maalesef laboratuvar deneyleri ve modeller üzerinden yapılan sayısal çalışmalarla sınırlı kalmıştır. Bu bölüm kapsamında yanal toprak basınçları, sismik yaklaşımlar ve tasarımda kullanılan sayısal çalışmalar özetlenmiştir.

Coulomb (1776), Rankine (1857), aktif ve pasif zemin basıncıyla ilgili teorileri, zemin dolgusunun içinde kırılma yüzeyi meydana gelinceye kadar yatay yönde zeminlerin yeterli miktarda hareket etmesine dayanır. Zemin kütlelerini tutan istinat duvarlarının maruz kalabileceği üç sınır değer vardır: duvarın hiçbir şekilde hareketine izin verilmemesi durumunda, duvarın maruz kalacağı sükunetteki toprak basıncı, duvarın dolgudan dışarı doğru hareketiyle zeminin mobilize olması sağlandıktan sonra meydana gelen aktif toprak basıncı, duvarın dolguya doğru yeterli miktarda hareket etmesiyle zeminin mobilize olması sağlandıktan sonra alabileceği pasif toprak basıncı. Aktif basınç, toprak basıncının alabileceği minimum değer olup duvarın dolgudan uzaklaşmasıyla oluşur ve göçme anında meydana gelir. Pasif basınç ise zeminde oluşan en büyük gerilme olup, zeminin kabarmasıyla göçme meydana gelmektedir.

Okabe (1926), Mononobe ve Matsuo (1929), tarafından, istinat duvarlarına depremden dolayı etkiyecek zemin basınçlarını belirlemeye yönelik çalışmalar yapılmıştır. Eşdeğer statik basınç adıyla anılan bu yöntem Coulomb kayma kaması teorisinden yararlanılarak geliştirilmiştir.

Seed ve Whitman (1970), Mononobe, Okabe ve Matsuo'nun yöntemlerinin uygunluğunu değerlendirmek için daha sonra birçok araştırma yapılmıştır. Seed ve Whitman'ın çalışması bu çalışmalardan biridir. Karmaşık sayısal

çözümlemelere dayalı olduğu için günümüzde bu tür problemler sayısal yöntemleri kullanan bilgisayar programları yardımıyla kolaylıkla çözülmektedir.

Wood (1973), tarafından istinat duvarına dinamik itkinin hesabının yapılması irdelenmiştir. Rijit duvarların dinamik davranışını; sabit, yanal olarak etkiyen ivme altında, homojen zemin üzerinde elastik çözümler kullanarak incelemiştir. Rijit duvarlara örnek olarak kaya üzerine inşa edilen fazla kütleyle sahip ağırlık tipi istinat duvarları, alttan ve üstten hareketleri kısıtlanmış bodrum duvarları verilebilir. Wood'un analitik modelini, rijit taban üzerine oturan iki rijit duvar arasına yerleştirilen zemin oluşturur. Duvarlar, birbirlerini etkilemeyecek kadar uzağa yerleştirilmiştir. Verilen hareket ivmesinin frekansının zeminin temel frekansının yarısından küçük olduğu durumlarda dolgu ivmesi büyütmesi ihmal edilmektedir.

Steedman ve Zeng (1990), zemin profili içinde ilerleyen düşey kayma dalgalarının yükseklik boyunca yarattığı faz farkının dikkate alındığı pseudo-dinamik bir çözüm yöntemi önermişlerdir. Steedman ve Zeng modeli sunulmuştur. Bu durumda duvara etkiyen sismik basınçlar, zemin kamasının bir dilimine etkiyen atalet kuvvetlerinin duvar yüksekliği boyunca entegre edilmesiyle elde edilmiştir.

Yunatçı vd. (2003), istinat yapılarının sismik yükler altında davranışı ve tasarım yöntemleri isimli çalışmalarında, istinat duvarlarının deprem etkilerine karşı koyacak şekilde tasarlanması üzerine çeşitli çözümlene yöntemleri geliştirilmiştir. Bunlardan ilki, yatay deprem yükünün yanal sismik katsayı ve duvarla etkileşime giren potansiyel zemin kütesinin çarpımları olarak temsil edildiği ve ek yükler altında denge koşullarının sağlanmaya çalışıldığı "pseudostatik" yöntemlerdir. Statik durumdaki Coulomb metodunun geliştirilmiş olan Mononobe-Okabe metodu, önerilen pseudostatik yöntemlerin ilkidir ve limit durum tasarımına olanak sağlamaktadır. Konu gelişip, duvar rijitliklerinin ve hareketlerinin yanal toprak basınçlarına etkisi fark edildiğinde, izin verilen yer değiştirmeye bağlı yöntemler ortaya çıkmıştır. Sonlu elemanlar metodu kullanılarak yapılan sayısal çözümlerle birlikte; küçük ölçekli

laboratuvar sarsma tablası modelleri, santrifüj model deneyleri, gerçek ölçekli arazi deneyleri istinat yapılarının sismik davranışının anlaşılmasında değer biçilemez rollere sahiptirler.

Öztürk ve Öztürk (2005), deprem bölgelerinde prefabrike betonarme istinat duvarlarının tasarımı adlı bir çalışma yapmıştır. Prefabrike sistemlerin; inşaat süresi kısalığı, işgücü ile kalıp ve iskeledeki tasarruf, iklim şartlarına bağlı olmama, imalat ve inşaatın birlikte sürdürülmesi, elemanlara ve birleşimlere istenilen şeklin verilebilmesi, iyi ve üniform bir kalitenin elde edilmesi gibi üstünlükleri bilinmekle beraber, prefabrikenin bilinen üstünlüklerinin betonarme istinat duvarlarında da kullanılabileceği düşünülerek gerçekleştirilen bu çalışmada prefabrike betonarme konsol ve nervürlü istinat duvarlarının tasarımı incelenmiştir. Deprem bölgelerinde geniş uygulama alanı bulan istinat duvarlarında düşey yükler ve toprak itkilerinin yanında deprem etkileri ve demiryolu titreşimleri de dikkate alınmıştır.

Emir (2005), donatılı zemin istinat duvarlarının statik ve dinamik yüklere göre tasarımını incelemiştir. Bu çalışma kapsamında 12 m yüksekliğinde donatılı bir zemin modeli temel alınarak 4 farklı statik analiz gerçekleştirmiştir. Bu analizlerin ilki doğal şevin statik toptan göçme analizi sonra duvarın statik analizi, istinat duvarı sistemine jeogridin uzama rijitliğinin etkisi ve en son donatılı şev dahil edilerek statik analiz tekrarlanmıştır. Deplasman, oturma, taşıma, göçme ve donatı kopma kontrolleri yapılmıştır. Yanal deplasman değerleri istenilen sınırlar içerisinde olduğundan donatılarda sıyrılma olmamıştır. Analiz sonucunda sistemin göçme stabilitesinin yükseldiği tespit edilmiştir. Duvarın yapmış olduğu yanal ötelenme %50 oranında ve tabanda oluşan maksimum gerilmede %20 oranında azalma gözlemlenmiştir. Bu çalışmada 12 m duvar yüksekliği alınarak 4 farklı statik analiz gerçekleştirilirken yapılan çalışmada 8 m, 12 m ve 16 m duvar yükseklikleri alınarak 216 adet statik analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada jeogrid uzunluğu istinat duvarının %55'i olarak alındığında toptan göçme güvenliğinin arttığı ve oturma değerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca, farklı duvar yüksekliklerine bağlı olarak farklı

jeogrid uzunluğu kullanılarak aralarındaki değişim gözlemlenmiş ve minimum jeogrid uzunluk oranı araştırılmıştır.

Özko (2006), jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımı Oasys Slope programı kullanarak temsili bir şevin stabilizasyonu ankraj, zemin çivisi ve jeosentetik donatılı ön dolgu uygulaması durumlarını incelemiştir. Bu çalışmada 3 ayrı ankraj uygulaması yapılmış ve şevin stabilitesini sağlamak için ankraj uygulamasının uygun yöntem olmadığı görülmüştür. Ankraj boylarını uzatmak yeterli olmayıp bu durum daha derinlerde kayma düzlemlerin oluşmasına sebep olmakta ve ekonomik olarak da uygun olmamaktadır. Bu çalışma şevli yüzeyde jeosentetik donatılı dolgu kullanılması bakımından yapılan çalışma ile benzer yönler taşırken bu çalışmada farklı olarak Oasys Slope programı ile analiz yapılarak şevli yüzeyde ankraj uygulaması yapılmıştır. Yapılan çalışmada ise, istinat duvarı yüksekliğine bağlı olarak minimum jeogrid uzunluğunun ne kadar olması gerektiği gözlemlenmiş ve ekonomik yarar sağlanmaya çalışılmıştır.

Yenidoğan (2006), bir tez çalışması yapmıştır. Tezin hazırlanmasının amacı istinat duvarlarının sismik tasarımında kullanılan yarı-statik yöntemlerin irdelenmesi ve istinat duvarlarının deprem sırasında verecekleri tepkilerin ve davranışların araştırılmasıdır. Elde edilen sonuçların sonlu elemanlar analizinden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması yapılmaktadır.

Kotan (2008), jeosentetik donatılı istinat duvarlarının yamaç stabilitesine etkisini incelemiştir. Duvar yüksekliği $H=6, 8$ ve 10 m alınarak Geo5 Slope Stability programı ile jeosentetik donatılı istinat duvarının kayma tahkiki yapılmıştır. Ayrıca, depremlili ve depremsiz durum için Bishop Yöntemi ile analiz yapılmıştır. Farklı duvar yüksekliklerine bağlı olarak farklı jeosentetik boyları ile hem depremlili hem de depremsiz durum için bulunan güvenlik sayıları karşılaştırılmıştır. Bu çalışma jeosentetik donatılı dolgu kullanılması bakımından yapılan çalışma ile benzerdir. Bu çalışmada 6 m, 8 m ve 10 m istinat duvarı yükseklikleri kullanılarak Geo5 Slope Stability programı ile analiz yapılırken yapılan çalışmada 8 m, 12 m ve 16 m duvar yükseklikleri kullanılarak Plaxis programı ile analiz gerçekleştirilmiştir. Yapılan çalışmada farklı duvar

yüksekliklerine göre farklı jeogrid uzunluklar kullanılarak en uygun jeogrid uzunluğu bulunmaya çalışılmıştır.

Yardımcı (2013), sonlu elemanlar programı kullanarak yüksek duvarların kademeli olarak inşa edilmesi durumunda tasarıma etkiyen parametreleri araştırmıştır. Sonlu elemanlar analizinde Plaxis 8.2 paket programı kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 58 adet sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın ilk bölümünde donatı uzunluğunun (L), duvar dolgu tipinin ve duvar kademeleri arasındaki mesafenin (S) davranışa etkisi incelenmiştir. Donatı boyunun artması güvenlik katsayısını arttırdığı, yatay deplasmanı azalttığı görülmüştür. Duvarlar arasındaki kademe mesafesinin duvar yüksekliğinin 1.5 katını geçtiği durumlarda donatı etkisinin önemli ölçüde azaldığı görülmüştür.

Duvarlar arası mesafenin arttırılmasıyla güvenlik katsayısı artmıştır ve kalıcı yatay deplasmanlar azalmıştır. Kohezyonsuz dolgu yerine kohezyonlu dolgu kullanıldığı durumlarda, güvenlik katsayısının azaldığı ve deplasmanların arttığı gözlenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde, kademeli istinat duvarının iki bağımsız duvar olarak çalışmaya başladığı durum irdelenmiştir. Kohezyonsuz dolgularda; kritik öteleme mesafesi kat yüksekliğinin 2 katı (2H) olduğu bulunmuştur. Kohezyonlu dolgu kullanıldığında bu değer duvar katının 2,25 katı (2.25H) olarak gözlenmiştir.

Bajlan (2016), sonlu elemanlar programı kullanarak jeogrid donatılı istinat yapılarının davranışını sayısal olarak incelemiştir. Bu amaçla; donatı uzunluğu, donatılar arası mesafe, istinat duvarının kalınlığı, istinat duvarının gömülme derinliği, sürşarj yükü, yer altı su seviyesi ve donatı rijitliği parametrelerinin, jeogrid donatılı istinat duvarlarının performansı üzerindeki etkileri araştırmıştır. Çalışma sonunda elde edilen sonuçlara göre: Donatı ve sürşarj yükü olmadan inşa edilebilecek en büyük duvar yüksekliği 2,9 m olmaktadır. Donatı uzunluğu (L) değerinin arttırılmasının duvar davranışı üzerinde önemli bir etkisi olmakla birlikte, donatılar arası düşey mesafenin etkisi daha sınırlı kalmaktadır. Donatılı durumda istinat duvarının kalınlığı ve gömülme derinliği azaltılabilmektedir.

Donatılı durumda zemin taşıma gücü artmakta ve büyük sürşarj yükleri taşınabilmektedir. Jeosentetik donatılı istinat duvarlarında temel zeminindeki suyun etkisinden dolayı stabilite kaybı yaşanmazken donatısız durumda stabilite kaybı yaşanmaktadır. Donatı rijitliğinin belli bir değere kadar artması zemin davranışını iyileştirmekte ve duvarın yanal deplasmanlarını azaltmaktadır. Analizde kullanılan modelde optimum rijitlik değeri $E= 20\ 000\ \text{kN/m}$ olarak elde edilmiştir.

Can (2017), çalışmasında daha önceki rehber çalışmalardan yararlanmıştır. Tasarım kriteri olarak Amerika Birleşik Devletleri şartnamesi esas alınmıştır. Bu çalışma kapsamında 8 m, 12 m ve 16 m'lik jeosentetik donatılı istinat duvarları modellenmiştir. Her bir duvar yüksekliği için $L=0.5H$, $0.7H$ ve $0.9H$ donatı uzunlukları baz alınmıştır. Farklı malzeme özellikleri kullanılarak 216 adet statik analiz düzlem deformasyon durumu ile modellenmiştir. Ayrıca, en uygun donatı uzunluğu; duvar tabanındaki açısapma, duvardaki yanal ve düşey deformasyonlar dikkate alınarak araştırılmıştır. Bu analizler sonucunda temel zeminindeki oturma değerleri, duvardaki yanal deplasmanlar, kritik gerilme değerleri ve toptan göçme analizleri yapılmıştır. Jeosentetik donatı uzunluğu, temel ve dolgu zeminin içsel sürtünme açıları, duvar yüksekliği, temel ve dolgu zeminin elastisite modülleri değişken parametreler olarak ele alınmış ve bu değişkenlere bağlı olarak en uygun donatı uzunluğu oran aralığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada jeosentetik donatılı istinat duvarının ön tasarımında kullanılabilecek ekonomik donatı uzunluk oran aralığı uluslararası çalışmalar ile karşılaştırılmış ve jeosentetik boylarının duvar yüksekliğine bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarım ve analizlerinde zemin parametrelerinin etkilerini ve önemini belirlemek amacıyla yapılan bu tez çalışması, büro ve arazi çalışmaları şeklinde iki bölümde gerçekleştirilmiştir.

Büro çalışması kapsamında, öncelikli olarak jeosentetikler araştırılmıştır. Devamında, klasik dayanma yapıları ve rijit tipteki istinat duvarlarına önemli bir alternatif olarak tanıtılan ve geliştirilen donatılı zemin istinat duvarlarında, son yıllarda donatı olarak kullanılan polimer esaslı bir mühendislik malzemesi olan jeosentetiklerin tasarım ve mühendislik kapsamında literatür araştırması yapılmıştır. Bu çalışmalar yapılırken kullanılan bilgisayar yazılımları incelenerek Kocaeli'nin Dilovası ilçesinde konut projesi kapsamında yapılan jeosentetik donatılı istinat duvarı tasarım ve uygulamasına yer verilmiştir. Jeolojik-jeoteknik çalışmalar kapsamında, projeye ait jeolojik-jeoteknik etüt raporları ile bölgede yapılmış ilgili eski çalışmalar kullanılmıştır.

Arazi çalışması kapsamında, yurtiçinde ve yurtdışında birçok farklı projede Şantiye Yöneticisi vb. unvanlar altında özel sektörde çalışarak, ağırlıklı olarak esnek tip istinat duvarlarının imalat aşamasında yöneticilik yapılmış ve kayıtlar tutulmuştur.

3.2. Yöntem

3.2.1. Büro çalışmaları

Büro çalışmaları, tez çalışması kapsamında belirlenen plan ve program çerçevesinde iki aşamalı olarak yürütülmüştür.

İlk aşamada jeosentetiklerin ne olduğu, hammaddeleri, çeşitleri ve kullanım alanları araştırılmış ve jeosentetiklerle ilgili yapılmış tüm çalışmalar (rapor,

makale, yüksek lisans ve doktora tezleri vb.) kütüphane elektronik veri tabanlarında (Yök Ulusal Tez Merkezi, Researchgate, Sciencedirect, Google Akademi vb.) ayrıntılı olarak taranmış ve derlenmiştir. Yapılan bu araştırma çalışmaları sırasında bazı kaynaklarda *geosentetik*, bazı kaynaklarda ise *jeosentetik* ismi ile anılan bu polimer bazlı malzemeler için bu tez çalışması kapsamında jeosentetik ifadesi kullanılmıştır.

İkinci aşamada istinat duvarlarının tarihçesi araştırılmış, klasik istinat yapılarından günümüz modern istinat yapılarına geçiş süreci ve bu süreçte kabul görmüş dizayn kriterleri ve jeosentetiklerin duvarlarda kullanımı incelenmiştir.

Bu büro çalışmalarının sonucu olarak jeosentetik donatılı istinat duvarları kavramı ve temel bileşenleri proje örneği üzerinden açıklanmış, bu tarz duvarlara etki eden statik ve sismik basınçların etkileri değerlendirilerek, kabul görmüş limit denge metoduna dayalı tasarım aşamaları açıklanmıştır. Bu kapsamda Kocaeli'nin Dilovası ilçesinde konut projesi kapsamında yapılan jeosentetik donatılı istinat duvarının tasarım ve analizlerinde zemin parametrelerinin etkileri araştırılmıştır.

3.2.2. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında, Kocaeli Dilovası ilçesinde yapılan konut projesinin, jeosentetik donatılı istinat duvarlarının imal edilmesinde şantiye yöneticiliği yapılmış ve uygulama sırasında meydana gelen zorluklar ve çözümleri kayıt altına alınmıştır. Güvenli bir tasarımın teknik olarak uygulanmasına teknik refakatçilik edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Jeosentetikler

Jeosentetikler, mühendislik uygulamalarında, zemin içerisinde ve gerekirse başka yapı malzemeleriyle kullanılan sentetik yüzey elemanlarının genel adıdır. Bu tanım altında, neredeyse tamamen polimer bazlı geniş bir ürün çeşidi vardır. Bu ürünlerden, günümüzün geniş üretim ve tasarım olanakları sayesinde, jeoteknik, çevre, hidrolik ve ulaştırma mühendisliği gibi birçok alanda yararlanılmaktadır (Shukla, 2002).

Jeosentetik malzeme ilk kez 'Güney Carolina' Karayolu'nda 1926 yılında kullanılmıştır. Ağır pamuk dokumalı jeotekstil yol temeli üzerine serilmiş, jeotekstil üzerine sıcak asfalt döküldükten sonra ince kum tabakası ilave edilerek uygulama tamamlanmıştır. Yapılan uygulamayla ilgili olarak 1935 yılında açıklanan saha deneyi sonuçlarına göre yol kaplamasının, kullanılan jeotekstil malzeme bozuluncaya kadar iyi durumda kaldığı, kullanılan malzemenin yol tabanındaki çökme, bozulma ve sökümleri azalttığı tespit edilmiştir (Beckham ve Mills, 1935).

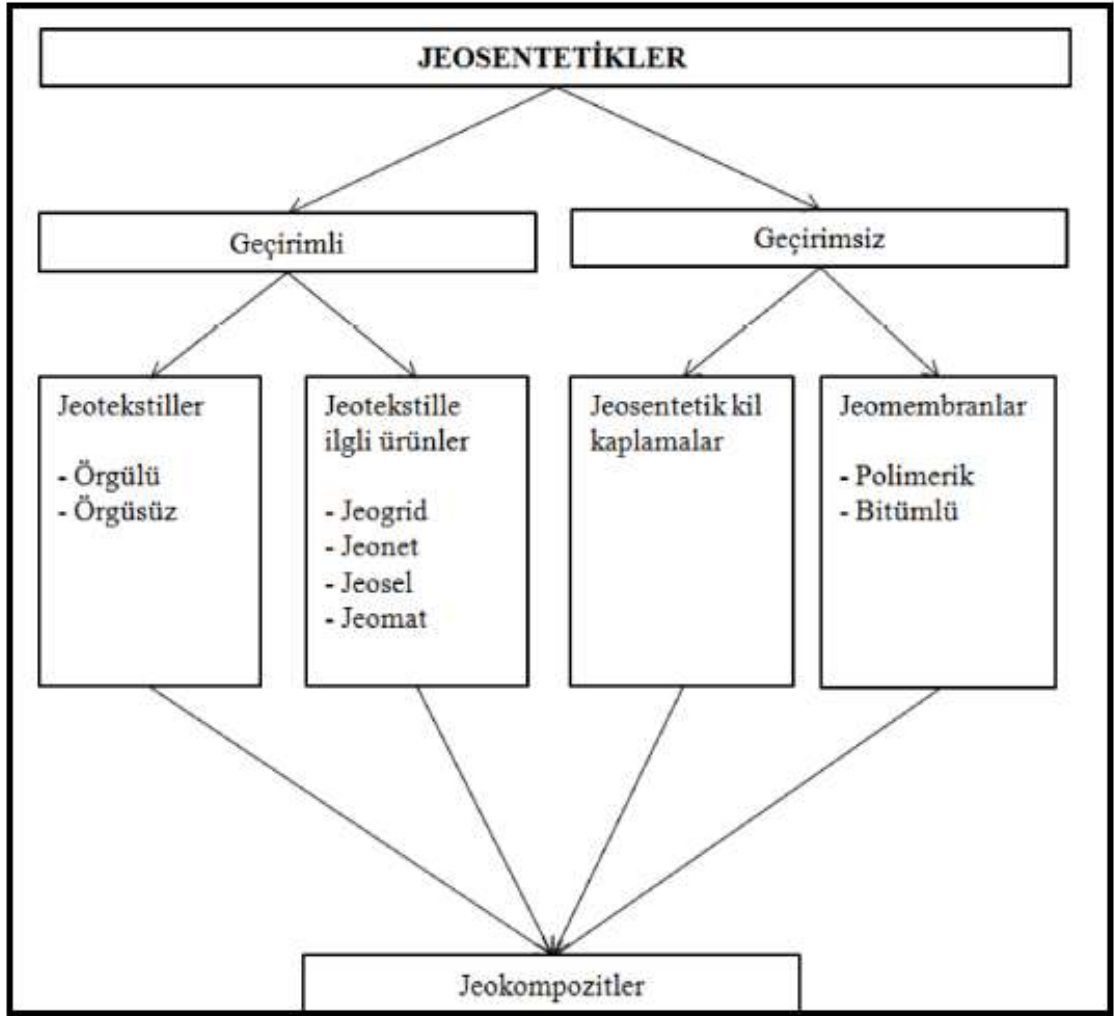
4.1.1. Jeosentetik hammaddeleri

Farklı jeosentetik ürünlerin üretiminde kullanılan hammaddeler:

- PE (Poliyeten)
 - HDPE (Yüksek yoğunluklu poliyeten)
 - LDPE (Düşük yoğunluklu poliyeten)
- PP (Polipropilen)
- PET (Polyester)
- Poliamid (PA)
- Polivinilklorür (PVC)

4.1.2. Jeosentetiklerin çeşitleri

Taslak Avrupa Standardı'na göre jeosentetikler Şekil 4.1'de görüldüğü gibi gruplandırılmaktadır. Jeosentetikler temel olarak iki gruba ayrılırlar: Bunlar, geçirimsiz jeosentetikler ve pratik olarak geçirimsiz kabul edilen jeosentetiklerdir.



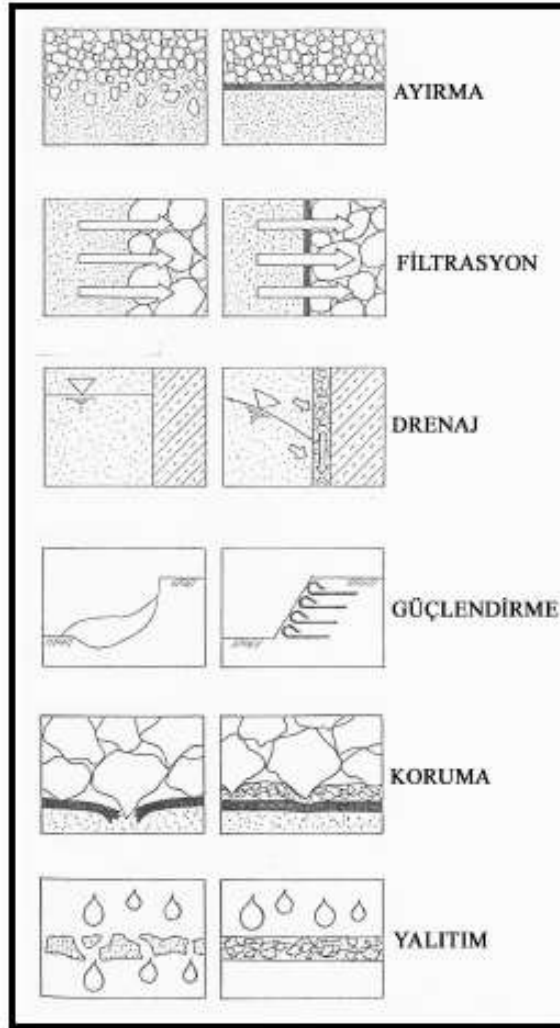
Şekil 4.1. Jeosentetiklerin çeşitleri (Livaoğlu, 2016)

4.1.2.1. Geçirimli jeosentetikler

- **Jeotekstiller:** ASTM, Jeotekstili 'bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, kaya, toprak veya diğer jeoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzeme ile beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü' olarak tanımlamaktadır. Temel olarak iki tip jeotekstil yapısı vardır. Bunlar: örgülü jeotekstiller ve örgüsüz jeotekstillerdir. Jeotekstillerin çok çeşitli uygulama alanları vardır. Ama genel olarak 6 farklı fonksiyona göre sınıflandırılırlar. Bunlar: ayırma, filtrasyon, drenaj, güçlendirme, koruma ve yalıttır (Şekil 4.3). Jeotekstil kullanımını Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Bir istinat duvarının görünür yüzey ve arka dolgusu arasında filtrasyon ve koruma amaçlı jeotekstil uygulamasından bir görünüm

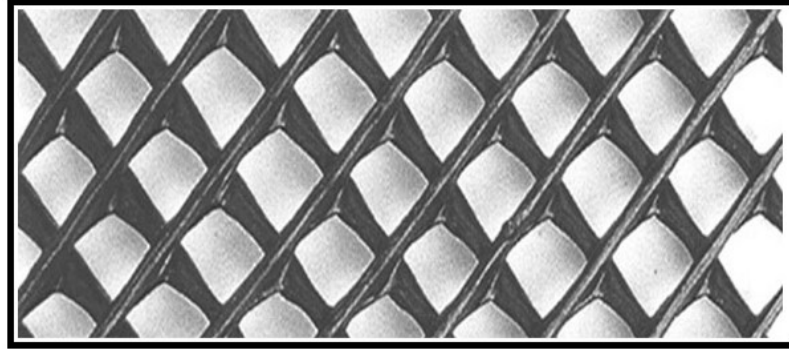


Şekil 4.3. Jeotekstillerin fonksiyonları (Aksoy, 1993)

Çizelge 4.1. Jeogrid özellikleri (KTŞ, 2013)

Özellikler	Şartname Limiti	Deney Metodu	
		Cam Elyafı Jeogrid	Birleşik Jeogrid
Çekme Dayanımı, min. kN/m	100/100	TS 4758 ISO 3341 TS EN ISO 13934-1	TS EN ISO 10319
Kırılma Anındaki Uzama, maks. %	5		
%2 Birim Deformasyondaki Dayanım, Min. kN/m	60/60		
Erime Noktası, Min. °C	200	TS EN ISO 3146	TS EN ISO 3146

- **Jeonetler:** Jeonetler ilk olarak Dr. B. Mercer tarafından İngiltere’ de geliştirilmiştir. Mercer daha sonra sıklıkla makine, gıda vb. sektörlerde yaygın olarak kullanılan plastik ağların, işleme makine vb. yöntemlerinin patentini almıştır. Bu ağların (Şekil 4.6), zamanla daha kalın tiplerde üretim denemeleri ve çeşitliliği, jeosentetik mühendisliğinde drenaj amaçlı olarak kullanılabilen ağların ya da netlerin geliştirilmesinde öncü olmuştur. Jeogridlerin donatı olarak kullanıldığı durumlarda, jeonetler düzlemsel drenajı sağlamak amacıyla kullanılmaktadır (Koerner, 1999).



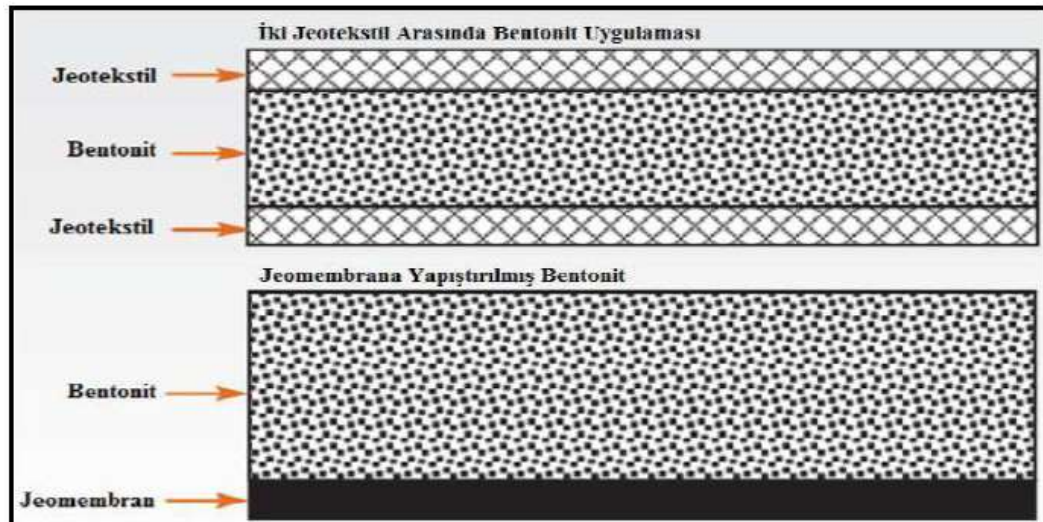
Şekil 4.6. Jeonet örneği (Maccaferri, 2019)

- **Jeohücreler (Jeoceller):** Jeoizgaralar, jeomembranlar veya jeotekstil çeşitlerinden imal edilmiş petek şeklinde açılan, üç boyutlu, açıklıkları kum, kaya, toprak veya betonla doldurulan ürünlerdir (John, 1987).

- **Jeomatlar:** Üç boyutlu, çok elyafli, geçirgen ve 1 cm'den daha kalın, erozyon direncini uzun süreli arttırmak amacıyla kullanılan polimer ürünlerdir. Şev yüzeyinde bitki tabakası oluşuncaya kadar ömre ve işleve sahip olan, jeoörtü olarak da adlandırılan jeosentetik türüdür (Wasti, 2007).

4.1.2.2. Geçirimsiz jeosentetikler

- **Jeosentetik kil kaplamalar:** Jeosentetik kil kaplamaları, mekanik olarak iğneleme, dikme veya kimyasal yapıştırıcılar vasıtasıyla mekanik olarak tutulan, jeotekstiller ve/veya jeomembranlarla desteklenen, ince bir bentonit katmanından oluşan hidrolik bariyerlerdir. Jeosentetik kil kaplamalar, ayırma özelliklerinden faydalanmak amacıyla ilk olarak 1988 yılında Amerika Birleşik Devletleri'nde inşa edilen bir katı atık toplama merkezinde jeomembranlara alternatif olarak kullanılmışlardır. Kullanılan bu ürün iki jeotekstil tabakası arasındaki bentonit kili karışımından oluşmaktadır (Şekil 4.7). Jeosentetik kil kaplamalar 'kil şilteler', 'bentonit şilteler', 'bentonit hasırlar' ve 'prefabriğe bentonit kil şilteler' olarak da adlandırılmaktadırlar (Koerner, 1999).



Şekil 4.7. Jeosentetik kil kaplamalar (Livaoglu, 2016)

- **Jeomembranlar:** ASTM, Jeomembranı 'Jeoteknik Mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından mamul sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri' olarak tanımlamaktadır.

Jeomembranlar esas olarak geçirimsizliğin sağlanmasında kullanılmaktadır (Şekil 4.8). Jeomembranların çevre, jeoteknik, hidrolik ve taşıma alanında kullanımlarının bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- a. İçilebilir su için kaplama malzemesi olarak
- b. Sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak
- c. Yeraltı depolama tankları için ikincil kaplama malzemesi olarak
- d. Radyoaktif ve tehlikeli sıvı atıklar için kaplama malzemesi olarak
- e. Tarım endüstrisinde kaplama malzemesi olarak
- f. Katı atık sahaları için kaplama malzemesi olarak
- g. Tünellerin içinde ve boru hatlarında geçirimsizliği sağlamak için
- h. Kaya dolgu barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında vb. (Koerner, 1999).



Şekil 4.8. Bir atık toplama alanında jeomembran uygulaması

- **Jeokompozitler:** İnşaat sektöründe yaygın bir şekilde kullanılan jeosentetiklerin, değişen ve gelişen inşaat sanayisi, yapım teknolojisi vb. sebeplerden dolayı, çeşitlenmesini ve değişik çözüm önerileri sunmasını

gerekli hale getirmiştir. Jeokompozitler de bu ihtiyaçların karşılanması için kullanılmaktadır. Jeokompozitlerde en temel prensip, farklı malzemelerin değişik özelliklerini kullanarak sorunlara en uygun çözüm yollarını bulmaya çalışmaktır. Yalnız bazı durumlarda sentetik olmayan malzemeler, jeosentetiklerle kullanılarak uygun çözümler ve düşük maliyetler sağlanabilmektedir. Jeokompozitler, birçok ürünün kombinasyondan oluşmaktadır.

Yaygın olarak kullanılan bazı jeokompozitler, *Jeotekstil – Jeonet Kompozitler*, *Jeotekstil – Jeomembran Kompozitler*, *Jeomembran – Jeogrid Kompozitler*, *Jeotekstil – Jeogrid Kompozitler* olarak sıralanabilir.

4.1.3. Jeosentetiklerin kullanım alanları

Dünya’da ve Türkiye’de çok fazla kullanım alanı olan jeosentetiklerin gelişen teknoloji ve yenilikçi çözümlerle, birçok farklı uygulama alanı da yaratılmakta ve tercih edilme istatistiği sürekli artmaktadır.

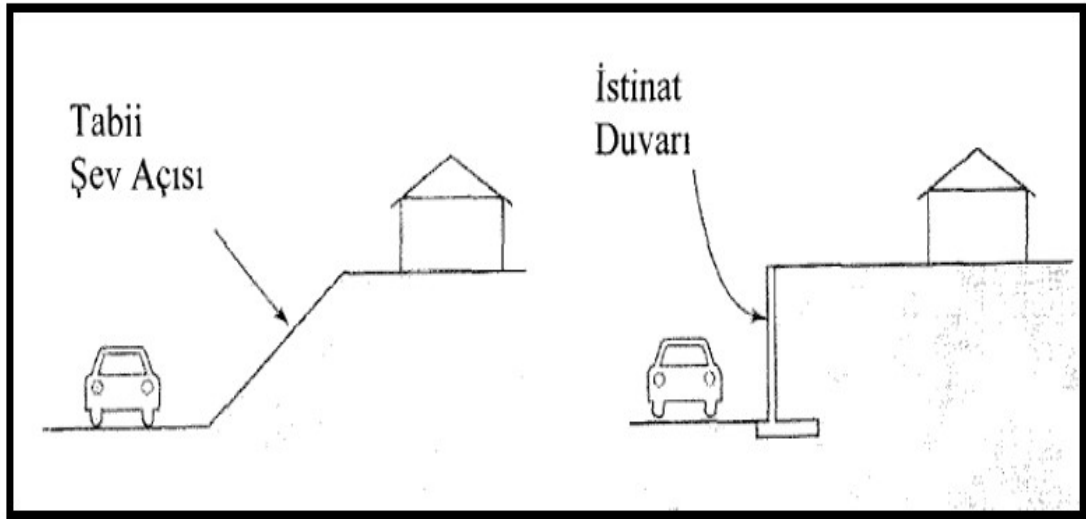
Son otuz yıl içerisinde jeosentetiklerin mühendislik uygulamalarında kullanımı hızla artmış ve en çok kullanılan malzemeler arasında gösterilmeye başlanmıştır. Çoğu durumda, jeosentetik malzemelerin kullanımı güvenlik faktörünü arttırmakta, performansı iyileştirmekte ve konvansiyonel tasarım yöntemlerine göre maliyetleri azaltmaktadır (Bağcı, 2007).

Bazı kullanım alanları aşağıdaki gibidir:

- İstinat yapıları uygulamalarında
- Kaya ve taş düşmelerini önlemek amaçlı kullanımı
- Erozyon kontrolü, heyelan önleme ve peyzaj uygulamalarında
- Karayolu ve tren yolu uygulamalarında
- Katı atık tesisleri uygulamalarında
- Baraj, gölet, kanal ve drenaj uygulamalarında

4.2. İstinat Yapıları

Birçok inşaat alanı ve doğal şevlerde gerek kazı çalışmaları gerekse kot farklılıklarından dolayı keskin geçişler oluşmaktadır. Böyle durumlarda kademeli kazı yapılarak uygun şev açısında denge sağlanarak güvenli ve stabil zemin yapıları ve şevler oluşturulabilir. Fakat alan yetersizliği, mühendislik parametrelerinin uygun olmadığı gibi bazı durumlarda bunu yapmak mümkün olmaz. Doğal konumuyla dengede olan arazilerden daha fazla faydalanmak amacıyla, zemin doğal şev açısından daha dik tutulmak istenebilir (Şekil 4.9). Bu ve benzeri durumlarda iki zemin seviyesi arasında geçişi denge ile sağlamak için düşey ya da eğimli dayanma yapılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu amaçlı yapılan yapılara istinat yapıları denir (Gürsoy, 2000).



Şekil 4.9. Zeminin doğal ve istinat yapı durumu (Coduto, 2001)

Son yıllarda istinat yapılarının icrasında değişik yöntemler geliştirilmiş, test edilmiş ve uygulanmıştır. Bu yöntemlerin günümüzde en çok tercih edilenlerinden birisi de donatılı zemin duvarlardır. Bu tarz istinat yapıları, duvar arka yüz kısmında özel dolgular kullanılıp, bu dolgunun yeterli sıkışma gereksinimini sağlaması gerektiği için 'Mekanik Olarak Stabilize' edilmiş duvarlar olarak isimlendirilirler.

4.2.1. İstinat yapılarının sınıflandırılması

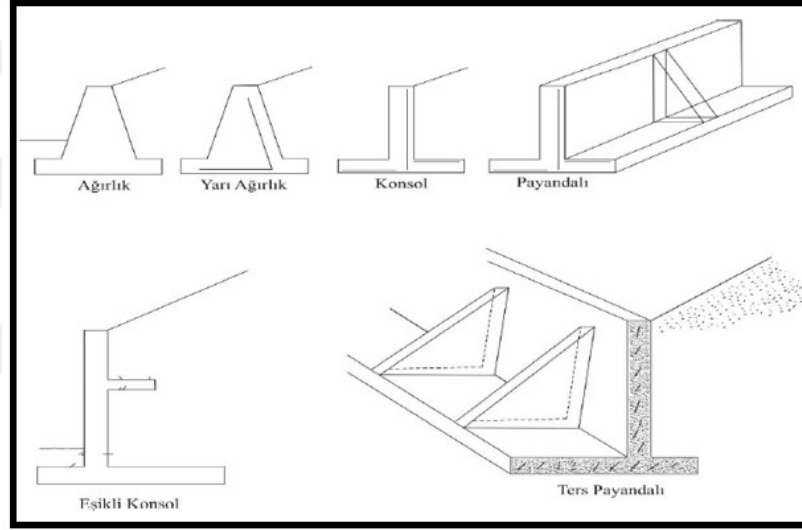
İstinat yapıları, TS 7994'e göre rijit, yarı rijit ve esnek olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2. TS 7994'e göre istinat yapılarının genel sınıflandırılması

İstinat Duvarları		
Rijit İstinat Yapıları	Yarı Rijit İstinat Yapıları	Esnek İstinat Duvarları
1) Ağırlık İstinat Duvarları	1) Kafes Tipi İstinat Duvarları	1) Palplanş Perdeleri
2) Yarı Ağırlık İstinat Duvarları	2) Sandık Tipi İstinat Duvarları	2) Ankrajlı Palplanş Perdeleri
3) Konsol İstinat Duvarları	3) Kazıklı Perdeler	3) Mekanik Olarak Stabilize edilmiş yapılar
4) Payandalı İstinat Duvarları	4) Diyafram Duvarlar	4) Donatılı Zemin Zemin Çivisi Uygulamaları
5) Ters payandalı istinat duvarları		5) Jeotekstil donatılı istinat duvarları

Rijit istinat yapıları

En eski ve klasik istinat duvarı türü olarak bilinen rijit istinat duvarları günümüzde hala yaygın olarak kullanılmaktadır. Toprak itkileri ile alt uçları etrafında az da olsa bir miktar dönme yapabileceği varsayımıyla hesaplanan, yanal basınç kuvvetlerini kendi ağırlıkları ile dengelemeye çalışan ve eğilme rijitlikleri esnek istinat duvarlarına göre daha büyük ve çok az deformasyon yapan duvarlar rijit istinat duvarları olarak tanımlanabilirler. Şekil 4.10'da görüldüğü gibi sınıflandırılabilirler (Yıldız, 2015).

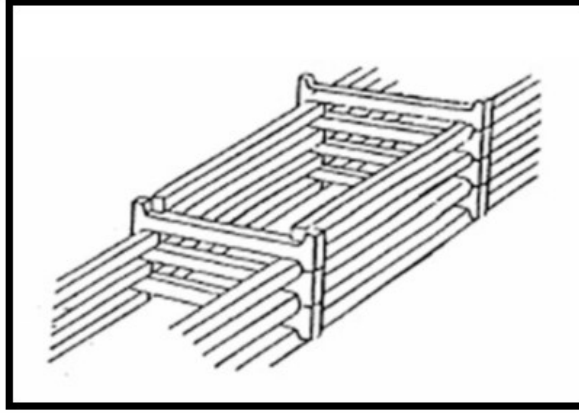


Şekil 4.10. Rijit istinat duvarı tipleri (Yıldırım, 2009)

Yarı rijit istinat yapıları

Yarı rijit istinat duvarları, toprak basıncını karşılamakla birlikte belirli bir sınırın ötesinde hareket ederek ya da basıncın büyük bir kısmını zemine aktararak görevlerini yerine getirirler. Temel örnekleri kafes ve sandık tipi olup, kazıklı perde ve diyafram duvarları diğer yarı rijit istinat duvarı örnekleridir. Şekil 4.11'de görülen kafes tipi istinat duvarı prefabrike betonarme kiriş elemanlarının, istiflenerek yanları kapalı üstü açık sandık şeklindeki bölmelere, içi taş veya toprak ile doldurularak teşkil edilirler. Kendi bünyeleri içinde drenajı temin etmeleri, sökülüp takılabilir olmaları, tamamlanır tamamlanmaz yük

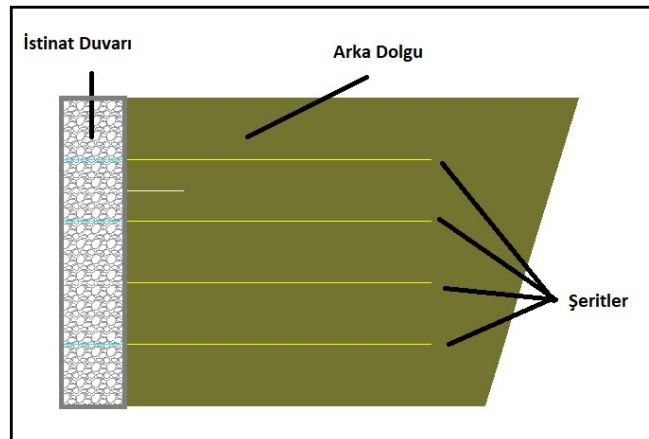
taşıyabilir olmaları, küçük oturmalarından etkilenmemeleri ve bakımlarının kolay olması gibi tercih edilecek üstünlükleri vardır (Düzgün, 1989).



Şekil 4.11. Kafes tipi istinat duvarı (TS 7944)

Esnek istinat yapıları:

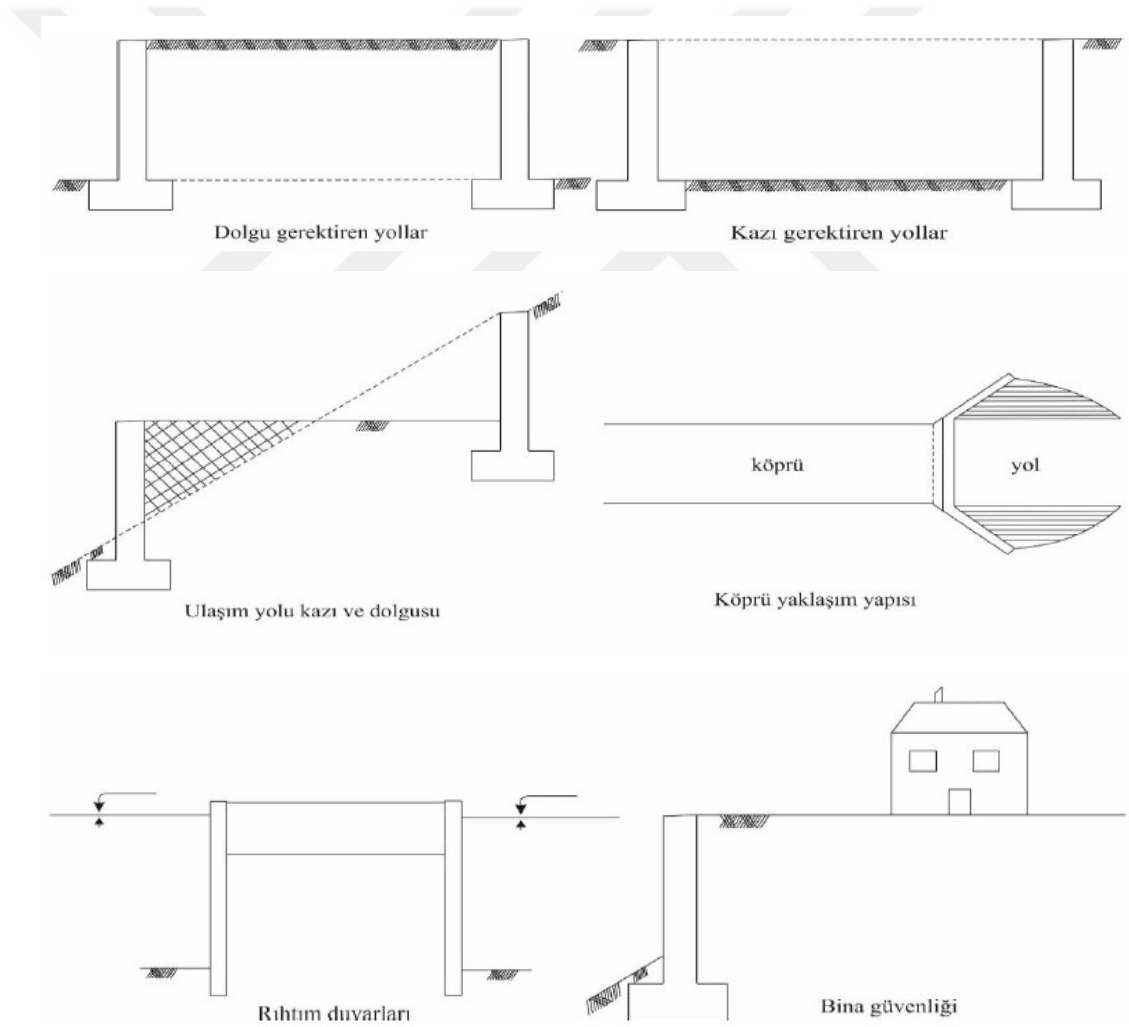
En sade ve basit tanımıyla toprak itkilerini kendi ağırlıklarıyla taşıyan ağırlık tipi istinat yapılarına kıyasla, toprak itkilerini dolgu içerisine yerleştirilen donatılar (çelik, polimer, lif vb.) ile karşılayıp sistemi denge de tutan istinat duvarlarına esnek istinat duvarları denilebilir (Şekil 4.12). Esnek istinat duvarlarının denge hesaplarında kendi ağırlıkları hesaba katılmaz ve eğilme rijitlikleri bakımından rijit istinat duvarlarına göre daha esnek bir davranış sergileyen istinat duvarlarıdır.



Şekil 4.12. Donatılı zemin duvarı

4.2.2. İstinat yapılarının kullanım alanları

Bina güvenliği için şev stabilitesinde, rıhtımlarda, büyük dolgu ve yarma gerektiren yollarda, yol inşaatlarının şev düzenlemesi işlerinde, köprü kenar ayaklarında ve binaların bodrum duvarlarında istinat duvarları kullanılmaktadır. Eğimli arazilerde araziden yararlanmak üzere zemini tabii şev açısından daha dik açıyla tutmak, kayma göçme ihtimali olan zeminlerin yıkılmasını engellemek, malzeme deposu olarak kullanmak, derin çukurların yan duvarlarını tutmak gibi çeşitli şekillerde kullanılan bu toprak tutucu istinat yapıları pek çok farklı inşaat projesinde yer almaktadır (Yıldız, 2015).

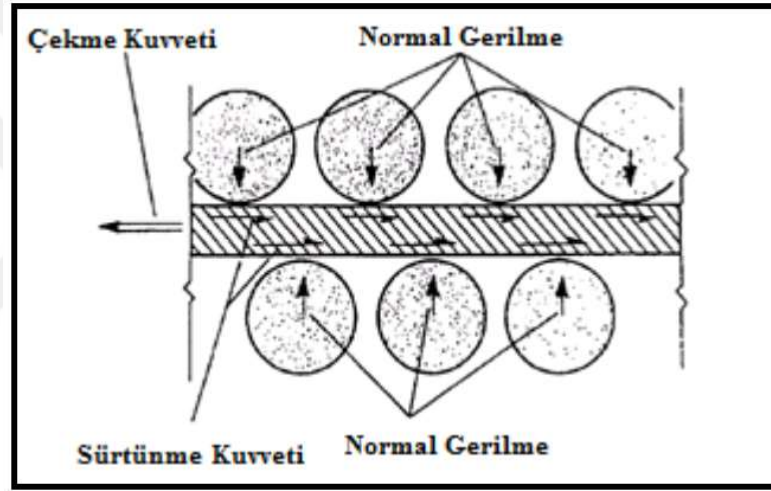


Şekil 4.13. İstinat duvarı kullanım alanları (Day, 2004)

4.3. Jeosentetik Donatılı İstinat Duvarları

4.3.1. Tanımı ve özellikleri

Jeosentetik donatılı istinat duvarları, donatı malzemesi olarak zemin tabakaları arasına jeosentetik yerleştirilerek, kayması muhtemel zemin yapılarında kaymaya ya da yıkılmaya neden olan kuvvetlerin, jeosentetik donatılardaki doğrusal çekme kuvveti ve donatı zemin arasında oluşan sürtünme kuvvetiyle karşılanması ve sistemin dengede tutulması prensibine dayanır. Bu prensip Şekil 4.14'de gösterilmiştir.



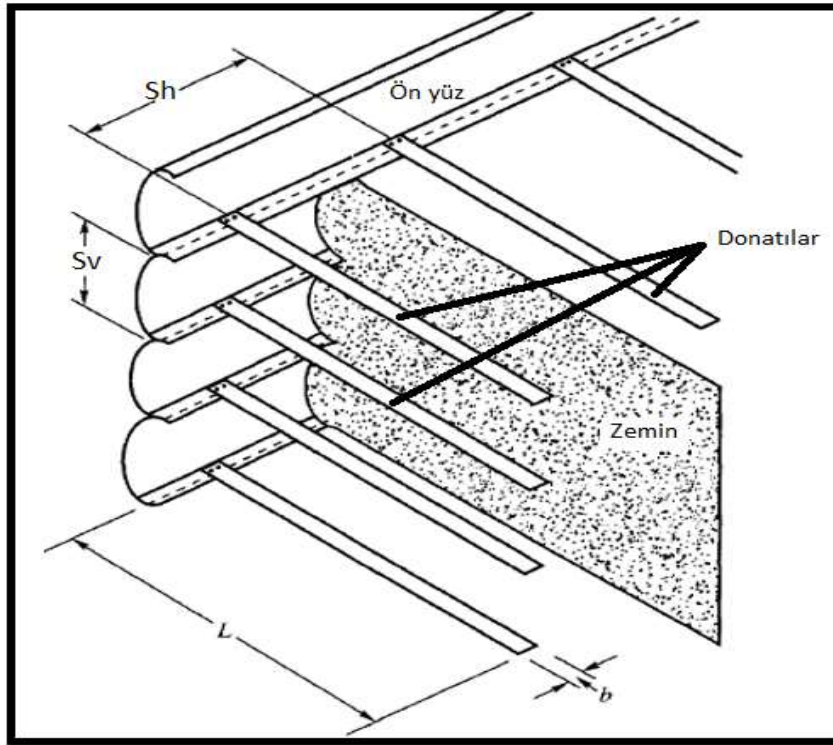
Şekil 4.14. Donatı yüzeyi ile dolgu arasındaki sürtünme kuvveti
(Mitchell ve Villet, 1987)

Donatılı zeminlerle ilgili ilk prensip Fransız Mühendis ve Mimar Henry Vidal (1969) tarafından tanıtılmış ve patentlenmiştir. Henry Vidal tarafından çelik şeritler kullanılmıştır (Şekil 4.15). Burada çelik şeritler panel arkasından dolgu içerisine uzanır ve bu sistemin iki temel amacı vardır: Birincisi, yüzey panellerini sabitlemektir. İkinci ve en önemli amacı ise dolgu ve şeritler arasında meydana gelen sürtünmeyi sınırlandırarak stabiliteyi sağlamaktır.

Vidal, tanıttığı ve patentini aldığı bu sisteme Fransızca'da 'Terre Arme' adını vermiştir. İngilizce'de 'Reinforced Earth' olarak geçen bu terim Türkiye'de duvar

ön yüzünde betonarme prekast olduğunda toprakarme, hazır bloklar olduğunda blokluk zemin duvarları, çelik tel ağlar veya kafesler yardımıyla ön yüze taş dizilmesi durumunda gabion, kuyruklu gabion vb. isimleri almaktadır. Fakat, farklı isimler altında anılsalar da bu sistemlerin hepsi granüler dolgu ve zemin donatısıyla teşkil edilirler. Zemin donatısı olarak çelik ya da dokuma türü malzemeler olan polimerik malzeme kullanılabilir. Son yıllarda polimerik yani genel adıyla jeosentetikler özellikle istinat duvarlarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dokuma türü olan bu malzemelerin İnşaat Mühendisliği'nde kullanılması düşüncesi daha önceleri de belirtilmiştir ve denenmiştir. 'Jeosentetik' ya da 'jeotekstil' olarak isimlendirilen malzemeler 1960'lı yılların son döneminde gelişmeye başlamıştır. Gelişmesini etkileyen en önemli faktörler, 2. dünya savaşından sonra yüksek teknoloji ile birlikte sentetik hammadde kullanımına yönelmiş olmak ve batı tekstil endüstrisi kapasitesinin fazla olmasıdır (Töremiş, 2003).

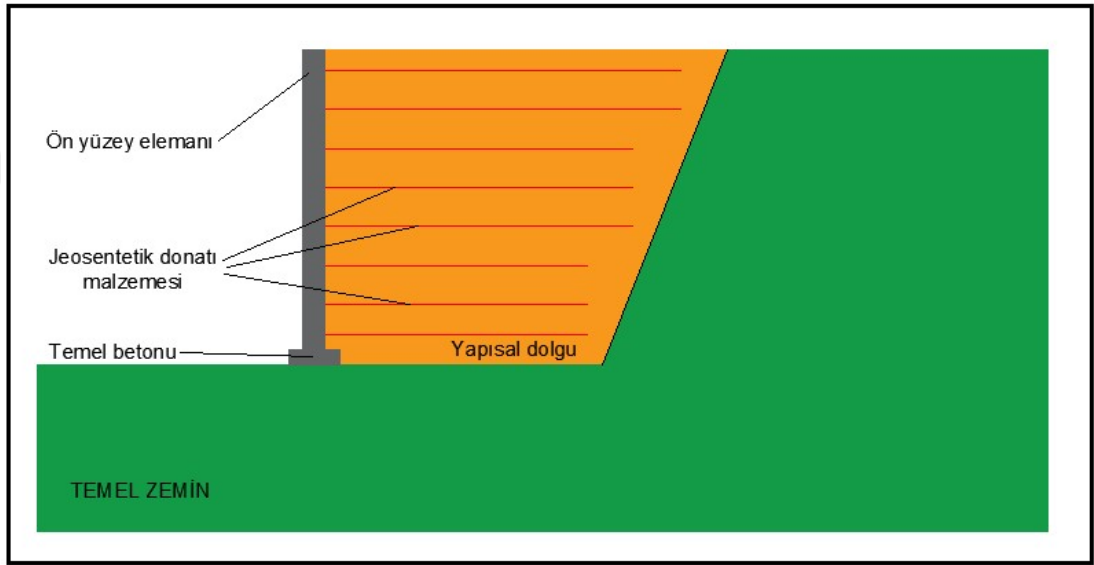


Şekil 4.15. Donatılı zemin duvarların temel geometrisi ve bileşimi (Vidal, 1969)

4.3.2. Çeşitleri ve bileşenleri

Duvar sistemi genel olarak üç ana bileşenden oluşur (Şekil 4.16). Bunlar:

- Ön yüzey elemanı
- Jeosentetik donatı malzemesi
- Yapısal dolgu



Şekil 4.16. Tipik bir donatılı duvar en kesiti

➤ Ön yüzey elemanı

Ön yüzey elemanları duvar sisteminin görünüm amaçlı önemli bir parçasıdır. Çok yüksek güvenlikle tasarlanan ve uygulanan duvarlarda bile görünümde bozulmalar olursa duvar stabil gözükmeyecektir. Jeosentetik donatılı duvarların en önemli avantajlarından birisi de ön yüzey elemanının çeşitliliğidir. Ön yüzde, prekast beton, hazır blok, gabion görünümlü taş örme üniteler, hücresel bitki tutucuları, hasır çelik vb. yüzey elemanları kullanılabilir.

➤ **Jeosentetik donatı malzemesi**

Jeosentetik donatılı duvarlarda en çok kullanılan malzemeler bölüm 4.1.2.1’de açıklanan jeogridler ve jeotekstillerdir. Jeogridler yapısal dolgu tabakaları arasına projesine uygun boyda ve uzunlukta serilir. En önemli avantajları farklı boy, özellik, dayanım ve genişlikte üretilebilir olmalarıdır. Ön yüzey elemanlarına bağlantı ve montajları basittir. Üretimleri tamamlandıktan sonra rulolar halinde istiflendikleri için naklieleri kolay olmaktadır (Şekil 4.17). Uygulama aşamasında jeosentetikleri kesmek, ek yapmak gibi işlemler basittir. Şantiye sahalarındaki atmosferik unsurlardan (yağmur, rüzgâr, kar vb.) kolay bir şekilde etkilenip zarar görmezler.



Şekil 4.17. Jeogridlerin istiflenmesinden bir görünüm

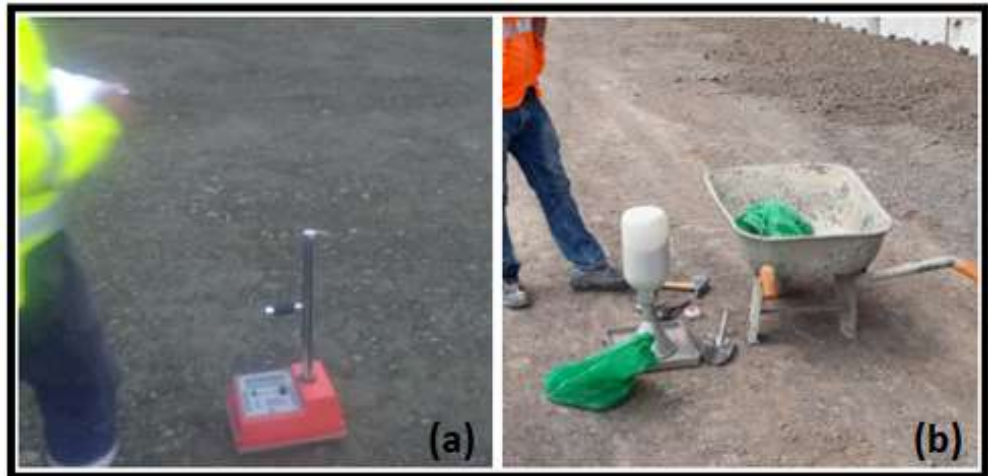
➤ **Yapısal dolgu**

Dolgu malzemesi, duvarın tasarım geometrisi ve uygulama detayına göre yaklaşık 20-40 cm tabakalar şeklinde serilir. Dolgu malzemesinin granülometresi ve yabancı madde içermemesi, sistemin sürtünme ile çalışması açısından çok önemlidir. Uygun granülometredeki dolgu jeosentetik donatı üzerine dikkatli bir şekilde yapım metoduna uygun

olarak serildikten sonra silindir ile sıkıştırma işlemi yapılır. Yapısal dolgunun sıkışması ASTM D 1557-07'ye göre minimum ≥ 95 olmalıdır. Bu sıkışmanın kontrolü yerinde yapılan sıkışma kontrol testleri ile gerçekleştirilir (Şekil 4.18). Yeterli sıkışma sağlanamazsa yapılan dolguda iyileştirme yapılmalıdır. Dolgu malzemesinin üniformalık katsayısı $C_u \geq 5$ ve plastisite indeksi $PI < 6$ olmalıdır. İlave olarak dolgu karışım malzemesi KTŞ (2013) 'de verilen ve Çizelge 4.3 'te özetlenen dene boyu dağılımına uygun olmalıdır.

Çizelge 4.3. Önerilen dolgu dene boyu dağılımı (KTŞ, 2013)

Elek Boyutu (mm)	% Geçen
125	100
75	85-100
12.5	25-100
2 (No.10)	15-100
0.59 (No.30)	10-65
0.075 (No.200)	<15



Şekil 4.18. Arazide sıkışma kontrolü (a) Nükleer (b) Kum konisi yöntemi

4.3.3. Tasarım esasları

Güvenli bir duvar tasarımı yapmak için, jeosentetik donatılı istinat duvarlarının temel bileşenlerinin (ön yüz elemanı, jeosentetik donatı malzemesi ve yapısal dolgu) birbiriyle bütünleşmesi amacı ile bir seri güvenlik ve stabilite araştırmalarının yapılması gerekmektedir.

Donatılı zemin sistemi basit bir yöntemle dayanmaktadır. Bu yöntemle göre, zeminle donatının birlikte kullanılması, bu iki malzeme arasında temas noktasında bir sürtünme yaratmaktır. Bu yöntemde, çekme gerilmesi alamayan zeminde bu özelliği sağladığı görülmektedir. Malzemenin davranışının yeterli düzeyde anlaşılabilmesi için ilk yıllarda, yüzlerce deney ve servise konulmuş yapının performanslarının analiz edilmesi, gözlemlenmesi de dahil olmak üzere çok yoğun araştırmalar gerektirmiştir. Donatılı malzemenin davranışını kestirebilmek, mevcut bilgilerin birleştirilmesi, sınıflandırılması ve sürekli çekme basıncına maruz dolgu malzemelerinin ön stabilite değerlerinin bilinmesini gerektirmiştir. Ancak inşaatta kullanılan dolgular oldukça farklı fiziksel, kimyasal ve elektrokimyasal özellikler gösterdiklerinden Vidal ve ekibi için yalnızca laboratuvar sonuçlarından hatta yıllarca çeşitli zemin tiplerinden alınmış arazi numunelerinden elde edilen sonuçları yeterli görmemiş, güvenli sonuçlara ulaşmak için uzun vadeli, planlı, sabırlı, ampirik yaklaşımlara dayalı araştırmalar yürütülmüştür. Bu konuda yapılan çalışmaları şu ana başlıklarda toplamak mümkündür (Alkaya ve Yeşil, 2012).

Donatılı zemin mekaniği;

- Zemin+donatı gerilme davranışının incelenmesi
- Zemin ve donatı arasındaki sürtünme ilişkileri

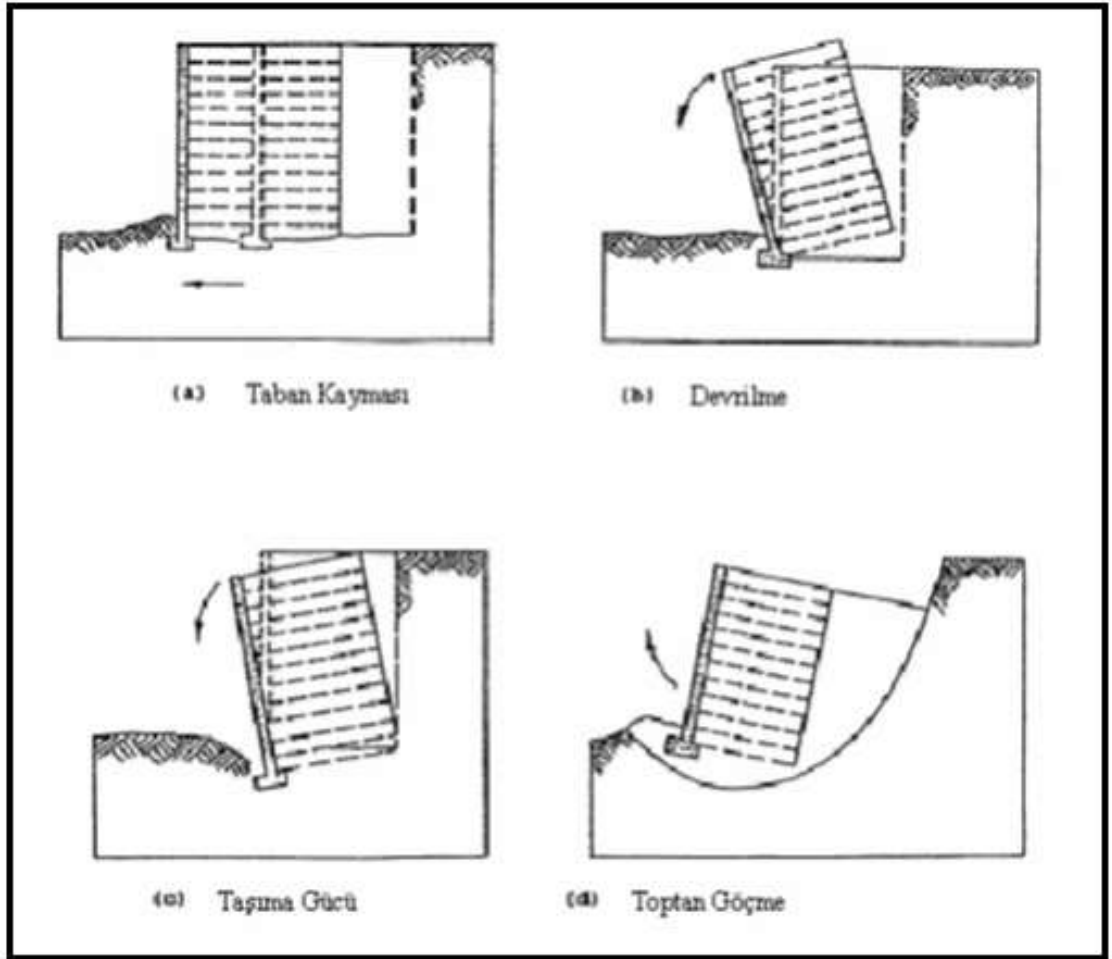
Donatının Mekanik ve Fiziksel Özellikleri;

- Kullanılan dolgu malzemesinin özellikleri

Donatılı zemin kavramının ilk olarak açıklandığı yıllarda daneli dolgu malzemesinin içine yerleştirilen metal şeritlerin etkisiyle kohezyon özelliğini

kazandığı öne sürülmüş ve bu etkinin kum daneleri ile şeritler arasındaki sürtünmeden kaynaklandığı gösterilmiştir. Daha sonraki gelişmeler donatı mekaniğinin, kitlenin iç ve dış stabilitesinin ayrı ayrı incelenmesi şeklinde olmuştur (Bowles, 1996).

- Dış Stabilite: Taban kayma tahkiki, devrilme (Dönme) tahkiki, taşıma gücü tahkiki ve toptan göçme tahkiki (Şekil 4.19)
- İç Stabilite: Donatı kopma tahkiki ve donatı sıyrılma tahkiki (Şekil 4.20)



Şekil 4.19. Donatılı dayanma duvarlarında muhtemel dış stabilite durumları
(Genç, 2008)

Kayma tahkiki:

Kayma yenilmesi ya da taban kayması durumunun değerlendirilmesi için duvarı kaydırmaya çalışan kuvvetlerin etkisinde, bu kaydırma hareketine direnç gösteren kuvvetlerin tespit, hesap ve oranı önemlidir. Duvarın kaymaması için direnç gösteren kuvvetlerin, kaydırmaya çalışan kuvvetlerden büyük veya bu kuvvetlere eşit olması gerekir. Teoride bu durum GS (güvenlik sayısı) ile ifade edilir ve formülü aşağıda belirtildiği şekildedir.

$$GS_{\text{kayma}} = \frac{\sum \text{yatay direnç kuvvetleri}}{\sum \text{yatay kaydırma kuvvetleri}} = \frac{\sum P_r}{\sum P_d}$$

Burada;

$$\begin{aligned} GS_{\text{kayma}} &= \text{Taban kaymasına karşı güvenlik sayısı} \\ \sum P_r &= \text{Kaymaya karşı koyan yatay direnç kuvvetleri} \\ \sum P_d &= \text{Kaydırmaya çalışan yatay kuvvetler toplamı} \end{aligned}$$

Devrilme tahkiki:

Duvarın devrilmesi durumunun değerlendirilmesi için daha önce de bahsettiğimiz gibi duvar bir bütün olarak düşünülür. Bir bütün olarak düşünülen donatılı zeminde, duvarın ön yüz topuk noktasına göre duvarı etkileyen kuvvetlerin momenti alınır. Bu durum teoride, duvarı stabil tutmaya çalışan kuvvetlerin ön topuk noktasına göre momentinin, duvarı devirmeye çalışan kuvvetlerin ön topuk noktasına göre momentine bölünmesiyle elde edilen GS (güvenlik sayısı)'nı kapsamaktadır. Formülü aşağıda belirtildiği şekildedir.

$$GS_{\text{devrilme}} = \frac{\sum \text{Devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin moment toplamı}}{\sum \text{Devirmeye çalışan kuvvetlerin moment toplamı}} = \frac{\sum M_r}{\sum M_o}$$

Burada;

$$\begin{aligned} GS_{\text{devrilme}} &= \text{Devrilmeye karşı güvenlik sayısı} \\ \sum M_r &= \text{Devrilmeye karşı koyan kuvvetlerin toplamı} \\ \sum M_o &= \text{Devirmeye çalışan kuvvetlerin toplamı} \end{aligned}$$

Taşıma gücü tahkiki:

Taşıma gücü kontrolü yapabilmek için duvar altında oluşacak olan taban basıncının bilinmesi gerekir. Hesaplamalarda ön yüzey elemanlarının ağırlıkları genellikle ihmal edilmektedir. Taşıma gücü göçmesinin engellenmesi tabanda oluşan ve Meyerhof dağılımına göre hesaplanan taban gerilmesinin (σ_v) müsaade edilen taşıma gücünü (zemin emniyet gerilmesi, q_{em}) aşmaması ile mümkün olmaktadır. Müsaade edilen taşıma gücü, son (nihai) taşıma gücünün (q_{nihai}) güvenlik sayısına oranıyla elde edilmektedir. Formülü aşağıda belirtildiği şekildedir.

$$M\sigma_v \leq q_{em} = \frac{q_{nihai}}{G_{\text{Taşıma gücü}}}$$

Burada;

$M\sigma_v$ = Meyerhof taban basıncı

q_{em} = Müsaade edilen taşıma gücü (Zemin emniyet gerilmesi)

q_{nihai} = Son (nihai) taşıma gücü,

Toptan göçme tahkiki:

Donatılı duvarların bir bütün olarak, üzerinde bulunduğu muhtemel zayıf zeminle birlikte, zayıf zemin üzerinde kaymasıyla toptan göçme oluşur. Bu göçme-yenilme durumları birçok parametre ile farklı kayma şekilleri üzerinden hesaplanır. Duvar sistemlerinde genel olarak dış stabilite kontrolünde dairesel kayma yenilmesi tahkiki yapılır. Bu dairesel kayma düzlemi net olarak bilinmediğinden, göçmeye karşı en düşük güvenlik katsayısını veren yenilme düzleminin bulunması gerekir. Bu hesaplar yapılırken yaygın olarak 'Bishop', 'Jambu' gibi dilim metodu yöntemleri kullanılır. Bu matematiksel işlemleri el ile yapmak çok zaman alacağından dolayı genelde nümerik analiz programları kullanılır.

Donatı kopma tahkiki:

Donatıların çekme gerilmeleri altında kopmaya karşı güvenlik sayıları (G_{kopma}) aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$GS_{kopma} = \frac{\text{Donatının kopmaya karşı dayanımı}}{\text{Donatının taşıyabileceği maksimum çekme kuvveti}}$$

$$GS_{kopma} = \frac{\sigma_e b d}{K_a \cdot S_v \cdot S_h}$$

Burada;

b = Donatının genişliği

d = Donatı kalınlığı

σ_e = Donatı malzemesinin çekmeye dayanımı

T_a = Aktif itki

S_v = Donatılar arası düşey aralık

S_h = Donatılar arası yatay aralık

Donatı sıyrılma tahkiki:

Herhangi bir z derinliğindeki donatı boyunca sürtünme direnci uygulanan çekme kuvvetinden az, diğer bir deyişle sürtünme yetersiz ise donatı dolgu zeminden sıyrılabilir. Sürtünme direncinin geliştiği donatı efektif uzunluğu aşağıdaki şekil 4.20.a'da ABC ile gösterilen Rankine aktif yenilme bölgesi dışında kabul edilir. BC hattı yatayla $(45 + \Phi_1/2)$ açısı yapacak şekilde seçilir ve donatının herhangi bir z derinliğinde maksimum sürtünme kuvveti (F_R) aşağıdaki formülle belirlenir.

$$F_R = 2 l_e b \sigma_v \mu$$

Burada;

l_e = Donatılandırılan bölgenin efektif uzunluğu

b = Donatı kalınlığı

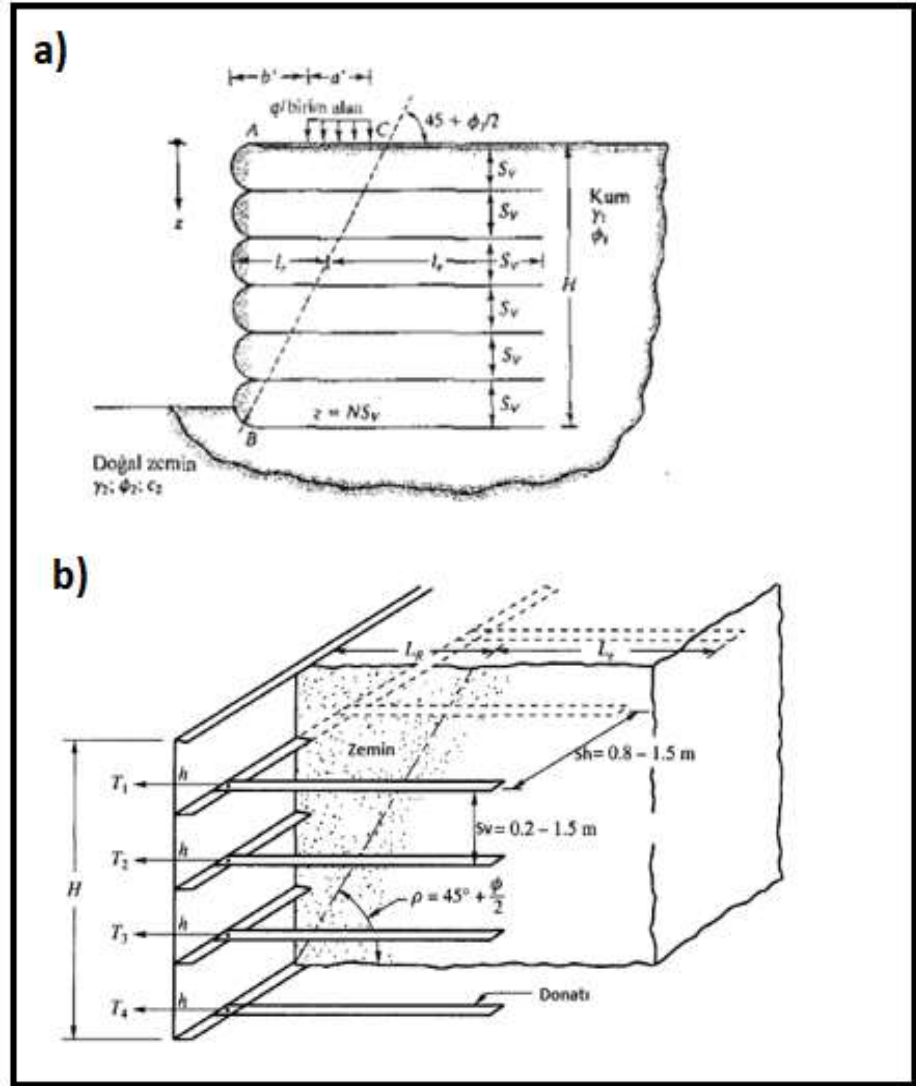
σ_v = Z derinliğindeki efektif düşey gerilme

μ = Sürtünme katsayısı

Böylece sıyrılmaya karşı güvenlik sayısı

$$GS_{\text{sıyrılmaya}} = \frac{F_R}{T} = \frac{2 \cdot l_e \cdot b \cdot \mu}{K_A \cdot S_v \cdot Sh}$$

ifadesi ile hesaplanır.



Şekil 4.20. a) Donatılı zemin duvar iç geometrisi (Genç, 2008)

b) İç geometrinin üç boyutlu gösterimi (Bowles, 1996)

4.4. Jeosentetik Donatılı İstinat Duvarı Uygulama Örneği

Bu tez çalışması kapsamında Kocaeli'nin Dilovası ilçesinde Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamında proje ve uygulaması yapılan bir jeosentetik donatılı istinat duvarının incelenmesi ele alınmıştır.

İnceleme alanı Kocaeli'nin Dilovası ilçesinde Kentsel Dönüşüm Projesi kapsamında yaklaşık 170.000 m² alan üzerine konut ve sosyal tesis amaçlı yapıların inşaa edileceği bir alanda yer almaktadır. Bu alanda konut amaçlı yapılar ile sosyal tesis alanları bulunmaktadır.

Çalışma sahasında kuzey ve güney parseller arasındaki kot farklılıklarından ve parsel sınırlarındaki peyzaj ve yol çalışmalarından dolayı yaklaşık 349 m uzunluğunda ve sahadaki peyzaj ve yol kotlarına göre 9 m ile 13 m yükseklikler arasında değişen, ön yüzü dik ya da dike yakın bir istinat duvarı yapılması planlanmıştır.

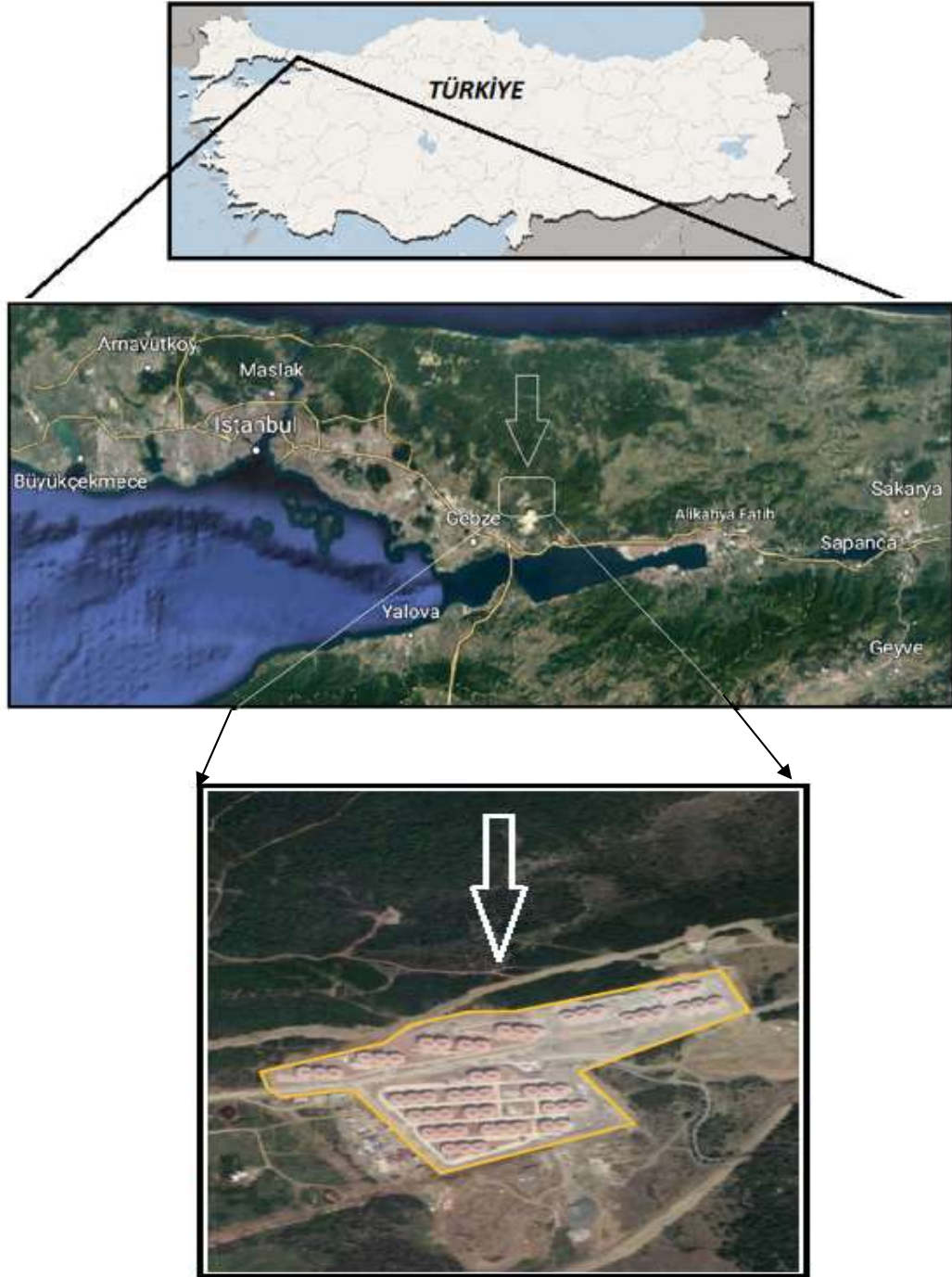
Yapılacak istinat duvarının, konut projesi ile uyumluluğu açısından uygun ebatlı taşların çelik kafesler içine makine ve el işçiliğiyle dizilmesi sonucu oluşan jeosentetik donatılı istinat duvarı yapılmasına, yapılacak duvarın stabilitesinin sağlanması amacı ile oluşturulacak duvar arka yüzü dolgu tabakaları arasına jeogrid kullanılmasına karar verilmiştir.

4.4.1. Uygulama alanının yeri ve morfolojik özellikleri

Çalışma alanı İzmit Körfezi kuzeyinde, Kocaeli'nin Dilovası ilçesi, Köseler Köyü yakınında yer almaktadır (Şekil 4.21). Sahaya ulaşım yaz kış TEM otoyolu ve ilgili bağlantı yolları ile yapılabilir.

Kocaeli yarımadası içinde kalan inceleme alanının güneyinde İzmit körfezi yer alır ve kuzeyi küçük tepe ve dağlarla Karadeniz'e kadar uzanan az eğimli bir morfolojiye sahiptir. Yaklaşık doğu-batı yönde körfeze paralel konumlu olan Kuzey Anadolu Fayı da bölgenin morfolojik gelişiminde önemli bir etkiye sahiptir.

Topoğrafik yüksekliklerin yaklaşık 250-350 m arasında değiştiği inceleme alanında, eđim yaklaşık kuzeydoğudan gúneybatıya doğru azalmaktadır. Yüzeyde herhangi bir kitle hareketi de gözlenmemektedir.



şekil 4.21. Çalışma alanına ait yer bulduru haritası

4.4.2. Jeoloji

Kocaeli Yarımadası alttan üstte doğru Erken Paleozoyik, Permo-Triyas, Geç Kretase-Orta Eosen, Oligosen-Erken Miyosen, Pliyo-Kuvaterner yaşlı çökel kayalar ile Permian ve Geç Kretase yaşlı magmatik (plütonik ve volkanik) kayalardan oluşmaktadır (İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti'den alınmıştır). İzmit Körfezi kuzeyi jeoloji haritası Şekil 4.22'de gösterilmiştir.

Kocaeli Yarımadası içerisinde yer alan inceleme alanında ise en yaşlı kayalar Alt-Triyas Yaşlı Demirciler Formasyonudur ve adını Demirciler Köyü'nden almaktadır. Birim, gri ve siyah renkli, ince-orta tabakalı, killi, mikritik kireçtaşı ile yeşilimsi gri, boz renkli, ince tabakalı silttaşı, şeyl ve az oranda kumtaşı ardalanmasından oluşur. Birimin alt düzeylerinde, 60-70 m kalınlığında, açık gri renkli, orta-kalın tabakalı kireçtaşları yer alır. Birim altta Erikli, üstte ise Ballıkaya formasyonları ile dereceli geçişlidir (Karaman,2010).

Demirciler Formasyonu üzerinde Ballıkaya Formasyonu yer almaktadır. Bu birim genel olarak gri, koyu gri ve siyah renkli, ince kalın tabakalı, aşınma yüzeyi baklama şekilli, dolomit ve dolomitik kireçtaşından oluşur (İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti'den alınmıştır).

İnceleme alanında Triyas Yaşlı Demirciler Formasyonunun şeyl-kumtaşı-silttaşı-kireçtaşı birimleriyle yine Triyas Yaşlı Ballıkaya Formasyonunun kireçtaşı birimleri yayılım sunmaktadır.

Bölgenin jeolojisi, İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti. tarafından hazırlanan zemin etüt raporu ve Karaman, 2010 tarafından hazırlanan 'Gebze ve Dilovası'nın (Kocaeli) Hidrojeolojik İncelenmesi' adlı yüksek lisans tezinden özetlenerek alınmıştır.

ÜST SİSTEM	SİSTEM	SERİ	KAT	GRUP SİMGE	GRUP	FORM. SİMGE	FORM.	ÜYE SİMGE	ÜYE	KALINLIK (m)	LİTOLOJİ	AÇIKLAMALAR																																																		
MESOZOYİK	TERSIYER	PALEOSEN	A. İPİRİ			Qal	ALÜVYON			20		Tutturulmamış çakıl, kum, silt, kil Traverten UYUMSUZLUK																																																		
						Qt	TRAVERTEN																																																							
						TQk	KARAPÜRÇEK																																																							
						Td	DARICA																																																							
						Tm	MEŞETEPE	2																																																						
						Tk	KAYALITEPE	1																																																						
						Ta	ATBAŞI																																																							
						KTa	AKVİREN																																																							
						Kh	HEREKE																																																							
						Kk	KUTLUCA																																																							
MESOZOYİK	TRİYAS	ÜST	SANT. - KAMP.			Kt	TEKSEN	Kte	EREN	500		Kumtaşı, şeyl Çakıltaşı UYUMSUZLUK																																																		
						TRba	TRç	BAKIRLI İRİSAN	ÇERKEŞLİ	35		Kumtaşı, şeyl, marn / Kireççakıtaşı, kalkarenit																																																		
						TRt	TEPEKÖY	1 2		30-75		Şeyl, marn, ince kumtaşı / Şeyl, marn, ince kumtaşı, kireçtaşı																																																		
						TRk	KAZMALI		TRkk	KUŞÇA	5-400		Kırmızı yumrulu kireçtaşı, şeyl Gri yumrulu kireçtaşı, şeyl																																																	
						TRb	BALLIKAYA			5-350		Dolomit, dolomitik kireçtaşı, kireçtaşı																																																		
						TRd	DEMİRCİLER		TRdd	DEĞİRMEN	50-400		Vermeküler kireçtaşı, şeyl, kumtaşı Kireçtaşı																																																	
						TRe	ERİKLİ			1-80		Kumtaşı, silttaşı, şeyl																																																		
						PTRk	KAPAKLI		PTRkk	PTRkal	ALFAKLAR	800		Andezit, dasit, rhyolit, bazalt / Çakıltaşı, kumtaşı, camurtaşı / Çakıltaşı, çakıl kumtaşı, kumtaşı UYUMSUZLUK																																																
						Ct	TRAKYA		PTRkay	AYVALIDERE	500-1000		Granit, apfrit, pegmatit / Kontak metamorfik zon Türbiditik kumtaşı, şeyl, kireçtaşı Kireçtaşı																																																	
						PALEOZOYİK	ORDOVİSİYEN	ÜST				OSg	GÖZDAĞ	OSgu	OSga	UMUR- DERE	AYDINLI	500		Silttaşı, şeyl, kumtaşı, kumlu / Feldispatlı kireçtaşı, oolitik şamozit / Feldispatlı kuvars kumtaşı Şeyl (graptolitli) kumtaşı, kireçtaşı																																										
Oa	AYDOS											10-100		Kuvarsitik kumtaşı, çakıltaşı																																																
Oku	KURTKÖY											1000		Feldispatlı kumtaşı, şeyl, çakıltaşı (arkozik)																																																
Ob	BAKACAK											750		Yeşil kumtaşı, mor şeyl																																																
PALEOZOYİK	SİLURİYEN	ÜST										SDyi	İSTİNYE	SDyik	KAYNARCA			300		İri yumrulu killi kireçtaşı, şeyl Kireçtaşı, şeyl																																										
												SDyd	DOLAYOBA	SDyig	GEBZE	SEDEFADASI			100		Laminallı kireçtaşı, şeyl																																									
												DCdb	BÜYÜKADA	DCdba	AYİNEBURNU	DCdbb	YORUKALI BOSTANCI			200		Küçük yumrulu kireçtaşı, şeyl Çört, silisifiye şeyl Çörtlü kireçtaşı																																								
												Dk	KARTAL	Dkk	KOZYATAĞI					750		Şeyl, kumtaşı kireçtaşı Türbiditik kumlu, kireçtaşı, kireçtaşı, şeyl Şeyl, kumtaşı kireçtaşı																																								
												DCdbl	BALTALIMANI							75		Fosfatik yumrulu radyolant, çört, silisifiye şeyl, kireçtaşı																																								
												PALEOZOYİK	DEVONİYEN	ORTA				DCd	DENİZLİKÖY																																											
						PALEOZOYİK	KARBONİFER	ALT										DCdb	BÜYÜKADA	DCdba	AYİNEBURNU	DCdbb	YORUKALI BOSTANCI																																							
																		PALEOZOYİK	PERMİYEN	ÜST				SDy	YUMRUKAYA	SDyik	KAYNARCA	SDyig	GEBZE	SEDEFADASI																																
																								PALEOZOYİK	KARBONİFER	ALT				OSg	GÖZDAĞ	OSgu	OSga	UMUR- DERE	AYDINLI	500		Silttaşı, şeyl, kumtaşı, kumlu / Feldispatlı kireçtaşı, oolitik şamozit / Feldispatlı kuvars kumtaşı Şeyl (graptolitli) kumtaşı, kireçtaşı																								
																														PALEOZOYİK	DEVONİYEN	ORTA				DCdb	BÜYÜKADA	DCdba	AYİNEBURNU	DCdbb	YORUKALI BOSTANCI																					
PALEOZOYİK	DEVONİYEN	ALT																																		SDy	YUMRUKAYA	SDyik	KAYNARCA	SDyig	GEBZE	SEDEFADASI																				
																																				PALEOZOYİK	SİLURİYEN	ORTA				OSg	GÖZDAĞ	OSgu	OSga	UMUR- DERE	AYDINLI	500		Silttaşı, şeyl, kumtaşı, kumlu / Feldispatlı kireçtaşı, oolitik şamozit / Feldispatlı kuvars kumtaşı Şeyl (graptolitli) kumtaşı, kireçtaşı												
																																										PALEOZOYİK	SİLURİYEN	ALT				Oa	AYDOS					10-100		Kuvarsitik kumtaşı, çakıltaşı						
																																																PALEOZOYİK	SİLURİYEN	ÜST				Oku	KURTKÖY					1000		Feldispatlı kumtaşı, şeyl, çakıltaşı (arkozik)
																																																						PALEOZOYİK	SİLURİYEN	ÜST				Ob	BAKACAK	

ÖLÇEKSİZ

Şekil 4.23. İzmit Körfezi kuzey alanının genelleştirilmiş stratigrafik sütun kesiti
(Karaman, 2010)

4.4.3. Mühendislik jeolojisi çalışmaları

Günümüzde nüfusun hızlıca artması, göç vb. sebepler özellikle büyük şehirlerde kentsel dönüşüm ihtiyacını oluşturmuştur. Kentsel dönüşüm yapılarında birçok mühendislik yapısının doğru ve güvenli bir şekilde yapılması temel esastır. Bu mühendislik yapıları altyapı ve kanalizasyon, betonarme yapılar, peyzaj ve yol yapıları gibi birçok sanat yapısını kapsamaktadır. Büyük ölçekli bu yapıların zemin etüt ve fizibilite çalışmaları da yine bu yapıların önem ve büyüklüklerine bağlı olarak eşdeğer oranda önem arz etmektedir.

Kentsel dönüşüm projesi kapsamında Kocaeli /Dilovası proje örneğinde yukarıda vurgulandığı şekilde detaylı bir etüt çalışması İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmış ve rapor haline getirilmiştir. Bu rapor kapsamında proje alanında inşaa edilecek yapılar için jeolojik-jeofizik ve jeoteknik çalışmalar ile depremsellik ve yapı temel sistemlerine ilişkin değerlendirmeler yapılması amaçlanmıştır. Bu amaca yönelik olarak sahada araştırma çukurları, sondaj çalışmaları, arazi ve laboratuvar deneyleri yapılarak temel zemine ait mühendislik parametreleri belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımında bahsi geçen zemin etüt raporundan yararlanılmış ve kısıtlı bilgi temin edilebilmiştir.

4.4.3.1. Arazi çalışmaları

İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti. tarafından sahada, litolojiyi tanımlamak, formasyon sınırlarını belirleyebilmek ve yeraltı su seviyesini tespit edebilmek amacıyla 66 adet araştırma sondajı açılmıştır. Proje kapsamında yapılan sondajlara ait vaziyet planı Şekil 4.24'de görülmektedir. Proje kapsamında 11 adet sondaj verisinden faydalanılmıştır. Bu sondajlara ait bilgiler Çizelge 4.4'de verilmiştir.



Şekil 4.24. Sondaj vaziyet planı (İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti 'den alınmıştır)

Çizelge 4.4. Sondajara ait bilgiler (İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti 'den alınmıştır)

Sondaj No	Ağız Kotu (m)	Derinlik (m)	Dolgu Örtü Kalınlığı (m)	Killi Birim Aralığı (m)	Anakaya Birimlerine Giriş Derinliği (m)	Kayaçlarda % RQD Aralığı
SK-8	316,98	15,00	0,10	-	0,10	0-65
SK-9	316,70	15,00	0,30	-	0,30	0-61
SK-10	315,13	20,00	0,30	-	0,30	0-72
SK-11	314,51	15,00	0,10	-	0,10	33-69
SK-12	322,47	15,00	0,90	-	0,90	0-67
SK-13	322,16	20,00	0,40	-	0,40	0-73
SK-14	322,24	15,00	0,20	-	0,20	0-60
SK-16	324,03	15,00	0,50	-	0,50	0-84
SK-17	332,23	15,00	0,30	-	0,30	0-17
SK-18	334,61	20,00	0,80	3,80-4,20	0,80	0-31
SK-19	333,87	15,00	0,50	-	0,50	0-32
SK-20	327,19	15,00	0,40	-	0,40	0-22
SK-21	327,74	20,00	0,30	-	0,30	0-62

Proje alanında yapılan çalışmalar kapsamında açılan temel araştırma sondajlarından alınan örselenmemiş zemin örnekleri üzerinde direkt kesme ve üç eksenli kesme deneyleri yapılmış olup, zeminin mekanik özellikleri belirlenmiştir. Deneylere ait sonuçlar Çizelge 4.5'de verilmiştir. Yine kaya ortamın mekanik ve mühendislik parametrelerini hesaplamak amacıyla üç eksenli basınç dayanımı ve birim hacim ağırlık testleri yapılmıştır bu testlere ait sonuçlar da Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Zeminin mekanik özellikleri (İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti 'den alınmış)

Sondaj No	Derinlik (m)	Zeminde Üç Eksenli Sıkışma (UU)		Zeminde Direkt Kesme (UU)	
		Φ (°)	C (kPa)	Φ (°)	C (kPa)
SK-16	5,00	-	-	7	22

Çizelge 4.6. Kayaların mekanik ve mühendislik özellikleri (İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti 'den alınmıştır)

Sondaj No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlık (γn)	Nokta Yükleme İndeks (MPa)	Kayada Serbest Basınc Dayanımı (kPa)	Sondaj No	Derinlik (m)	Birim Hacim Ağırlık (γn)	Nokta Yükleme İndeks (MPa)	Kayada Serbest Basınc Dayanımı (kPa)
SK-8	5,10	-	4,37	-	SK-14	10,00	-	-	33104
SK-8	8,70	2,68	-	93461	SK-14	14,10	-	8,04	-
SK-8	13,60	-	-	24963	SK-15	3,00	-	7,80	-
SK-9	5,20	-	-	32548	SK-15	11,00	-	7,88	-
SK-9	8,10	2,72	-	23148	SK-16	2,40	-	6,29	-
SK-9	13,70	-	-	19739	SK-16	14,00	2,69	-	28173
SK-10	5,10	2,69	-	29388	SK-17	5,30	-	6,96	-
SK-10	9,00	-	-	11847	SK-17	14,40	-	1,71	-
SK-10	14,00	-	-	42505	SK-18	5,20	-	1,18	-
SK-10	19,00	2,79	-	49297	SK-18	9,00	2,47	-	24018
SK-11	5,20	-	-	20617	SK-18	12,00	-	3,31	-
SK-11	10,50	-	-	26861	SK-18	18,50	-	0,42	-
SK-11	14,10	2,67	-	24174	SK-19	5,40	-	0,38	-
SK-12	5,30	-	4,69	-	SK-19	10,50	2,61	-	39422
SK-12	8,70	-	3,10	-	SK-19	13,60	-	0,27	-
SK-12	14,20	2,61	-	25675	SK-20	5,10	-	7,99	-
SK-13	5,00	-	4,48	-	SK-20	10,50	-	0,16	-
SK-13	14,00	-	-	19672	SK-20	13,90	-	8,83	-
SK-13	19,00	2,66	-	16511	SK-21	5,30	2,39	-	17963
SK-14	5,40	-	-	17460	SK-21	9,20	-	-	55774

4.4.3.2. Zemin Profili ve Tasarım Parametreleri

Çalışma sahasında İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti. tarafından yapılmış etüt çalışmalarında zemin profili genel olarak ayrıışmış kaya-kaya nitelikli jeolojik birimlerdir. Bu birimler Triyas yaşlı şeyl-kumtaşı-kiltaşı-silttaşı-kireçtaşıdır. Bu birimler üzerinde yer yer kalınlığı en çok 3,00 m olan çok katı-sert kil birimleri geçilmiştir.

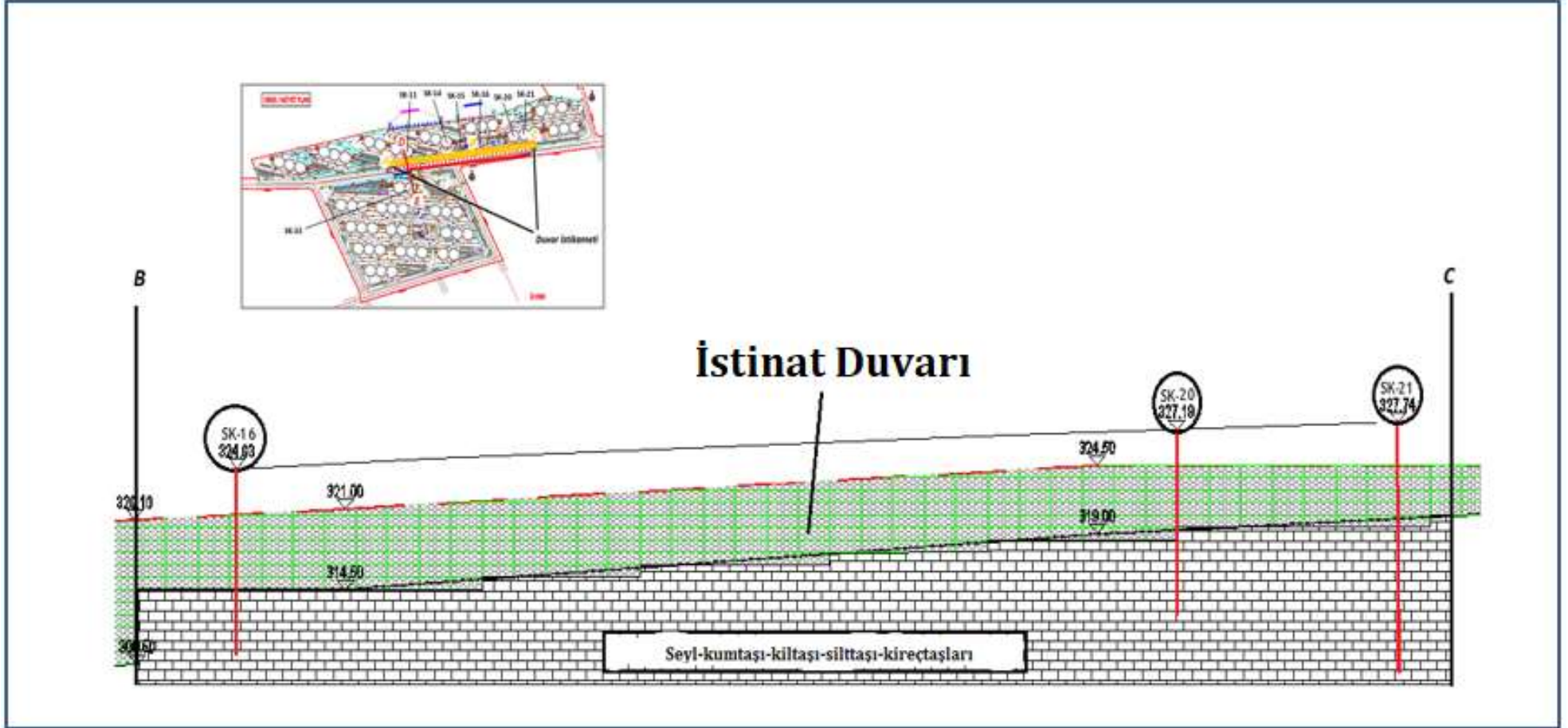
İstinat duvarlarının tasarım esasları 4.3.3'de detaylı olarak anlatılmıştır. Bu bağlamda istinat duvarının oturacağı temel zemin İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti. tarafından çalışma bölgesinde yapılmış etüt çalışmalarında *Kireçtaşı - Şeyl, Silttaşı, Kiltaşı ve Kumtaşı Ardalanması- Sert Kil* olarak tanımlanmış olup saha ve laboratuvar çalışmaları neticesinde, temel zemine ait mühendislik parametreleri Çizelge 4.7'deki gibi bulunmuştur. İstinat duvarının yapılacağı hat boyunca yapılan kazı ve tesviye işlemleri Şekil 4.25'de gözükmektedir. Zemin profili üzerinde planlanan istinat duvarının görünümü Şekil 4.26'da gösterilmeye çalışılmıştır.

Çizelge 4.7. Duvar temel zemininin mühendislik özellikleri

Temel Zemin	
Birim Ağırlık	25 kN/m ³
İçsel Sürtünme Açısı	35
Kohezyon	10 Kpa



Şekil 4.25. Kazı çalışmalarından bir görünüm



Şekil 4.26. Zemin profili ve istinat duvarı

Duvar arkasında yapısal dolgu olarak kullanılacak malzemenin bölüm 4.3.2’de yapısal dolgu kısmında açıklanan şartları sağlaması gerekmektedir. Bu şartların sağlanması için kullanılması planlanan dolgu malzemesinden homojen olacak şekilde numuneler alınmış ve özel bir zemin laboratuvarında test edilmiştir. Test sonuçları bölüm 4.3.2’de açıklanan şartları karşılamakta olup, dolgu malzemesinin mühendislik özellikleri Çizelge 4.8’da özetlenmiştir. Arka dolgunun uygulanmasına ait saha fotoğrafı Şekil 4.27’de görülmektedir.

Çizelge 4.8. Duvar arka dolgusunun mühendislik özellikleri

Arka Dolgu	
Birim Ağırlık	19 kN/m ³
İçsel Sürtünme Açısı	35
Kohezyon	5 Kpa



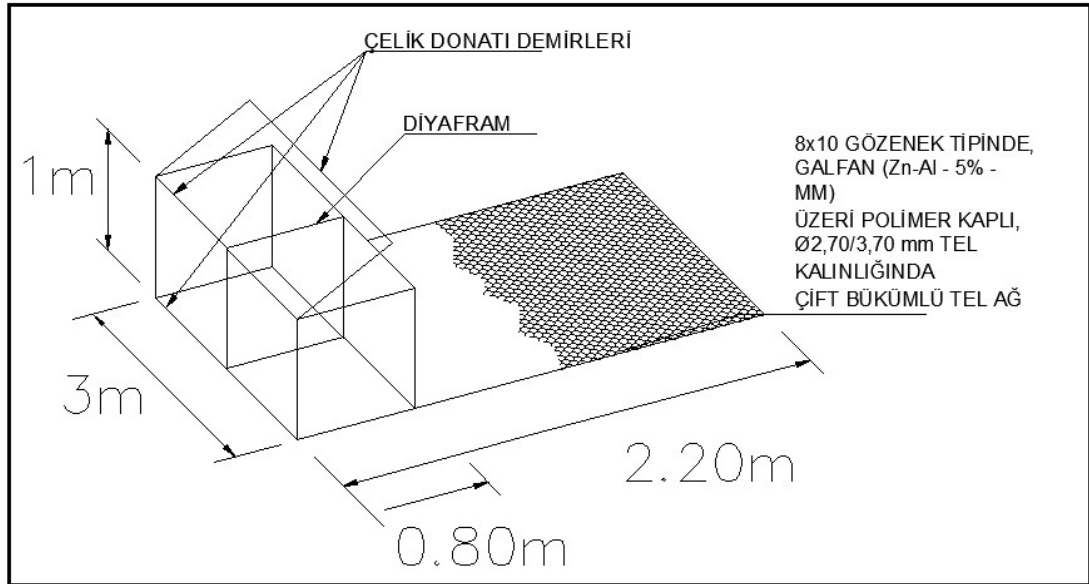
Şekil 4.27. Duvar arka dolgusunun uygulanmasından bir görünüm

Duvar ön yüzüne kullanılacak olan taş kafesi ünitesinin ebatları ve özellikleri Şekil 4.28’de gösterilmektedir. Kullanılacak olan ünitenin tel özellikleri ve

toleransları ‘TS EN 10223-3 Çitler için çelik teller ve tel mamüller-Bölüm 3: İnşaat mühendisliği amaçları için altıgen çelik tel örgüler’ standardına uygun olmalıdır. Kullanılacak olan ön yüz elemanın laboratuvar ortamında test edilen mukavemet ve sünme miktarları Çizelge 4.10’da gösterilmiştir. Ön yüz elemanı proje özelliklerine bağlı olarak farklı en, boy ve uzunlukta imal edilebilir. Projenin imal edileceği bölgedeki çevre unsurlarına göre TS EN 10223-3’ deki kaplama ve test özelliklerini sağlaması gerekmektedir. Projede kullanılan mamüllerin tasarım yıllarına göre olması gereken özellikleri yine aynı standart içerisinde varsayılan çalışma ömrü altında belirtilmiştir. Ön yüz içerisinde kullanılacak olan taşların mühendislik özellikleri Çizelge 4.9’daki gibidir.

Çizelge 4.9. Ön yüzde kullanılacak taşların mühendislik özellikleri

Ön Yüz Taşları	
Birim Ağırlık	17.50 kN/m ³
İçsel Sürtünme Açısı	40
Kohezyon	12.50 Kpa

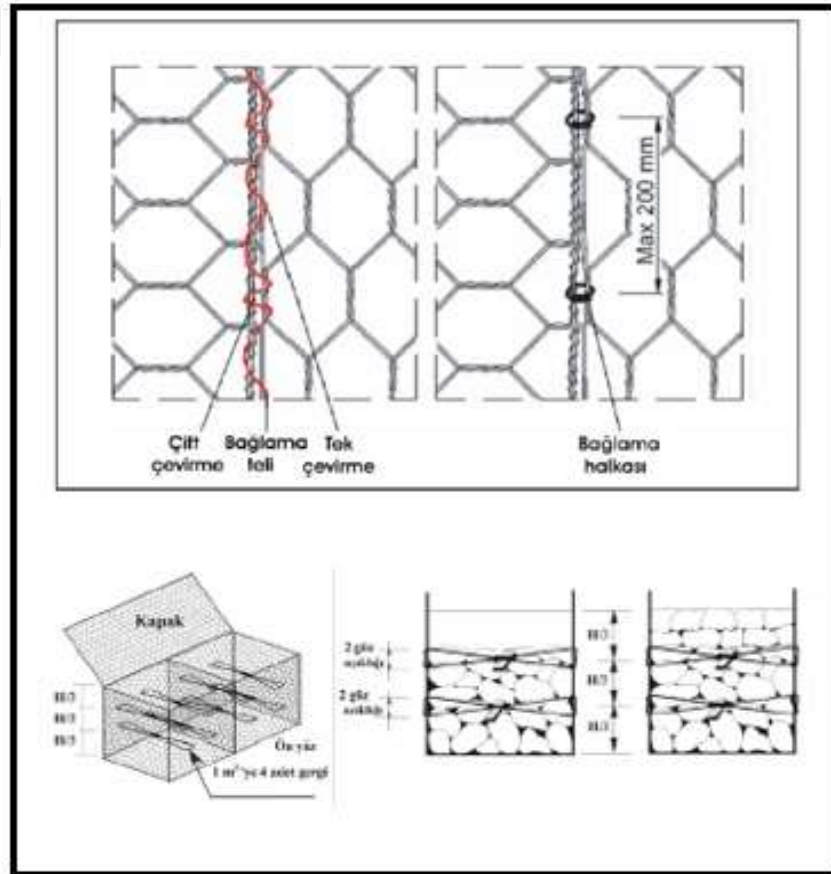


Şekil 4.28. Proje ön yüz kullanılacak taş kafesi ebat ve özellikleri

Ön yüzde kullanılacak olan taşların dizilme şeması ve bağlantı detayları Şekil 4.29’daki gibi olmalıdır. Taşlar homojen ebatlarda düz yüzeyli ve 12-25 cm ebatları arasında olmalıdır.

Çizelge 4.10. Ön yüz çift bükümlü tel elemanı malzeme özellikleri

		Ön yüz ünite 3x3x1x0,8 (göz açıklığı 8x10 tel 2.7/3.7mm)
Nihai Çekme Mukavemeti (UTS)	kN/m	50
Reziduel Çekme Mukavemeti (sünme) TCR%UTS	%	100



Şekil 4.29. Ön yüz elemanı bağlantı detayları (KTS,2013)

Duvar arka yüzünde, yapısal dolgu kademeleri arasında kullanılacak olan jeogrid malzeme *Linear Composites Ltd.* tarafından İngiltere’de üretilen, polietilen kılıf

içinde yer alan yüksek mukavemetli polyester liflerin oluşturduğu kolanların grid haline getirilmesi sonucu oluşturulan düzlemsel örtüdür. Proje hesaplarında 200 kN/m çekme mukavemetine sahip jeogridler kullanılacak olup (Çizelge 4.11), tasarımın istenilen güvenlik sayılarını vermemesi durumunda alternatif durumlar değerlendirilecektir. Jeogridlerin saha görünümü Şekil 4.30'da görülmektedir. Kullanılan jeogrid'e ait sertifika Ek-1'de mevcuttur.



Şekil 4.30. 200 kN/m jeogrid uygulama aşamasından bir görünüm

Çizelge 4.11. Jeogrid özellikleri

		Jeogrid
Nihai Çekme Mukavemeti	kN/m	200
Reziduel Çekme Mukavemeti (sünme)	%	72,36

4.4.4. Jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımı ve stabilite hesapları

Jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımı için birçok dizayn yöntemi geliştirilmiştir. Fakat, en yaygın ve anlaşılır olanı Limit Denge Metodu 'dur. Dünya genelinde tasarımlar için farklı ülkelerin standartları kullanılmaktadır (Amerika, İngiltere, Fransa vb.) Türkiye'de yapılan tasarımlarda da genel olarak bu standartlar kullanılmaktadır. Bu tez çalışması kapsamında da İngiliz Standart'ı kullanılmış olup yukarıda bahsedilen standartların yaklaşımları da genelde birbirine benzerdir.

Bölüm 4.3.3'de tasarım esasları anlatılmıştı, yukarıda bahsedilen *Limit Denge Metodu* da Bölüm 4.3.3'deki tasarım esasları ile aynı yaklaşımda olup aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Bir limit denge analizi, yapının tüm stabilite kontrollerinin değerlendirilmesinden oluşur. Dikkate alınması gereken stabilite türleri dış stabilite, iç stabilite ve birleşik stabilite durumudur:

- Dış stabilite, bir bütün olarak kabul edilen stabilize toprak kütesinin genel stabilitesini içerir ve stabilize toprak kütesinin dışındaki kayma yüzeylerini kullanarak değerlendirilir.
- İç stabilite analizi, donatılı zemin kütesi içindeki potansiyel kayma yüzeylerinin değerlendirilmesinden oluşur.

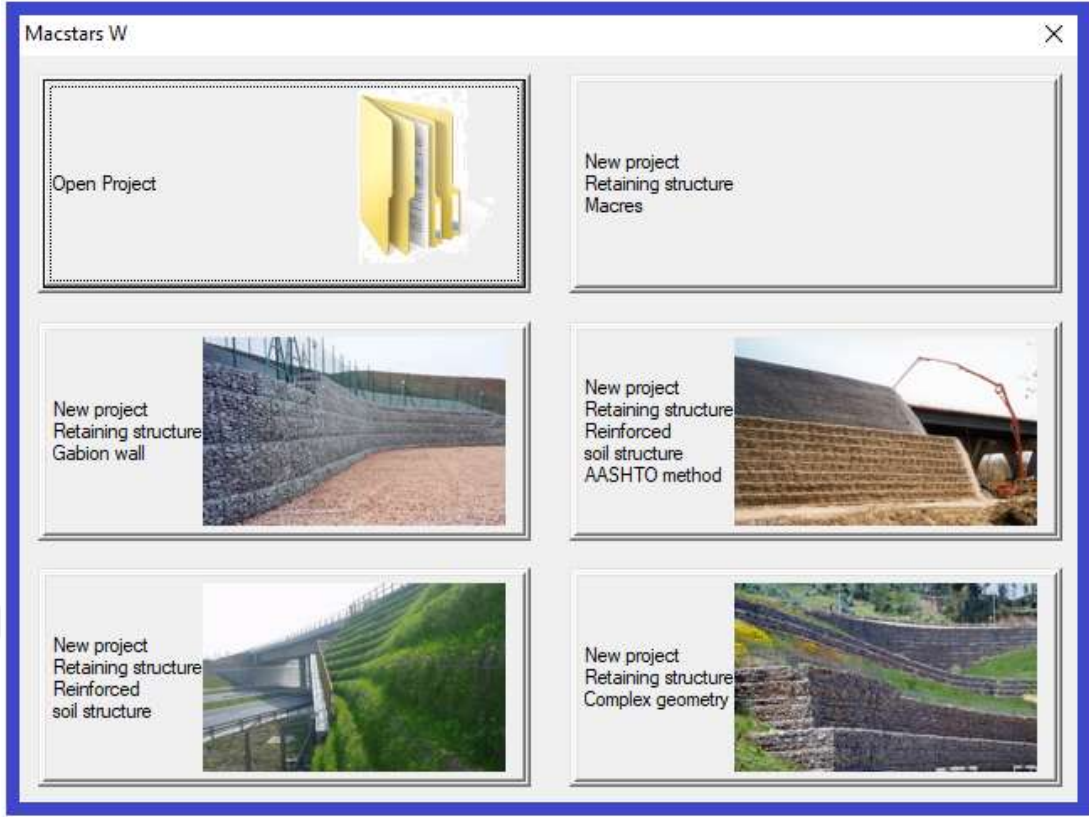
Bazı durumlarda, kritik kayma yüzeyi kısmen dengelenmiş zemin kütesinin dışında ve aynı zamanda içinde olabilir. Böyle bir durumda birleşik bir dış / iç stabilite analizi gerekebilir (FHWA, 1998).

Bu tip duvarların tasarımı genelde birim m için duvar boy profilinden en kesit alınarak yapılır ve kritik kesitlerde stabilite durumları değerlendirilir. Proje örneğindeki kritik duvar yükseklikleri 9 m ve 13 m'dir. Bu durumda duvar

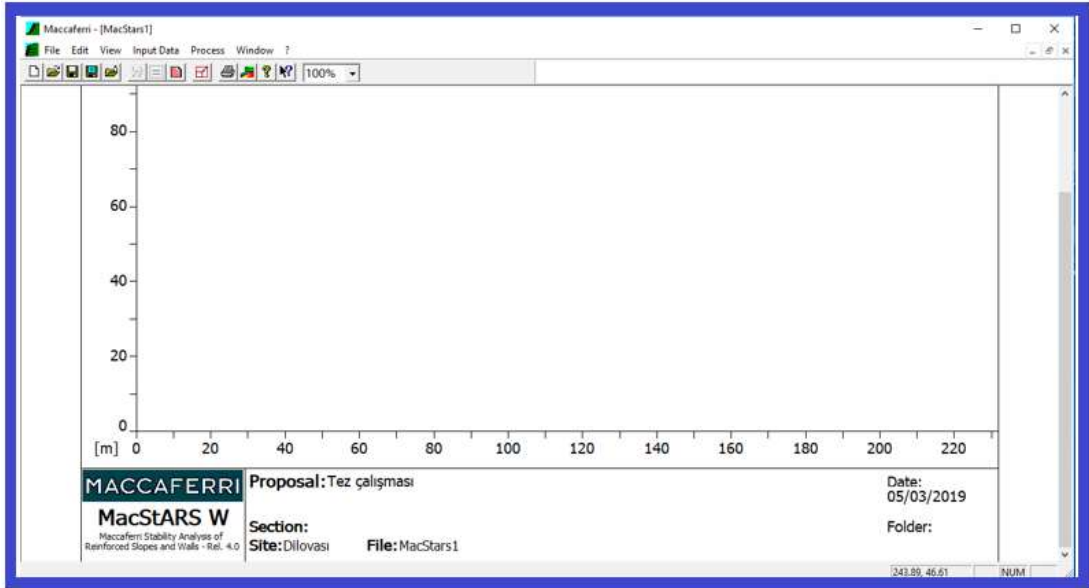
stabilite hesapları 9 m'lik ve 13 m'lik kesitler üzerinden yapılacaktır. Bu hesaplar nümerik hesaplar olduğu için stabilite hesapları çok fazla zaman alır ve insan hatası unsuru çok fazladır. Bu yüzden bu hesaplar yapılırken bilgisayar yazılımlarından faydalanılır. Bu tez çalışması kapsamında faydalanılacak olan bilgisayar yazılımı *Macstars W* dir. *Macstars W* programı gabion ve donatılı zemin destek işlerinin stabilitesini kontrol amaçlı *Maccaferri* şirketi tarafından geliştirilen ve *Limit Denge Metodu* ile kontrol gerçekleştiren bir duvar analiz yazılımıdır. *Limit Denge Metodu* ile çalışan programda, donatılı zemin duvarlar ve donatılı şevler modellenerek dış stabilite ve iç stabilite hesapları statik ve sismik olarak hesaplanabilir. *Limit Denge Metoduna* göre kritik yüzey analizleri otomatik olarak oluşturulan potansiyel kayma yüzeylerinde kontrol edilmektedir. Program *Basitleştirilmiş Bishop Yöntemi* ve dairesel kayma daireleri kullanılarak çözümlenmektedir. Potansiyel kayma düzlemine göre donatının davranışı ve varsa yüklerin modellenmesi yapılarak sistemin statik ve sismik durumu değerlendirilir. Programdaki hesap adımları kısaca aşağıda belirtilen şekildedir:

- ✓ Tasarım standartı seçilir ve proje bilgileri girilir.
- ✓ Gerekli veriler girilir ve geometri tanımlanır.
- ✓ Zemin özellikleri menüsünden zemine ait parametreler girilir.
- ✓ Su basıncı varsa piezometrik menüsünden geometrisi ve özellikleri tanımlanır.
- ✓ Donatılı zemin blokları menüsünden ön yüz elemanı, geometrisi ve özellikleri tanımlanır.
- ✓ Yükler menüsünden sistem üzerine etkiyen yüklerin yerleri ve şiddetleri tanımlanır.
- ✓ Stabilite analizi menüleri takip edilerek dış ve iç stabilite hesaplarında ki güvenlik sayıları ve sonuçları gösterilebilir.
- ✓ Rapor menüsünden analiz sonuçları Word formatında alınabilir.

Yazılıma çift tıklanıp açıldığında Şekil 4.31'deki pencere karşımıza gelecektir. Tasarım standartı seçildikten sonra geometri ve özellikler tanımlanmadan önce programın ara yüzü Şekil 4.32'deki gibi olacaktır.



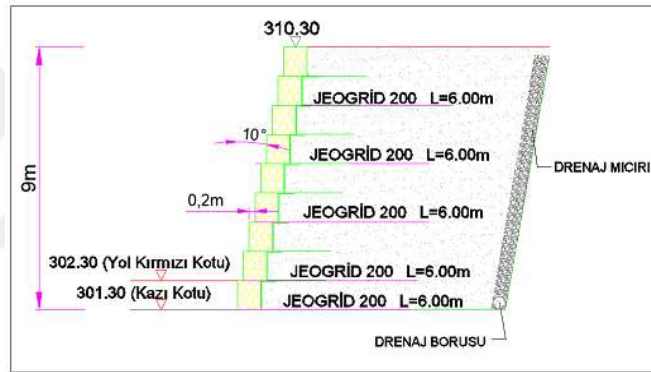
Şekil 4.31. Program giriş penceresi



Şekil 4.32. Program ara yüzü

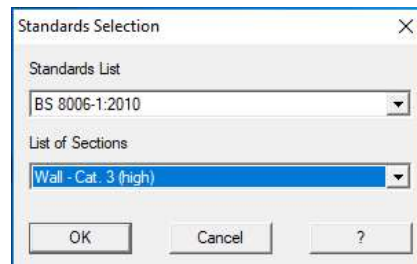
Duvarın 9 m yüksekliğindeki en kesit için iki kademede bir olmak kaydıyla 200 kN/m çekme mukavemetine sahip jeogridlerle ön hesap yapılacak ve stabilite

durumları değerlendirilecektir. Duvar geometrisiyle ilgili bilgiler Şekil 4.33'de gösterilmiştir. Ön yüz elemanlarının her kademesi için 20 cm geri çekme düşünülmüş ve 10 derece arka dolguya doğru duvar önyüzü yatık olması planlanmıştır. Stabilité hesapları yapılmadan önce duvar ön geometrisinin tanımlanması gerekir. Farklı standartların, duvar yüksekliklerine göre önerdikleri taban genişlikleri vardır. İngiliz Standartları H yüksekliğindeki duvar için en az $0.7 H$ taban genişliği önermektedir. Bu öneriye göre 9 m yükseklik için 6,30 m taban genişliği önerilir, bu sebeple taban genişliği 6 m olarak seçilmiştir. Stabilité hesaplarının istenilen değerleri karşılamaması durumunda taban genişliği arttırılabilir. Taban genişliği arttırılmayacak durumdaysa jeogridin mukavemetinin arttırılması gerekir (Örneğin, 250, 300, 350, 400 kN/m), o da olmazsa kademe aralıkları arttırılabilir.



Şekil 4.33. İncelenen 9m yüksekliğindeki duvarın en kesiti

Yazılımda hesap yaptırılmadan önce program hesap adımları kısmında açıklandığı gibi tasarım için standart seçmek gerekir (Şekil 4.34) ve ardından proje genel bilgilerinin girilmesi gerekir (Şekil 4.35).



Şekil 4.34. Tasarım standartının seçilmesi

Şekil 4.35. Proje genel bilgilerinin girilmesi

Proje örneğinde stabilite hesapları İngiliz Standartlarına (*British Standarts*) göre yapılmıştır. BS'a göre tasarımlarda ele alınan iki sınır durumu vardır. Bunlar: nihai sınır durumu (*Limit state*) ve servis süresi boyunca olan sınır durumudur (*Serviceability limit state*).

Tasarım sırasında yapının servis ömrü boyunca maruz kalacağı hareketli ve ölü yükler tasarım sırasında yapıya intikal ettirilmeli; malzeme katsayıları, yük kombinasyonlarına göre yük katsayıları tasarım sırasında dikkate alınmalıdır. BS 8006-1:2010' a göre kısmi güvenlik sayıları aşağıdaki Çizelge 4.12' de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Kısmi güvenlik katsayıları (BS'den çevirisi yapılmıştır)

Etkiler	Kombinasyonlar		
	A	B	C
Donatılı zemin yapısının kütlesi	1,5	1,0	1,0
Donatılı zemin yapısı üzerindeki arka dolgu kütlesi	1,5	1,0	1,0
Yapı arkasındaki toprak basıncı	1,5	1,5	1,0
Trafik yükü: Donatılı zemin kütlesi üzerinde	1,5	0	0
Donatılı zemin kütlesi arkasındaysa	1,5	1,5	0
DİKKAT Aşağıdaki açıklanan yükleme durumları, çeşitli kriterler için olağan en kötü kombinasyonu tanımlar ancak sadece bilgi amaçlıdır. En kritik durumun bulunmasını ve dikkate alınmasını sağlamak için her bir yapıdaki her donatı tabakası için tüm yük kombinasyonları kontrol edilmelidir.			

Kombinasyon A: Bu kombinasyon tüm yüklerin maksimum değerlerini alır ve dolayısıyla maksimum donatı gerilmeleri ve taşıma gücü değeri hesaplanır. Çekme direnci genellikle Kombinasyon B tarafından hesaplanır.

Kombinasyon B: Bu kombinasyon duvarı devirmeye yönelik olan yüklerin maksimum değerlerini duvarın kendi minimum kütlesi ile karşılamaya çalışır. Dolayısıyla tabanda kayma tahkiki için en kötü senaryoyu belirler; donatıların çekme mukavemetleri ve sıyrılma tahkikleri belirlenir.

Kombinasyon C: Bu kombinasyon ölü yükleri kısmi güvenlik faktörleri olmadan analize katar. Bu kombinasyon kısa dönem kontrollerinin yanı sıra temeldeki oturmaları hesaplamak için kullanılır.

İlk aşamada zemin özellikleri alt temel, arka dolgu ve ön yüzde kullanılacak taşlara ait veriler programa girilmiştir (Şekil 4.36, Şekil 4.37, Şekil 4.38).

The image shows a 'Soil Properties' dialog box with the following fields and values:

- Label: ATM
- Description: Alt Temel Malzemesi
- Assign Soil Parameters for Settlements Calculation: (button)
- Colour: (orange bar)
- Cohesion: 10
- Friction angle [°]: 35
- Ru: 0
- Multiplier Class for Friction Angle: Soil material factor tan(phi)
- Bulk unit weight [KN/m³]:
 - Saturated weight: 25
 - Natural weight: 25
- Multiplier Class: Foundation soil

Buttons: OK, New, Delete, Rename, Cancel, ?

Şekil 4.36. Temel zeminin tasarım parametrelerinin girilmesi

Soil Properties

Label: YD

Description: Yapısal Dolgu

Assign Soil Parameters for Settlements Calculation

Colour: [Green]

Cohesion: 5

Friction angle [°]: 35

Ru: 0

Multiplier Class for Friction Angle: Soil material factor tan(phi)

Bulk unit weight [KN/m³]:

Saturated weight: 19

Natural weight: 19

Multiplier Class: Mass of the reinforced soil body

Şekil 4.37. Arka dolgu parametrelerinin girilmesi

Soil Properties

Label: OE

Description: Önyüz Elemanı

Assign Soil Parameters for Settlements Calculation

Colour: [Black]

Cohesion: 12.5

Friction angle [°]: 40

Ru: 0

Multiplier Class for Friction Angle: Soil material factor tan(phi)

Bulk unit weight [KN/m³]:

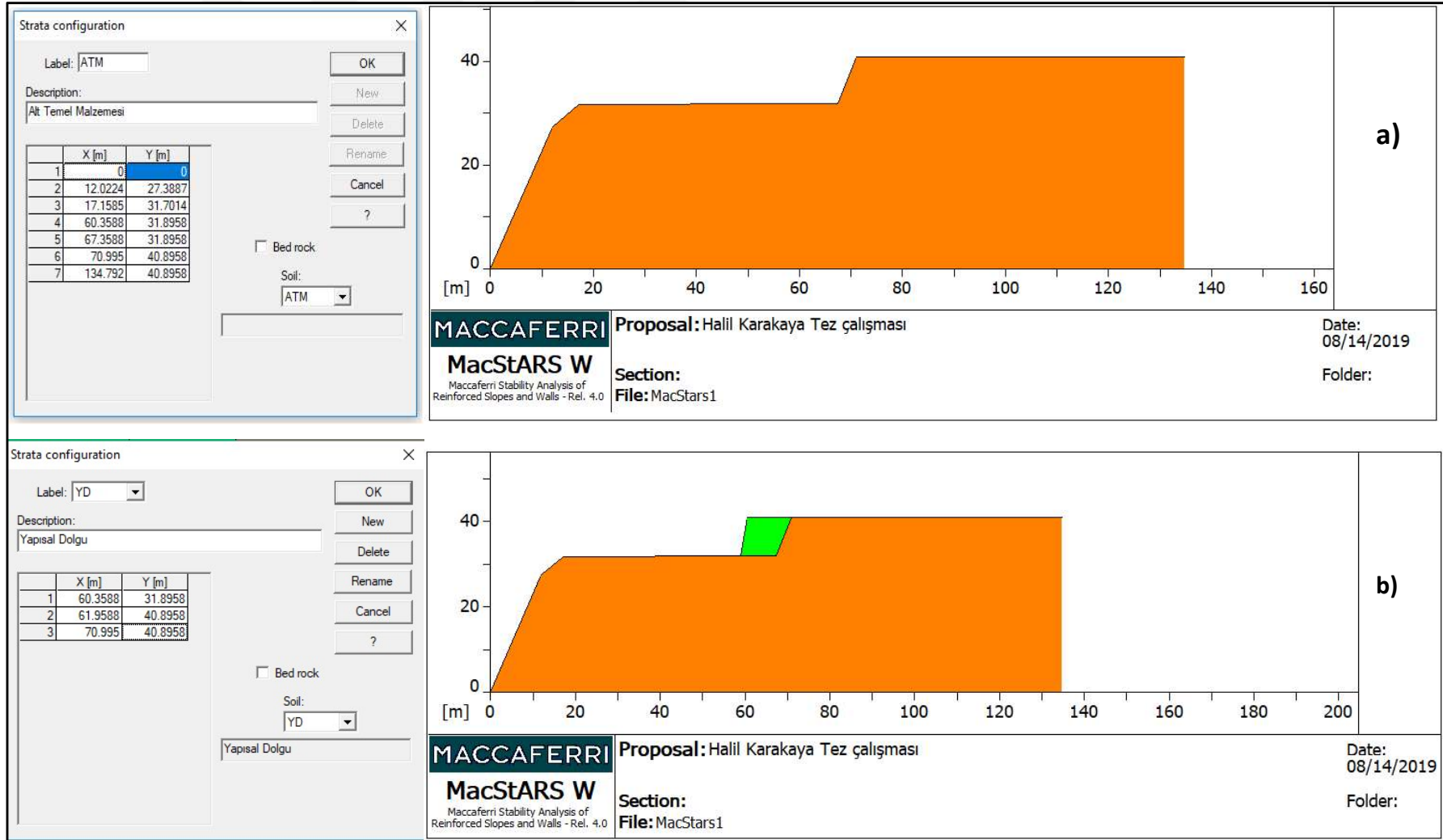
Saturated weight: 17.5

Natural weight: 17.5

Multiplier Class: Mass of the reinforced soil body

Şekil 4.38. Ön yüz malzeme parametrelerinin girilmesi

Malzeme tanımlamaları yapıldıktan sonra geometrilerin tanımlanmalıdır. Alt temel malzemesinin geometrisi Şekil 4.39 a'da yapısal dolgu geometrisini tanımlanması Şekil 4.39 b'de gösterilmiştir. Ön yüz elemanı ve donatı geometrisini girilmesi Şekil 4.40'daki gibidir. Son olarak Şekil 4.41'deki donatı özellikleri girildikten sonra Şekil 4.42'deki duvar modeli elde edilir.



Şekil 4.39. a) Alt temel malzemesinin geometrisi b) Yapısal dolgu geometrisini tanımlanması

Block Dimension

Label: Segmental wall Friction Angle between [°] Block and reinforcement:

Main reinforcement

Manufacturer: <input type="text" value="Maccaferri"/>	Product Family: <input type="text" value="Terramesh System"/>	Product Model: <input type="text" value="S/2.7P -1.0x0.8"/>
Reinforcement Length [m]: <input type="text" value="3"/>	Gabion height [m]: <input type="text" value="1"/>	Gabion width [m]: <input type="text" value="0.8"/>

Lying over block: External Face Inclination [°]: Hill side:

Block origin [m]:

Abscissa: <input type="text" value="60.3588"/>	Ordinate: <input type="text" value="31.8958"/>
--	--

Block dimensions [m]:

Base Length: <input type="text" value="6"/>	Height: <input type="text" value="9"/>
---	--

Block Associated Soils

Label: Class of Structural Embankment:

Structural Embankment: Yapısal Dolgu

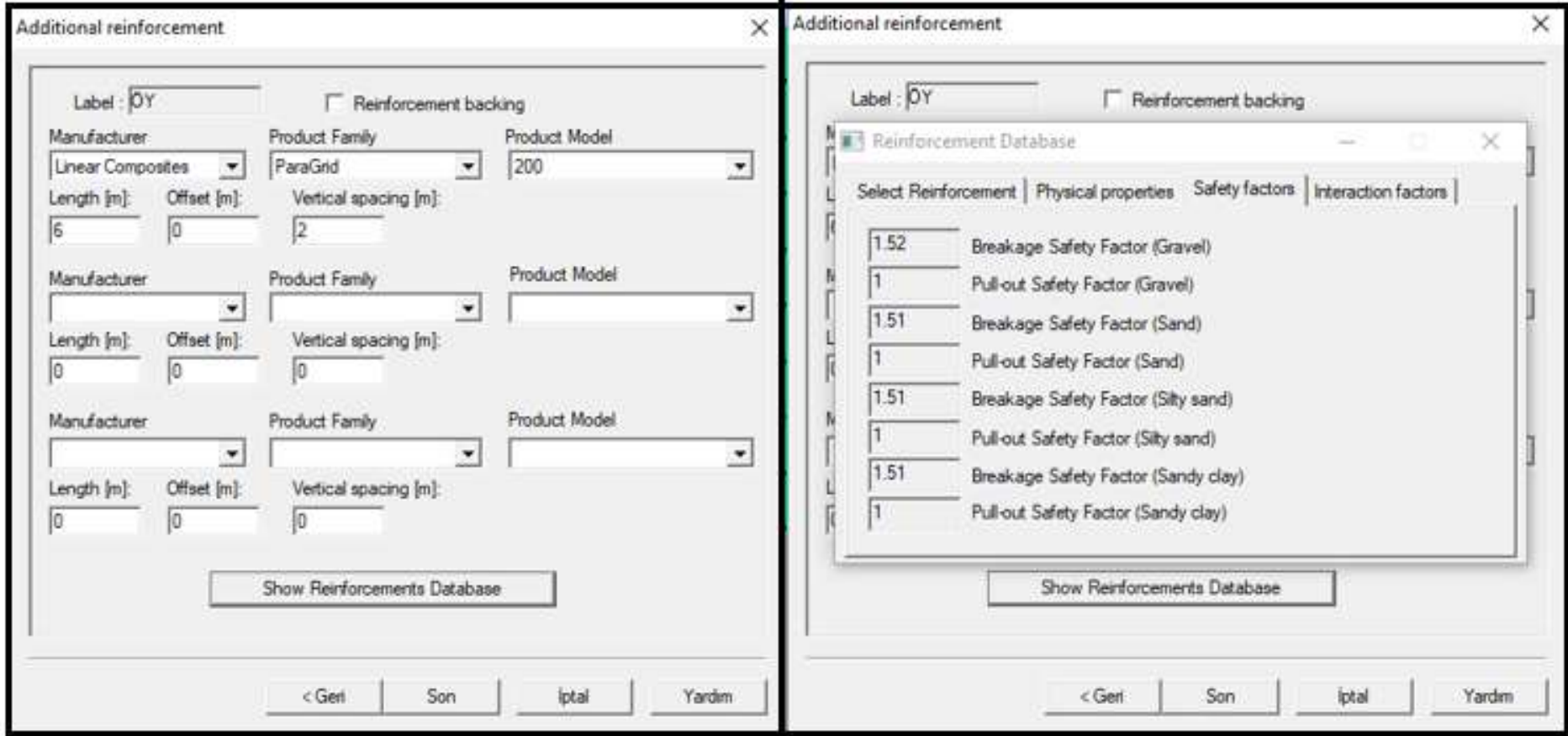
Backfill: Yapısal Dolgu

Block Covering Soil: Yapısal Dolgu

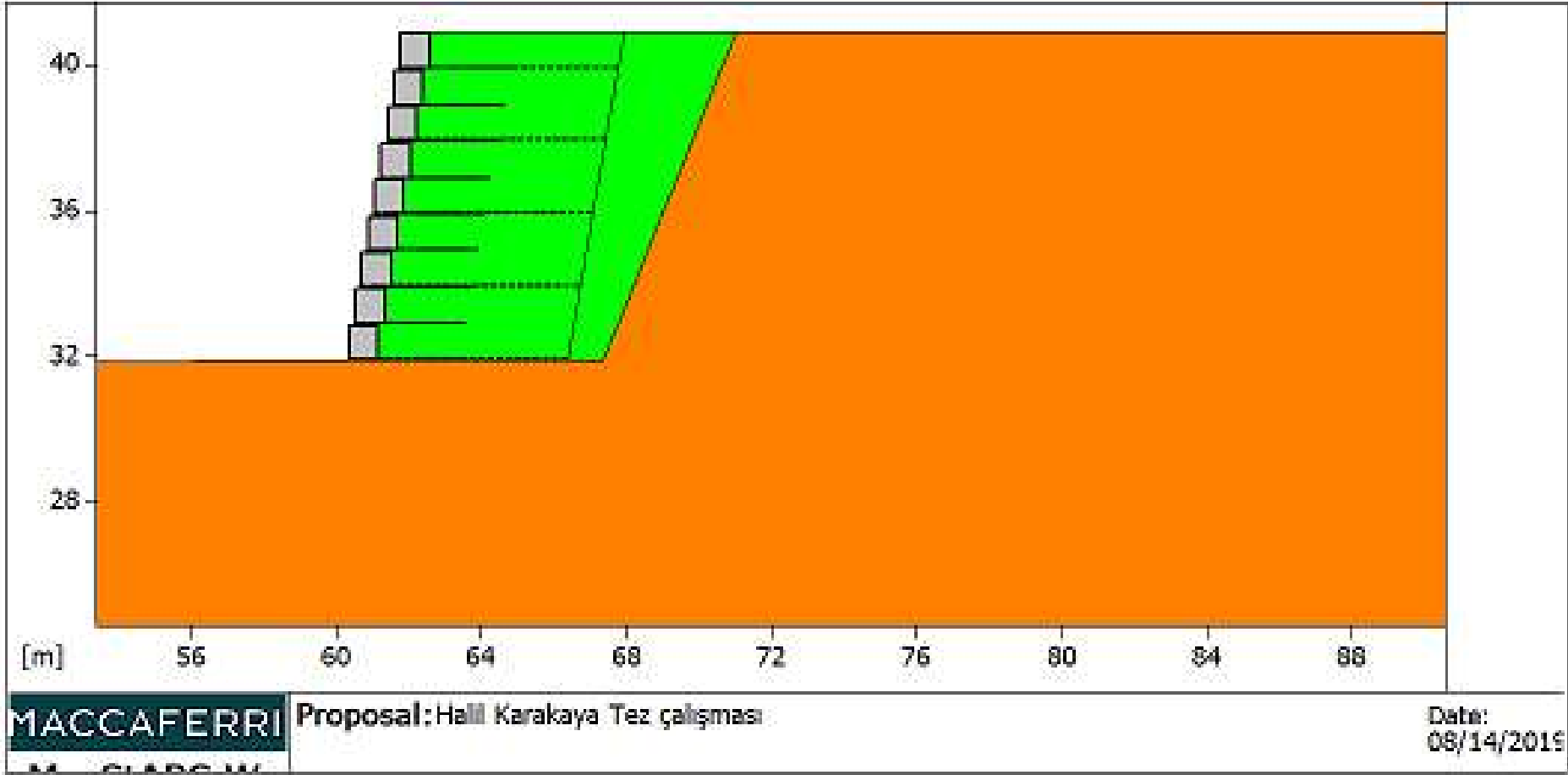
Block Foundation Soil: Alt Temel Malzemesi

Gabion Filling Soil: Önyüz Elemanı

Şekil 4.40. Ön yüzün geometrisi ve donatı geometrisini girilmesi

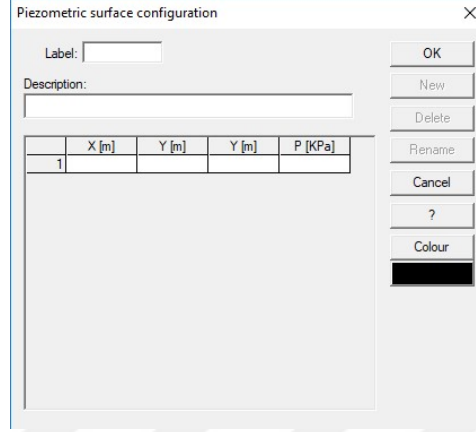


Şekil 4.41. Jeogrid özelliklerinin tanımlanması



Şekil 4.42. İncelenen 9m yüksekliğindeki duvarın en kesiti

Proje sahasında su seviyesinin duvara etkisi olmadığı için hesaplarda hidrostatik su basıncı dahil edilmemiştir. Su etkisinin olması halinde dahil edilecek olması halinde programa *piezometric surface configuration* menüsünden su tablasının geometrisi ve duvara olan etkisi hesaba dahil edilmelidir (Şekil 4.43).

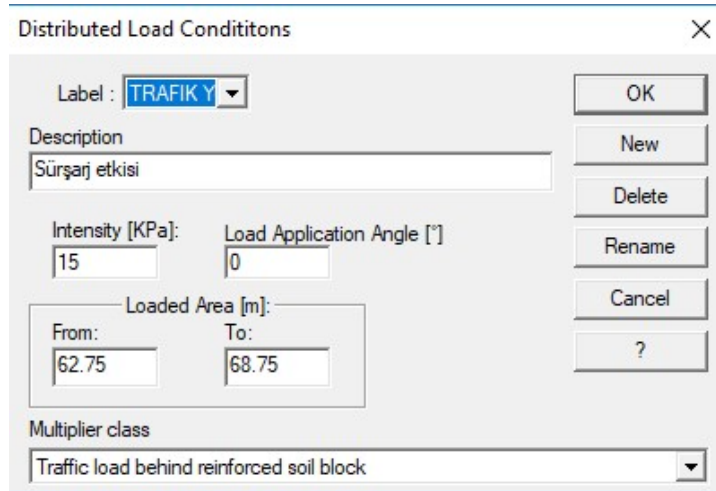


The image shows a dialog box titled "Piezometric surface configuration". It has a "Label:" field, a "Description:" field, and a table with columns "X [m]", "Y [m]", "Z [m]", and "P [kPa]". The table has one row with the value "1" in the first column. To the right of the table are buttons: "OK", "New", "Delete", "Rename", "Cancel", "?", and "Colour".

	X [m]	Y [m]	Z [m]	P [kPa]
1				

Şekil 4.43. Su tablası menüsü

Çalışma sahasında, istinat duvarına etki eden herhangi bir yapı yükü bulunmamaktadır. Binalar duvara etki edebilecek mesafede olmadığı için duvar modeli üzerine sadece trafik yükü olarak sürşarj yükü dahil edilmiştir. Bu değer KTŞ'de ve BS'de önerilen 15kPa (15kN/m²) yayılı yüküdür. Bu yükü programa tanımlayabilmek için *Loads-Distributed Load Condititons* menüsünden Şekil 4.44'deki tanımlamalar yapılır ve duvar üzerine yükleme yapılır.



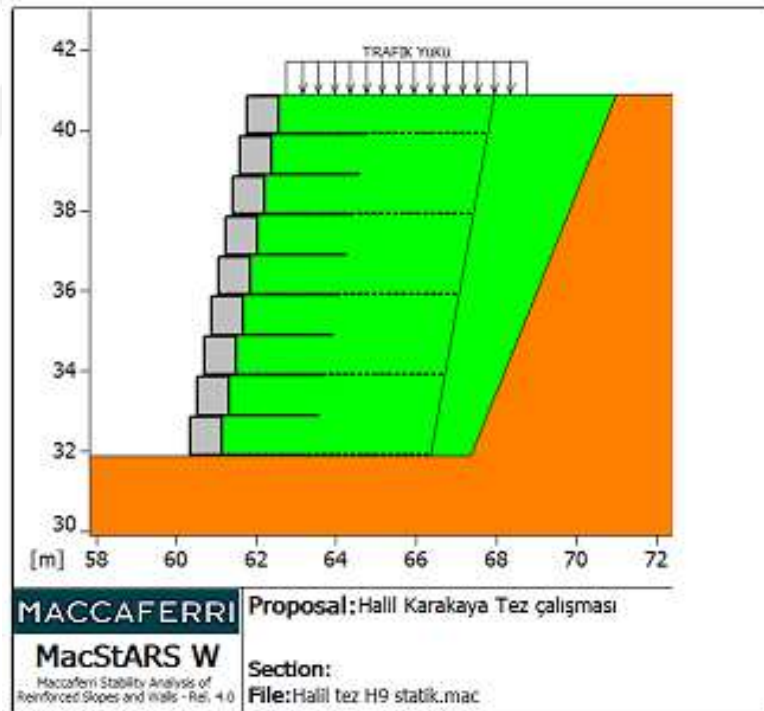
The image shows a dialog box titled "Distributed Load Condititons". It has a "Label:" dropdown menu with "TRAFİK Y" selected. The "Description:" field contains "Sürşarj etkisi". There are input fields for "Intensity [kPa]" (15) and "Load Application Angle [°]" (0). Below these are input fields for "Loaded Area [m]" with "From:" (62.75) and "To:" (68.75). At the bottom, there is a "Multiplier class" dropdown menu with "Traffic load behind reinforced soil block" selected. To the right of the dialog are buttons: "OK", "New", "Delete", "Rename", "Cancel", and "?".

Şekil 4.44. Sürşarj yükünün girilmesi

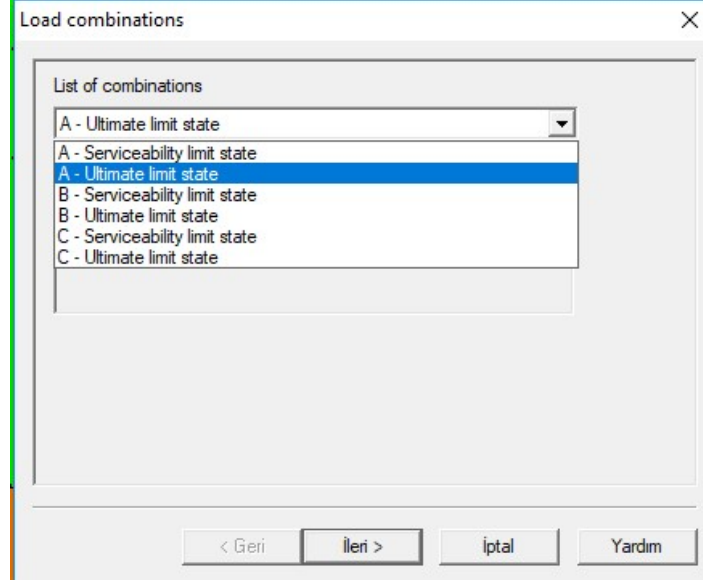
Açıklanan şekilde duvara yük verildiği zaman model Şekil 4.45'deki şekli alacaktır. Duvara etki eden farklı yük durumları varsa (nokta yük, bina yükü vb.) bu kısımda tanımlanmalıdır.

Sismik tasarım söz konusu olduğu zaman, sismik yükler de *Loads-Earthquake* menüsünden tanımlanır.

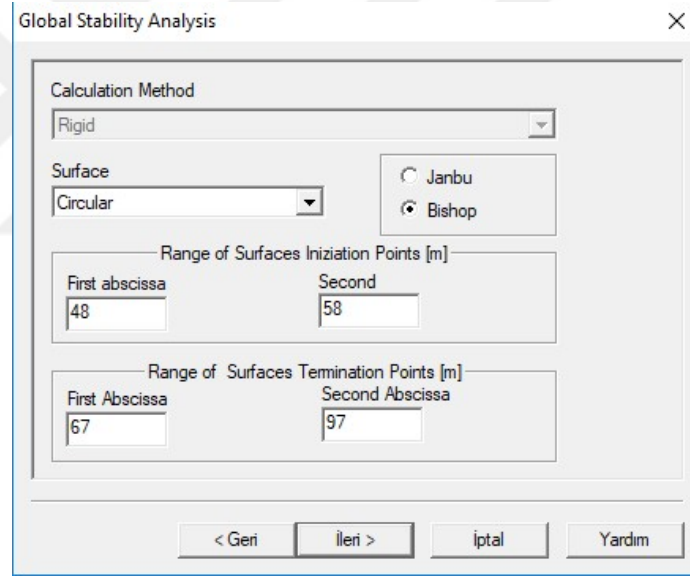
Gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra dış stabilite kontrolü olan duvarın toptan göçme kontrolü yapılabilir. Bu hesaplamayı yapabilmek için *Process-Stability Analysis-Global Stability* menüleri takip edilir. Daha önce BS'e göre Çizelge 4.12'de açıklanan yük kombinasyonları Şekil 4.46'daki gibi seçilir ve Şekil 4.47'deki pencereye geçilir. Bu pencerede toptan göçme kontrolü için yöntem, kayma tipi ve sınır geometrinin tanımlanması gerekir.



Şekil 4.45. Yükleme durumundaki model

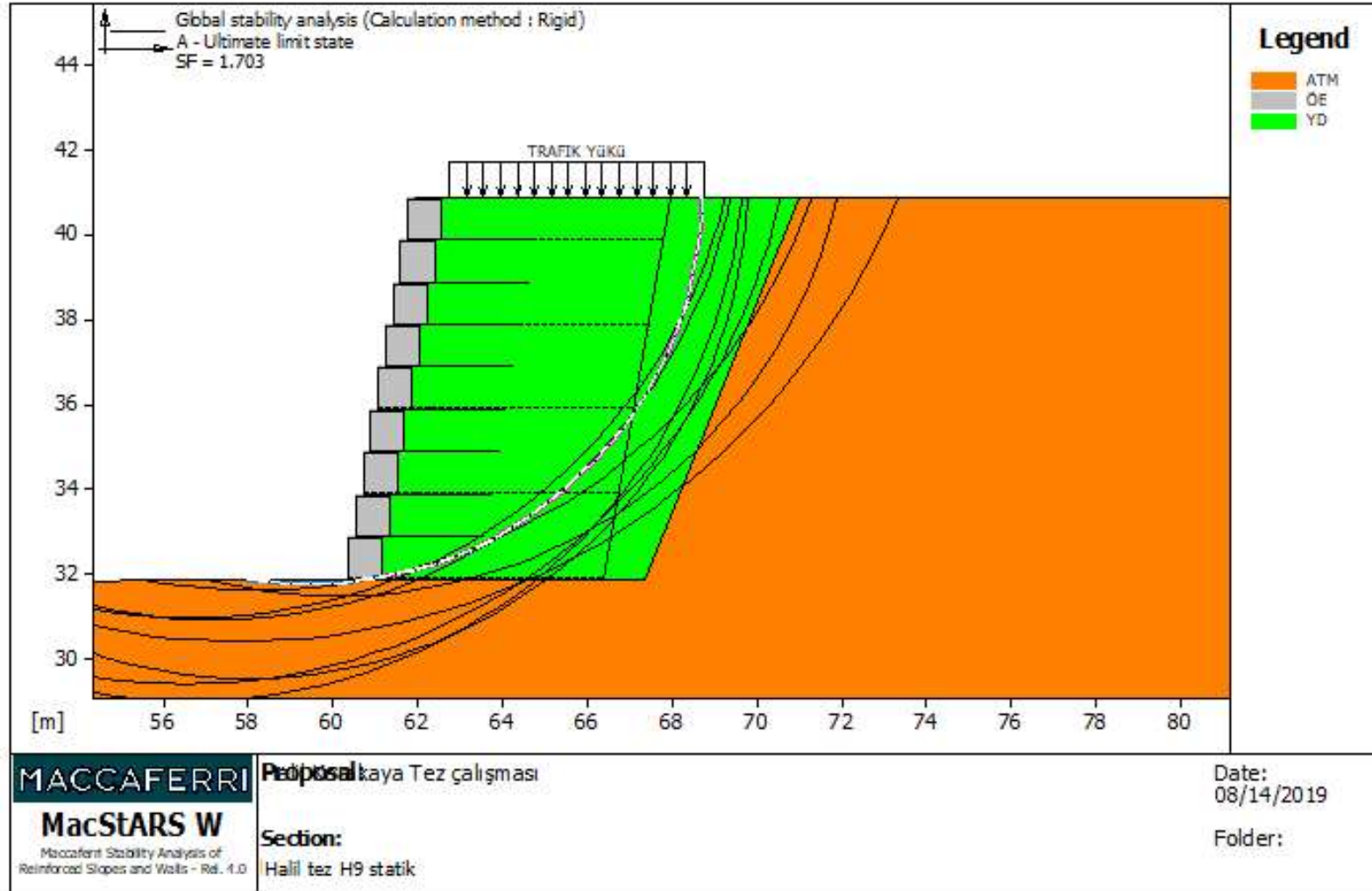


Şekil 4.46. Yük kombinasyonlarının seçimi



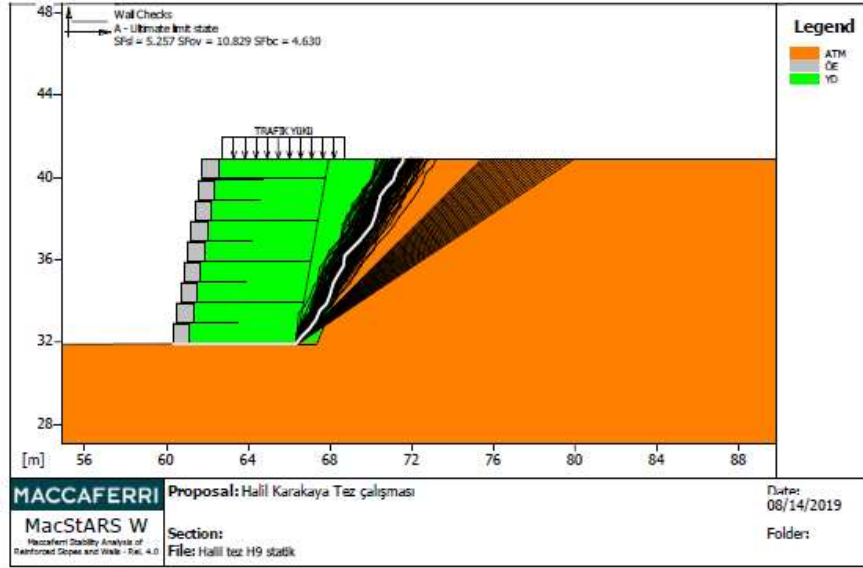
Şekil 4.47. Toptan göçme yöntemi ve sınırlar

BS standardı ve program menüleri doğrultusunda açıklanan tüm adımlar takip edildiği zaman artık toptan göçme kontrolü yapılabilir. *Process-Calculate* menülerinden hesap yapılır ve ekran Şekil 4.48'daki gibi olur ve toptan göçme güvenlik sayısı 1,939 olarak bulunur. İhtiyaç duyulması halinde *Export Report* menüsünden *Word* formatında hesap çıktıları alınabilir.

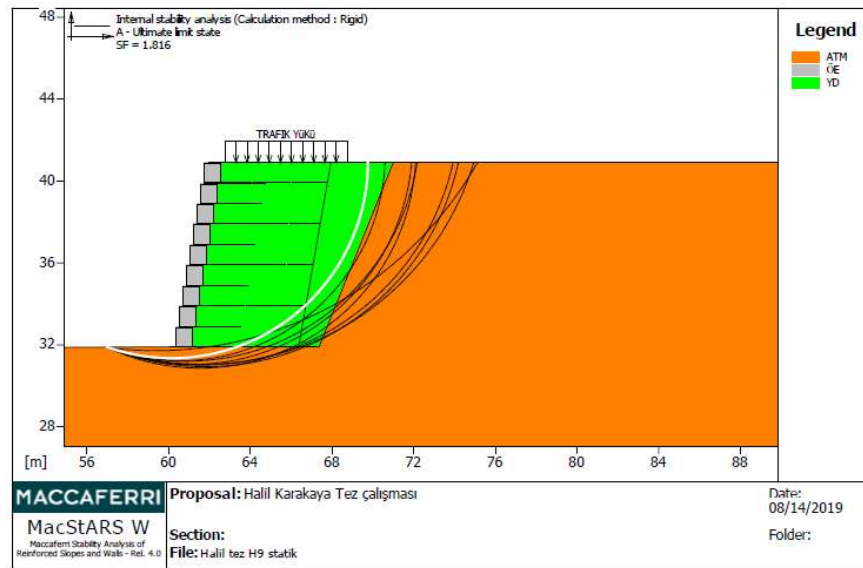


Şekil 4.48. Toptan göçme sonucu

Duvarın diğer dış stabilite hesapları için (Taban kayması, Dönme, Taşıma gücü) *Process-Reinforced Soil Structure-Wall Check* menüleri takip edilir. Daha önce açıklanan kombinasyonlar menüsü seçildikten sonra hesap yapılır ve Şekil 4.49'daki sonuçlar bulunur. İç stabilite kontrolünü gerçekleştirmek için *Process-Reinforced Soil Structure-Internal Stability* menüleri seçilir ve güvenlik sayısı Şekil 4.50'deki gibi bulunur.



Şekil 4.49. Kayma, dönme ve taşıma gücü güvenlik sayıları



Şekil 4.50. İç stabilite güvenlik sayısı

Yukarıda detaylı bir şekilde açıklandığı üzere 9 m yüksekliğindeki duvara ait tüm statik güvenlik sayıları BS'deki kombinasyonlara göre yazılımda hesaplanmış ve incelenen duvara ait statik stabilite sonuçları Çizelge 4.13'de verilmiştir. Programa ait hesap çıktıları Ek-2'de verilmiştir.

Çizelge 4.13. İncelenen 9 m yüksekliğindeki duvara ait stabilite sonuçları

Stabilite Durumları (Statik)		Güvenlik Sayıları		
		Kombinasyonlar		
		A	B	C
Dış	Toptan Göçme	1,703	1,979	2,009
	Taban Kayması	5,257	5,875	5,575
	Dönme	10,829	12,805	11,545
	Taşıma Gücü	4,630	6,944	7,593
İç	Donatı kopma ve Sıyırılma	1,754	2,017	1,974

Çizelge 4.13'deki sonuçlar duvarın statik şartlar altındaki güvenlik sayılarını göstermektedir. Sismik tasarım için daha önce bahsedildiği gibi *Loads-Earthquake* menüsünden sismik katsayıların yazılıma tanımlanması ve hesapların tekrar yapılması gereklidir.

Eurocode 8.5 (EN 1998-5)'göre, BS8006'de depremsellik basitleştirilmiş metotla yapılmaktadır (pseudo-statik analiz). Bu analiz tipi kısaca duvara etki eden yüklere sismik katsayıların da eklenmesiyle yapılan analiz tipidir. Kütlelere etkiyen düşey ve yatay sismik katsayıları aşağıda tanımlanmıştır:

$$k_h = (PGA)/r = 0,20 \text{ g}$$

$$k_v = \alpha * k_h / 2 = + 0,10 \text{ g}$$

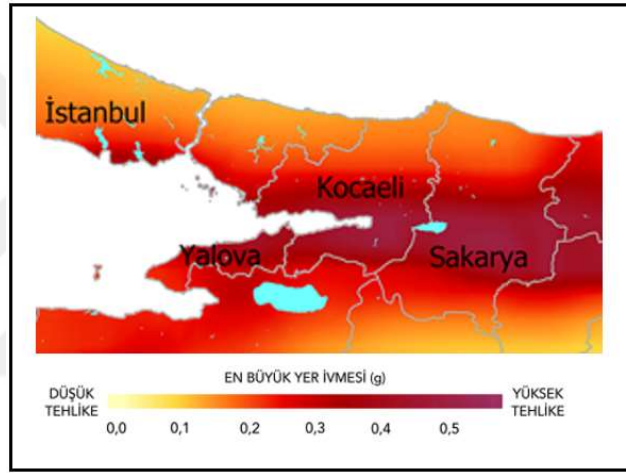
burada; $r = 2$

"r" katsayısı duvarın tipine göre EN 1998-5 Tablo 7.1' den seçilmektedir. Bu tablo BS standardından çevirisi yapılarak Çizelge 4.14'de gösterilmiştir. Bu tabloda donatılı zemin duvarlar $300 \times \alpha \times S$ (mm) mertebesinde yer değiştirmeye müsaade edebilen ağırlık yapısı olarak tanımlanmaktadır. İnceleme Alanı, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı tarafından yayınlanan haritada 1. derece deprem

bölgesinde belirtilmiş, dolayısıyla $a/g = 0,4$ olarak alınmıştır (Şekil.4.51). Deprem katsayılarının yazılıma girilmesi Şekil 4.52’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.14. Duvar tipine göre r faktörü (BS’den çevirisi yapılmıştır)

İstinat Duvarının Tipi	r
Dr = 300 α·S (mm) 'e kadar yer değiştirmeyi kabul edebilen ağırlık duvarları	2
Dr = 200 α·S (mm) 'e kadar yer değiştirmeyi kabul edebilen ağırlık duvarları	1,5
Bükülebilir donatılı betonarme duvarlar, ankrajlı veya destekli duvarlar, düşey kazıklar üzerine inşa edilmiş betonarme duvarlar, basit bodrum duvarları ve köprü kenar ayakları	1



Şekil 4.51. Kocaeli bölgesi deprem derecelendirme haritası (Afad, 2018)

Earthquake load conditions

Seismic coefficient

Horizontal: 0.2

Vertical: 0.1

Calculation of the critical acceleration

OK Cancel ?

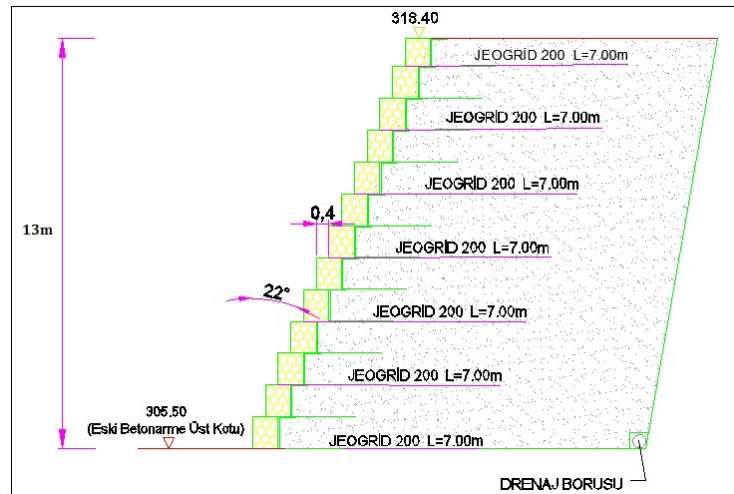
Şekil 4.52. Deprem katsayılarının girilmesi

Çizelge 4.15. İncelenen 9 m yüksekliğindeki duvara ait sismik stabilite sonuçları

Stabilite Durumları (Sismik)		Güvenlik Sayıları		
		Kombinasyonlar		
		A	B	C
Dış	Toptan Göçme	1,287	1,391	1,348
	Taban Kayması	1,433	1,432	1,287
	Dönme	1,987	1,884	1,643
	Taşıma Gücü	1,030	1,389	0,949
İç	Donatı kopma ve Sıyırılma	1,441	1,380	1,380

Statik hesaplardaki adımlar aynı şekilde izlendiğinde ve sismik katsayılar yazılıma tanımlandığı zaman 9 m yüksekliğindeki duvar için sismik güvenlik katsayıları Çizelge 4.15'deki gibi olmaktadır. Programa ait sismik hesap çıktıları Ek-3'de verilmiştir. Sismik hesaplar yapılırken Şekil 4.40'daki *Additional Reinforcement-Product Model* kısmında jeogrid mukavemetini gösteren '200' yerine '200 sismik' seçimi yapmak gerekir.

Duvarın 13 m yüksekliğindeki en kesit için iki kademedede bir olmak kaydıyla 200 kN/m çekme mukavemetine sahip jeogridlerle ön hesap yapılacak ve stabilite durumları değerlendirilecektir. Duvar geometrisiyle ilgili bilgiler Şekil 4.53'de gösterilmiştir. Ön yüz elemanlarının her kademesi için 40 cm geri çekme düşünülmüş ve 22 derece arka dolguya doğru duvar ön yüzü yatık olması planlanmıştır.



Şekil 4.53. İncelenen 13m yüksekliğindeki duvarın en kesiti

9 m yüksekliğindeki duvar için detaylı bir şekilde açıklanan tüm hesaplar 4.53'deki 13 m yüksekliğindeki duvar içinde yapılmış ve sonuçlar Çizelge 4.16'de statik için 4.17'de sismik için verilmiştir.

Çizelge 4.16. İncelenen 13 m yüksekliğindeki duvara ait statik stabilite sonuçları

Stabilite Durumları (Statik)		Güvenlik Sayıları		
		Kombinasyonlar		
		A	B	C
Dış	Toptan Göçme	1,519	1,637	1,645
	Taban Kayması	5,427	6,657	6,316
	Dönme	11,149	14,171	12,984
	Taşıma Gücü	5,370	5,833	6,111
İç	Donatı kopma ve Sıyırılma	1,251	1,381	1,387

Çizelge 4.17. İncelenen 13 m yüksekliğindeki duvara ait sismik stabilite sonuçları

Stabilite Durumları (Sismik)		Güvenlik Sayıları		
		Kombinasyonlar		
		A	B	C
Dış	Toptan Göçme	1,057	1,148	1,135
	Taban Kayması	1,222	1,328	1,233
	Dönme	1,733	1,870	1,682
	Taşıma Gücü	1,343	1,875	1,366
İç	Donatı kopma ve Sıyırılma	1,464	2,282	2,219

Uygulama Aşamaları:

Projenin gerekli şartları karşılaması sonucu uygulama aşamasına başlanır. İlk sıra ünitenin kurulması ve jeogrid serilmesi Şekil 4.54'de görülmektedir. Taş dolumu yapıp kalıplar söküldükten sonra (Şekil 4.55) arka dolguya başlanır (Şekil 4.56). Dolgu işlemi yapıp sıkıştırma testleri yapıldıktan sonra ikinci kademeye geçilir (Şekil 4.57). Aynı işlemlere devam edilerek üçüncü kademe imalatı gerçekleştirilir (Şekil 4.58). Duvarın son nihai kotlarına gelmiş ve tamamlanmış hali Şekil 4.59'da görülmektedir.



Şekil 4.54. İlk sıra ünite, kalıp kurulumu ve taş dolumu



Şekil 4.55. İlk sıra montaj tamamlanması



Şekil 4.56. Arka dolgu aşaması



Şekil 4.57. İkinci kademe saha görünümü



Şekil 4.58. Üçüncü kademe saha görünümü



Şekil 4.59. Duvarın bitmiş görünümü

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Jeosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarım ve analizlerinde zemin parametrelerinin etkisi konusunda yapılan bu tez çalışması ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Öncelikle jeosentetik donatılı istinat duvarlarının özellikleri, tasarımı ve bu tasarımda kullanılan parametreler anlatılmış ve bütün tasarım aşamalarının uygulandığı bir örnek proje seçilerek, proje yapılması ve uygulama aşamaları birlikte tez çalışması kapsamında ele alınmıştır.

Çalışma alanı Kocaeli Dilovası mevkiinde yapılması planlanan 349m uzunluğunda ve yüksekliği 9 m ile 13 m arasında değişen jeosentetik donatılı istinat duvarıdır.

Çalışma alanında toplam 11 adet temel sondaj yapılmış ve yüzey gözlemlerine de dayanarak, istinat duvarı yapılacak alan ve yakın çevresinin Triyas yaşlı şeyl-kumtaşı-kiltaşı-silttaşı-kireçtaşlarından oluştuğu, temel zeminin ise çok katı-sert kilttaşlarından oluştuğu belirlenmiştir.

Yapılan sondaj ve laboratuvar çalışmalarına göre istinat duvarının oturacağı temel zeminin Birim Hacim Ağırlığı 25 kN/m³, İçsel Sürtünme Açısı 35° ve Kohezyon 10 Kpa olarak belirlenmiştir.

Temel zemin üzerinde jeogrid olarak 200 kN/m çekme mukavemetine sahip olan jeogridler planlanmış ve stabilite hesaplarının istenilen değerleri karşılamaması durumunda mukavemet, boy ve katman sayılarında değişiklik yapılarak duvarların yeniden analiz edilmesi gerektiği düşünülmüştür.

Ön yüzde kullanılacak taş kafesleri içerisindeki taşlara ait parametreler Birim Hacim Ağırlık 17.50 kN/m³, İçsel Sürtünme Açısı 40° ve Kohezyon 12.50 Kpa olarak belirlenmiştir. Birim Hacim Ağırlık Değeri, taş kafes içerisinde taşların

dizilmesi sonucu kalan boşluklar (porozite) düşünöldüğünde genelde tasarımda %30-40 oranlarında azaltılarak kullanılır.

Yapılan stabilite hesaplarında, Limit denge yöntemine göre Macstars W programı kullanılarak statik ve sismik koşullar için BS8006-1:2010 ve EN-1998-5 standartları kullanılarak stabilite analizleri yapılmıştır.

Yapılan stabilite analiz sonuçlarına göre, 9,0 m ve 13,0 m duvar yükseklikleri iç-dış stabilite koşullarında, normal ve sismik durumlar için yeterli güvenlik sayılarını karşıladığı anlaşılmıştır.

Belirlenen koşullara göre hazırlanan projelerin uygulaması da yapılmış, uygulamada ve uygulama sonrasında herhangi bir sorunla karşılaşılmamıştır.

Sonuç olarak; istinat duvarlarının tasarlanması ve yapılan tasarımın uygulanmasının uzun bir aşamayı gerektirdiği, ancak yapılan bütün hesaplamaların sabit ve standartlara bağlı olarak yapıldığı, bütün hesaplamaların temel dayanağı olan zemin parametrelerinin ise, temel sondaj, laboratuvar deneylerine dayandığı, ancak bu deneysel parametrelerin tasarım parametrelerine dönüştürülmesinde kişisel deneyimin ön plana çıktığı, yanlış seçilen parametrelerin sonuçta aşırı maliyetli bir duvar yapılmasına neden olacağı gibi duvarın yıkılması gibi sonuçları da ortaya çıkaracağı anlaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- Afad, 2018. Türkiye Deprem Tehlike Haritası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- Aksoy, İ.M., 1993. Modern Yol İnşaatında Geotekstil ve Geogrid Uygulaması Konularında Arastırma, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul.
- Alkaya, D., Yeşil, B., 2012. Metal şerit ve Geosentetik Donatı Kullanılarak Oluşturulan Donatılı Zemin (Toprakarme) Yapılarının Spreadsheet Kullanarak Analizi, Akademik Bilişim, Uşak Üniversitesi.
- ASTM D1557 – 07, Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort
- Bağcı, F., 2007. Geosentetiklerle Projelendirme ve Zemin- Geosentetik AraYüzey Sürtünme Açılarının Değişik Geosentetik ve Zemin Türleri İçin Araştırılması, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Bajlan, H.G.F., 2016. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Sayısal Analizi, Dicle Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Diyarbakır.
- Beckham, W.K., Mills, W.H., 1935. Cotton-Fabric-Reinforced Roads. Engineering News Record, 114 (14), 453-455
- Bowles, J.E., 1996. Foundation Analysis And Design, McGraw-Hill, Singapore.
- BS8006, 1995. Code of Practice for Strengthened/Reinforced Soils and Other Fill ,British Standard.
- BS EN 1998-5, 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance Part. 5: Foundations, retaining structures and geotechnical aspects.
- Can, S., 2017. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarlarının Nümerik Analizi ve Tasarım Aşamaları, Harran Üniversitesi, Yüksek Lisans Tezi, Şanlıurfa.
- Coduto, D.P., 2001. Foundation Design, Prentice Hall. New Jersey
- Coulomb, C.A., 1776. Essai sur une application des regles des maximis et minimis a quelques problemes de statique relatifs a l'architecture, Memoires de l' Academie Royale pres Divers Savaants, Vol. 7.
- Day, R.W., 2004. Geotechnical Earthquake Engineering Hand Book, Mc Graw-Hill, New York.

- Düzgün, M., 1989. İstinat Yapıları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İzmir Şubesi Yayını, 1989/2, İzmir.
- Emir, A. S., 2005. Donatılı Zemin İstinat Duvarlarının Statik ve Dinamik Yüklere Göre Tasarımı, İ.T.Ü, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- FHWA HI-95-038, 1998, NHI Course No. 13213, Geosynthetic Design and Construction Guideline, Federal Highway Administration, National Highway Institute.
- Genç, D. 2008. Zemin Mekaniği ve. Temeller, Jeoloji Mühendisleri Odası, Yayın No.100, Ankara.
- Gürsoy, Ş., 2000. Deprem bölgelerinde betonarme istinat duvarlarının analitik ve sayısal yöntemleri kullanan bilgisayar yardımıyla projelendirilmesi, K.T.Ü Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- İstanbul Müh. Tic. Ltd. Şti. 2015. Kocaeli İli, Dilovası İlçesi, 189 Ada/1 Parsel, 196 Ada /1 Parsel Kentsel Dönüşüm Alanlarına Ait Zemin-Temel Etüt Raporu, Kocaeli.
- John, N.W.M., 1987. Geotextiles (First Edition), Blackie and Son Ltd, Glasgow, UK.
- Karaman, N.S., 2010. Gebze ve Dilovası'nın (Kocaeli) Hidrojeolojik İncelenmesi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2006. Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Koerner, R.M., 1999. Designing With Geosynthetics, Prentice Hall, New Jersey, 5th edition.
- Kotan, D., 2008. Geotekstil Donatılı Zemin İstinat Duvarları ile Yamaçlarda Stabilitenin Arttırılması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 181s.
- Livaoğlu, P., 2016. İller Bankası Uygulamalarında Geosentetikler. İller Bankası Anonim Şirketi, Uzmanlık Tezi.
- Maccaferri CO, 2019. Erişim Tarihi: 15.08.2019. <https://www.maccaferri.com>
- Mitchell, J.K., Villet, W.C.B., 1987. Reinforcements of Earth Slopes and Embankments, National Cooperative Highway Research Program Report, California, USA.
- Mononobe, N., Matsuo, H., 1929. On the determination of earth pressures during earth-quakes, Proceedings, World Engineering Congress, 9p.
- Okabe, S., 1926. General theory of earth pressures, Journal of the Japan Society of Civil Engineering, Vol. 12, No. 1.

- Özkol, O., 2006. Geosentetik Donatılı İstinat Yapılarının Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Öztürk, Z., Öztürk, T., 2005. Deprem Bölgelerinde Prefabrike Betonarme İstinat Duvarlarının Tasarımı, Deprem Sempozyumu, Kocaeli.
- Rankine, W., 1857. On the stability of loose earth, Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Vol. 147.
- Seed, H.B., Whitman, R.V., 1970. Design of earth retaining structures for dynamic loads, Proceedings, ASCE Specialty Conference on Lateral Stresses in the ground and design of earth retaining structures.
- Shukla, S. K. 2002. Geosynthetics and Their Applications, Thomas Telford Publishing, London.
- Steedman, R.S., 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.
- Sungur, N., 2015. Jeogrid Donatılı Zeminlerde Taşıma Gücü Yöntemlerinin Uygulamalı Karşılaştırılması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, , Ankara.
- Töremiş, E.İ., 2003. Geotekstiller ve Plaxis Sonlu elemanlar Programı, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- TS-7944, 1990. Ahşap mobilya-Portmanto, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS-7994, 1990. Zemin dayanma yapıları; sınıflandırma, özellikleri ve projelendirme esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 10319, 1998. Jeotekstil malzemeler-Genişlik doğrultusunda gerilme mukavemeti deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 10223-1, 2000. Çelik teller ve tel mamuller- Çitler için bölüm 1: Çinko ve çinko alaşımı kaplanmış dikenli çelik tel, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN ISO 13934-1, 2002. Tekstil- Kumaşların gerilme özellikleri- Bölüm 1: En büyük kuvvetin ve en büyük kuvvet altında boyca uzamanın tayini- Şerit metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 4758 ISO 3341, 2005. Tekstil camları- İplikler- kopma kuvveti ve kopma uzamasının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- TS EN ISO 3146, 2006. Plâstikler- Yarı kristal polimerlerin erime özelliğinin, (erime sıcaklığı veya erime aralığını) tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Vidal H., 1969. The Principle of Reinforced Earth, Highway Research Record, No. 282.
- Wasti, Y., 2007. Geosentetikler Teori ve Uygulama, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 1-18.
- Wood, J., 1973. Earthquake-Induced Soil Pressures on structures, Report EERL 73-05 California Institute of Technology, Pasadena, California.
- Yardımcı, T., 2013. Investigation Of Geosynthetic Reinforced Tiered Retaining Walls Using Finite Element Analysis, Boğaziçi University, Institute of Science and Technology, Master of Science, İstanbul.
- Yenidoğan, C.H., 2006. İstinat Duvarlarının Deprem Sırasında Davranışı, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Yıldız, M.C., 2015. İstinat Duvarına Etkiyen Dinamik Toprak Basınçları, İ.T.Ü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yıldırım, S., 2009. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Yunatçı vd. 2003. İstinat Yapılarının Sismik Yükler Altında Davranışı ve Tasarım Yöntemleri, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.



EKLER



**EK-1: BBA Paragrid Sertifikası
(MACCAFERRI'DEN ALINMIŞTIR)**

HAPAS

Linear Composites Ltd

Vale Mills
Oakworth
Keighley
West Yorkshire BD22 0EB
Tel: 01535 643363 Fax: 01535 643605
email: mail@linearcomposites.com
website: www.linearcomposites.com



HAPAS Certificate
16/H249
Product Sheet 1

LINEAR COMPOSITES SOIL REINFORCEMENT PRODUCTS

PARAGRID GEOCOMPOSITES

This HAPAS Certificate Product Sheet⁽¹⁾ is issued by the British Board of Agrément (BBA), supported by Highways England (HE) (acting on behalf of the Overseeing Organisations of the Department for Transport; Transport Scotland; the Welsh Assembly Government and the Department for Infrastructure, Northern Ireland), the Association of Directors of Environment, Economy, Planning and Transport (ADEPT), the Local Government Technical Advisers Group and industry bodies. HAPAS Certificates are normally each subject to a review every three years.
(1) Hereinafter referred to as 'Certificate'.

This Certificate relates to Paragrid⁽¹⁾ Geocomposites, comprising an open network of integrally connected straps of high tenacity polyester yarn coated with polyethylene, for use as reinforcement in embankments with slope angles up to 70°.

(1) Paragrid is a registered trade mark.

CERTIFICATION INCLUDES:

- factors relating to compliance with HAPAS requirements
- factors relating to compliance with Regulations where applicable
- independently verified technical specification
- assessment criteria and technical investigations
- design considerations
- installation guidance
- regular surveillance of production
- formal three-yearly review.

KEY FACTORS ASSESSED

Design — interaction between the soil and geocomposites has been considered and coefficients relating to direct sliding and pull-out resistance are proposed (see section 6).

Mechanical properties — the short and long-term tensile strength and elongation properties of the geocomposites and loss of strength owing to installation damage have been assessed and reduction factors established for use in design (see section 7).

Durability — the resistance of the geocomposites to the effects of hydrolysis, chemical and biological degradation, UV exposure and temperature conditions normally encountered in civil engineering practice has been assessed and reduction factors established for use in design (see sections 8 and 11).

The BBA has awarded this Certificate to the company named above for the product described herein. This product has been assessed by the BBA as being fit for its intended use provided it is installed, used and maintained as set out in this Certificate.

On behalf of the British Board of Agrément

Paul Valentine
Technical Excellence Director

Claire Curtis-Thomas
Chief Executive

Date of Second issue: 16 March 2018

Originally certified on 7 June 2016

The BBA is a UKAS accredited certification body — Number 113. The schedule of the current scope of accreditation for product certification is available in pdf format via the UKAS link on the BBA website at www.bbacerts.co.uk

Readers are advised to check the validity and latest issue number of this Agrément Certificate by either referring to the BBA website or contacting the BBA direct.



British Board of Agrément

Bucknalls Lane
Watford
Herts WD25 9BA

©2018

tel: 01923 665300
clientservices@bbacerts.co.uk
www.bbacerts.co.uk

Technical Specification

1 Description

1.1 Paragrid Geocomposites are planar structures, consisting of a biaxial array of composite geosynthetic straps which comprise cores of polyester tendons encased in a polyethylene sheath.

1.2 The Paragrid Geocomposites grades covered by this Certificate are listed in Table 1, and their associated performance characteristics are shown in Tables 2a and 2b. The configuration of the geocomposites is illustrated in Figure 1.

Figure 1 Paragrid Geocomposites

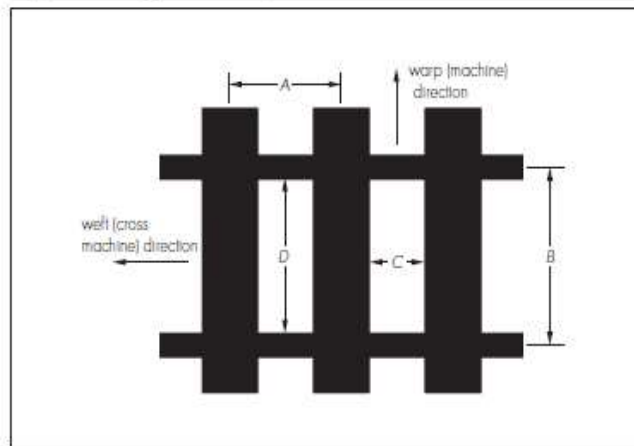


Table 1 General specifications

Grade	Nominal mass ⁽¹⁾ (g·m ⁻²)	Grid size ⁽²⁾ warp/weft A x B (mm)	Aperture size ⁽²⁾ warp/weft C x D (mm)	Nominal roll weight (3.9 m width) (kg)	Standard roll length (m)
30/5	213	75 x 450	51 x 426	93	100
40/5	218	75 x 450	51 x 426	95	100
50/5	244	75 x 450	51 x 426	105	100
65/5	312	75 x 450	51 x 426	108	80
80/5	362	75 x 450	51 x 426	123	80
90/5	397	75 x 450	51 x 426	134	80
100/5	416	75 x 450	51 x 426	140	80
110/5	441	75 x 450	51 x 426	148	50
120/5	452	75 x 450	42 x 426	99	50
135/5	510	75 x 450	42 x 426	110	50
150/5	567	75 x 450	42 x 426	121	50
160/5	604	75 x 450	42 x 426	128	50
175/5	656	75 x 450	42 x 426	138	50
200/5	705	75 x 450	42 x 426	147	50
30/15	328	75 x 225	51 x 201	73	50
50/15	367	75 x 225	51 x 201	79	50
50/50	568	75 x 75	51 x 51	117	50
100/100	811	75 x 75	51 x 51	164	50
80/15	435	75 x 225	51 x 201	93	50
100/15	488	75 x 225	51 x 201	103	50
120/15	547	75 x 225	42 x 201	108	50
150/15	671	75 x 225	42 x 201	130	50
160/15	700	75 x 225	42 x 201	138	50
200/15	781	75 x 225	42 x 201	156	50

(1) Mass/unit area measured in accordance with BS EN ISO 9864 : 2005.

(2) Mean measured dimensions (see Figure 1 for reference).

Table 1 C

Grade

30/5
40/5
50/5
65/5
80/5
90/5
100/5
110/5
120/5
135/5
150/5
160/5
175/5
200/5
30/15
50/15
50/50
100/100
80/15
100/15
120/15
150/15
160/15
200/15

(1) Mass/unit

(2) Mean mas

Table 2a Performance characteristics – machine direction (MD)

Grade	Performance values ⁽¹⁾			Values used for design	
	Short term tensile strength ⁽²⁾ (kN per m width)		Mean strain at maximum tensile strength ⁽²⁾ (%)	T_{char} ⁽³⁾ (kN per metre width)	Nominal strain at T_{char} load (%)
	Mean value (*)	Tolerance (*)			
30/5	37	-7	11 ± 1	30	9
40/5	46	-6	11 ± 1	40	9
50/5	57	-7	11 ± 1	50	9
65/5	70	-5	11 ± 1	65	9
80/5	86	-6	11 ± 1	80	9
90/5	96	-6	11 ± 1	90	9
100/5	106	-6	11 ± 1	100	9
110/5	116	-6	11 ± 1	110	9
120/5	125	-5	11 ± 1	120	9
135/5	141	-6	11 ± 1	135	9
150/5	160	-10	11 ± 1	150	9
160/5	170	-10	11 ± 1	160	9
175/5	185	-10	11 ± 1	175	9
200/5	212	-12	11 ± 1	200	9
30/15	37	-7	11 ± 1	30	9
50/15	57	-7	11 ± 1	50	9
50/50	57	-7	11 ± 1	50	9
100/100	106	-6	11 ± 1	100	9
80/15	86	-6	11 ± 1	80	9
100/15	106	-6	11 ± 1	100	9
120/15	130	-10	11 ± 1	120	9
150/15	160	-10	11 ± 1	150	9
160/15	170	-10	11 ± 1	160	9
200/15	212	-12	11 ± 1	200	9

(1) Performance values as declared on the Certificate holder's CE Marking Declarations of Performance.

(2) Values derived from short-term tests in accordance with BS EN ISO 10319 : 2015.

(3) The characteristic short-term tensile strength (T_{char}) values are the mean short-term tensile strength minus 1 x the tolerance value, in accordance with BS EN 13251 : 2016.

Table 2b Performance characteristics – cross machine direction (CMD)

Grade	Performance values ⁽¹⁾			Values used for design	
	Short term tensile strength ⁽²⁾ (kN per m width)		Mean strain at maximum tensile strength ⁽²⁾ (%)	T_{char} ⁽³⁾ (kN per metre width)	Nominal strain at T_{char} load (%)
	Mean value (*)	Tolerance (*)			
30/5	6	-1	11 ± 1	5	9
40/5	6	-1	11 ± 1	5	9
50/5	6	-1	11 ± 1	5	9
65/5	6	-1	11 ± 1	5	9
80/5	6	-1	11 ± 1	5	9
90/5	6	-1	11 ± 1	5	9
100/5	6	-1	11 ± 1	5	9
110/5	6	-1	11 ± 1	5	9
120/5	6	-1	11 ± 1	5	9
135/5	6	-1	11 ± 1	5	9
150/5	6	-1	11 ± 1	5	9
160/5	6	-1	11 ± 1	5	9
175/5	6	-1	11 ± 1	5	9
200/5	6	-1	11 ± 1	5	9
30/15	17	-2	11 ± 1	15	9
50/15	17	-2	11 ± 1	15	9
50/50	57	-7	11 ± 1	50	9
100/100	106	-6	11 ± 1	100	9
80/15	16	-1	11 ± 1	15	9
100/15	16	-1	11 ± 1	15	9
120/15	17	-2	11 ± 1	15	9
150/15	17	-2	11 ± 1	15	9
160/15	17	-2	11 ± 1	15	9
200/15	17	-2	11 ± 1	15	9

(1) Performance values as declared on the Certificate holder's CE Marking Declarations of Performance.

(2) Values derived from short-term tests in accordance with BS EN ISO 10319 : 2015.

(3) The characteristic short-term tensile strength (T_{char}) values are the mean short-term tensile strength minus 1 x the tolerance value, in accordance with

6 Design

Design methodology

6.1 Reinforced soil embankments constructed using Paragrid Geocomposites should be designed in accordance with BS 8006-1 : 2010 and the *Manual of Contract Documents for Highway Works, Volume 1 Specification for Highway Works*.

6.2 The typical service life given in Table 7 of BS 8006-1 : 2010 for reinforced soil embankments is 60 years.

Geocomposite reinforcement

6.3 In accordance with the methodology set out in BS 8006-1 : 2010, Annex 3, the design strength of the reinforcement (T_D) is calculated as:

$$T_D = T_{CR} / f_m$$

where:

T_{CR} is the long-term tensile creep rupture strength of the reinforcement at the specified design life and design temperature

f_m is the material safety factor to allow for the strength reducing effects of installation damage, weathering (including exposure to sunlight), chemical and other environmental effects, and to allow for the extrapolation of data required to establish the above reduction factors.

6.4 The long-term tensile creep rupture strength (T_{CR}) for each grade of reinforcement is calculated using the formula:

$$T_{CR} = T_{char} / RF_{CR}$$

where:

T_{char} is the characteristic short-term strength of the reinforcement taken from Table 2

RF_{CR} is the reduction factor for creep (see section 7).

6.5 The material safety factor (f_m) is calculated as:

$$f_m = RF_{ID} \times RF_W \times RF_{CH} \times f_s$$

where:

RF_{ID} is the reduction factor for installation damage

RF_W is the reduction factor for weathering, including exposure to ultraviolet light

RF_{CH} is the reduction factor for chemical/environmental effects

f_s is the factor of safety for the extrapolation of data.

6.6 Recommended values for RF_{CR} , RF_{ID} , RF_W , RF_{CH} and f_s are given in sections 7, 8 and 9. Conditions of use outside the scope for which the reduction factors are defined are not covered by this Certificate and advice should be sought from the Certificate holder.

7 Mechanical properties

Tensile strength – short-term

7.1 Characteristic short-term tensile strength (T_{char}) and strain values for the product range are given in Table 4. A typical short-term stress/strain curve is shown in Figure 3. Short-term strain at varying percentages of characteristic strength are given in Table 4.

Table 4 Typical short-term strain against load (as percentage of the T_{char})

Strain	% of T_{char}
At 2%	21
At 3%	32
At 4%	42
At 5%	53
At 6%	66

Figure 3 Typical short-term stress/strain curve for Paragrid Geocomposites

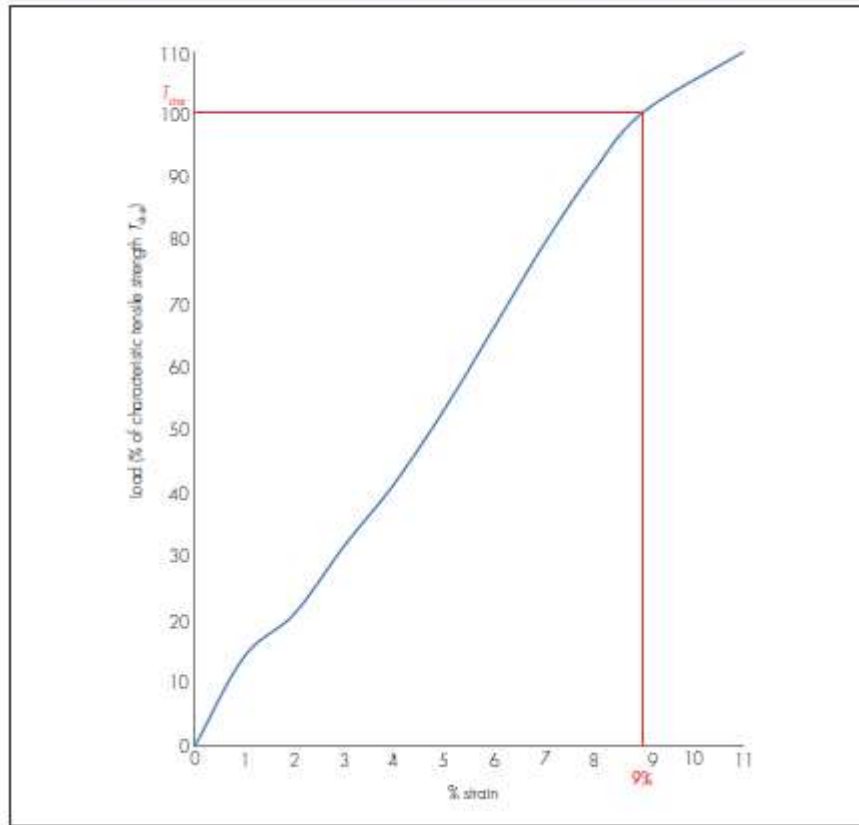
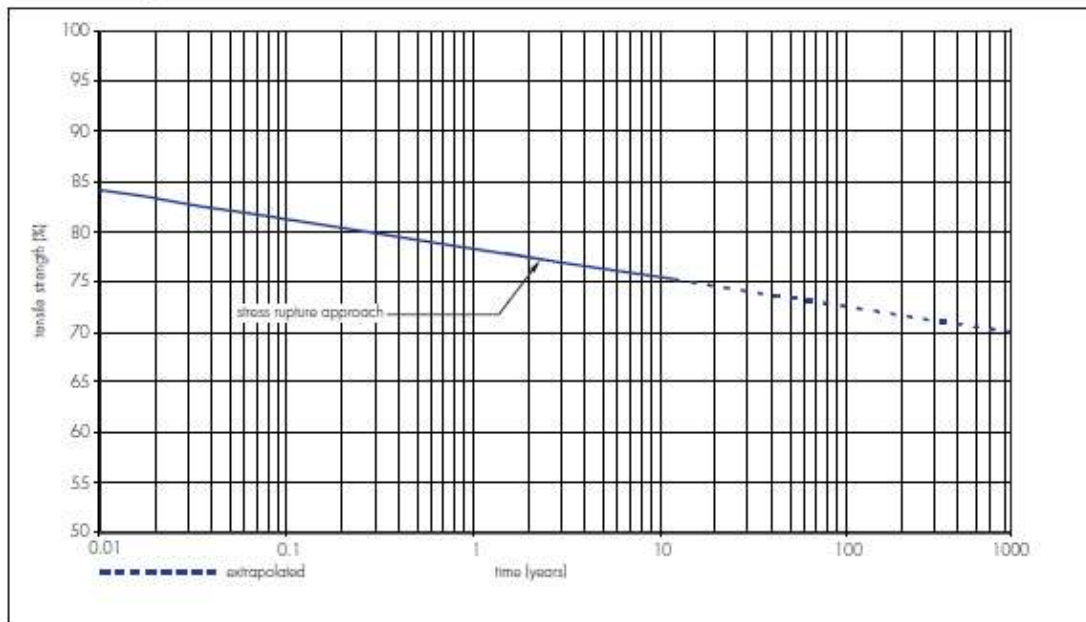


Figure 4 Regression line for life expectancy at constant stress defined by percentage of characteristic short-term strength at 20°C



7.3 Long-term tensile strength (T_{cr}) for Paragrid Geocomposites can be derived for a 60- and 120-year design life and design temperatures of 0°C, 20°C, 25°C, 30°C and 40°C, using the formula given in section 6.4 and the long-term creep reduction factors (RF_{cr}) shown in Table 5.

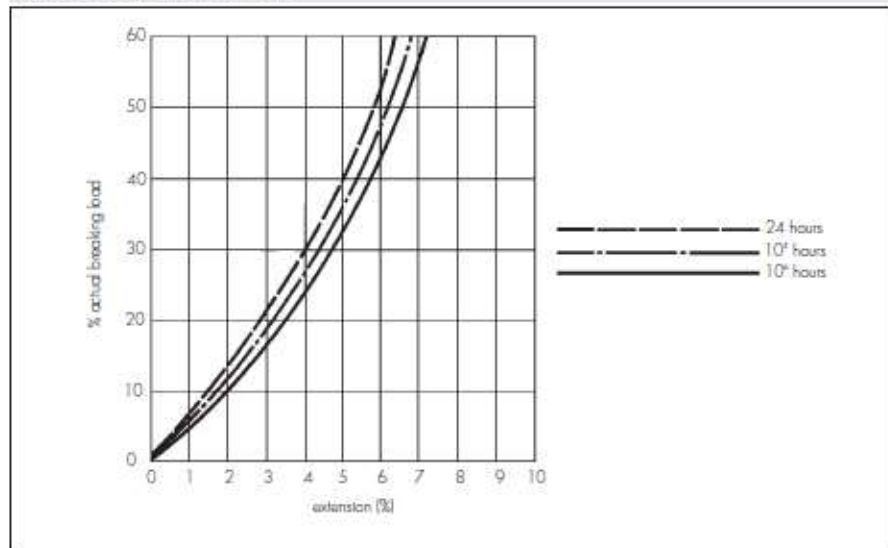
Table 5 Long-term creep reduction factors (RF_{cr}) for Paragrid Geocomposites at various temperatures and design life

Design temperature [°C]	Creep reduction factor (RF_{cr})	
	60-year design life	120-year design life
0	1.28	1.30
20	1.37	1.38
25	1.39	1.40
30	1.41	1.43
40	1.46	1.48

Creep strain

7.4 Creep strain is not normally considered an issue for the design of embankments and slopes. However, for situations where creep strain is applicable, the isochronous curves for Paragrid Geocomposites are shown in Figure 5.

Figure 5 Load extension curve



Installation damage (RF_D)

7.5 To allow for loss of strength owing to mechanical damage that might be sustained during installation, the appropriate value for RF_D may be selected from Table 6. These reduction factors have been established from full-scale installation damage tests using a range of materials, the gradings of which can be seen in Figure 6. For soils not covered by Table 6, appropriate values of RF_D should be determined from site specific trials.

Table 6 Reduction factor – installation damage (RF_D)

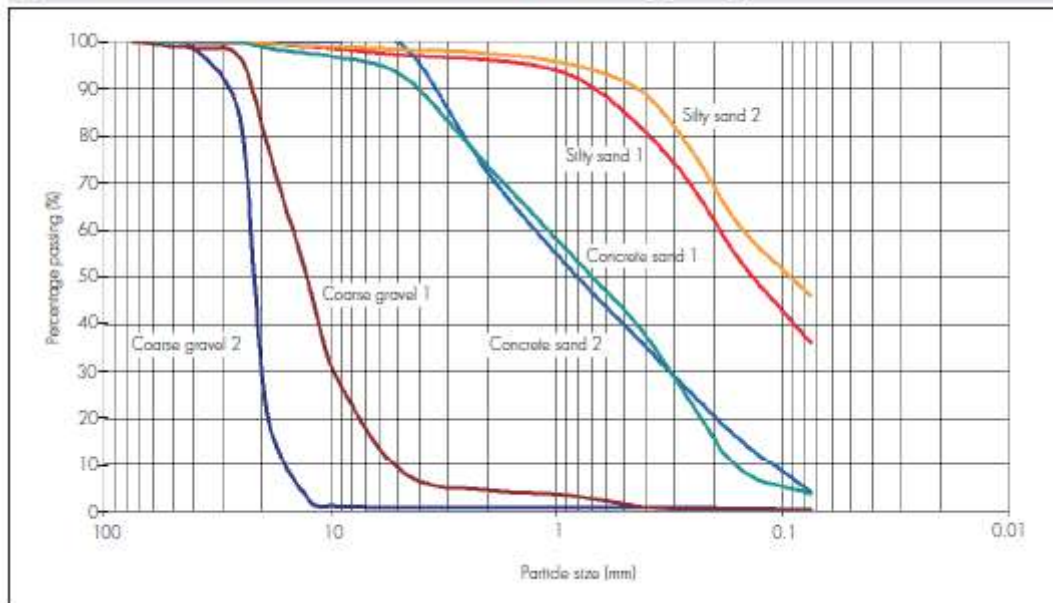
Soil type	D_{30} particle size ⁽¹⁾ (mm)	D_{60} particle size ⁽¹⁾ (mm)	Paragrid grade	Reduction factor (RF_D)
Silty sand 1 ⁽²⁾	0.15	0.70	30/5	1.04
			80/5	1.01
			150/5	1.01
Silty sand 2 ⁽²⁾	0.09	0.45	30/5	1.05
			50/5	1.04
			80/5	1.03
Concrete sand 1 ⁽²⁾	0.70	4.0	100/5	1.02
			30/5	1.08
			50/5	1.02
Concrete sand 2 ⁽²⁾	0.09	0.45	150/5	1.01
			30/5	1.05
			50/5	1.04
Coarse gravel 1 ⁽²⁾	13	23	80/5	1.03
			100/5	1.02
			150/5	1.02
Coarse gravel 2 ⁽²⁾	22	28	30/5	1.16
			50/5	1.15
			80/5	1.12
			100/5	1.10

(1) Detailed particle size distributions are shown in Figure 4.

(2) Depth of soil layer before compacting: 200 mm; weight of vibrating roll: 1600 kg·m⁻¹; number of passes: 8.

(3) Depth of soil layer before compacting: 200 mm; weight of vibrating roll: 2030 kg·m⁻¹; number of passes: 10.

Figure 6 Particle size distributions of soils used in installation damage testing



8 Effects of environmental conditions

Weathering (including exposure to ultraviolet light)

8.1 A reduction factor (RF_w) of 1.00 may be used for design provided the geocomposites are protected from exposure to sunlight in accordance with the recommendations of this Certificate and provided the periods of exposure are limited to a maximum of one month. Further investigation is required for exposure periods exceeding one month.

Chemical/environmental effects

8.2 The polyethylene sheath used on Paragrid Geocomposites acts as a chemical barrier which, if not broken or damaged, will reduce the risk of chemical attack on the polyester fibres. It should be noted that the most aggressive fills are usually of fine particle sizes which cause little or no damage to the polyethylene sheath. Compaction can reduce the high pH level of a fill. Tests have shown that, 48 hours after the compaction stage, the pH level of a soil-lime mix reduces from 12.5 to 11. Where appropriate, site and soil specific testing should be carried out to verify the reduction in the pH of the soil.

8.3 The geocomposites are highly resistant to microbial attack.

8.4 To account for environmental conditions, the appropriate reduction factors (RF_{Ch}) should be selected from Table 7.

Table 7 Reduction factor RF_{Ch}

Design temp °C	Reduction Factors (RF_{Ch})					
	60 year service life			120 year service life		
	4 < pH < 9	9.1 < pH < 9.5	9.6 < pH < 11	4 < pH < 9	9.1 < pH < 9.5	9.6 < pH < 11
20	1.02	1.03	1.07	1.03	1.05	1.12
25	1.03	1.05	1.09	1.07	1.09	1.15
30	1.06	1.10	1.14	1.15	1.17	1.25

9 Factor of safety for the extrapolation of data (f_s)

9.1 For Paragrid Geocomposites, the factor of safety for the extrapolation of data (f_s) should be taken as given in Table 8.

Table 8 Factors of safety for extrapolation of data

Design life (years)	f_s
60	1.02
120	1.05

9.2 The values in Table 8 have been calculated in accordance with PD ISO/TR 20432 : 2007, using the R_1 and R_2 values given in Table 9

Table 9 R_1 and R_2 values for determination of f_s

Factor	Taking account of:	Design life (years)	
		60	120
R_1	Extrapolation of creep rupture data	1.00	1.00
R_2	Extrapolation of chemical data	1.02	1.05



**EK-2: İncelenen 9 m Yüksekliğindeki
Duvar Statik Hesap Çıktıları**

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Officine Maccaferri S.p.A.- Via Kennedy 10- 40069 Zola Predosa (Bologna)

Tel. 051.6436000 - Fax 051.236507

Project Title.....: Halil Karakaya Tez çalışması

Cross Section.....:

Site.....:

Folder.....:

File.....: Halil tez H9 statik

Date.....: 08/14/2019

Checks according to: BS 8006-1:2010

Wall - Cat. 3 (high)

TABLE OF CONTENTS

SOIL PROPERTIES	2
STRATA PROFILES	2
REINFORCED BLOCKS	3
Block : ÖY	3
SURCHARGE LOADS	3
PROPERTIES OF THE USED REINFORCEMENTS	3
CHECKS RESULTS	5
Global Stability Check :	5

SOIL PROPERTIES

Soil: ATM

Description: Alt Temel Malzemesi

Cohesion Class.....:	Soil material factor c'	
Cohesion.....	[kN/m ²]	10.00
Friction Angle Class.....:	Soil material factor $\tan(\phi)$	
Friction Angle.....	[°]	35.00
Ru value.....:		0.00
Weight Class.....:	Foundation soil	
Bulk unit weight - above GWT.....	[kN/m ³]	25.00
Bulk unit weight - below GWT.....	[kN/m ³]	25.00
Elastic Modulus.....	[kN/m ²]	0.00
Poisson's ratio.....:		0.30

Soil: ÖE

Description: Önyüz Elemanı

Cohesion Class.....:	Soil material factor c'	
Cohesion.....	[kN/m ²]	12.50
Friction Angle Class.....:	Soil material factor $\tan(\phi)$	
Friction Angle.....	[°]	40.00
Ru value.....:		0.00
Weight Class.....:	Mass of the reinforced soil body	
Bulk unit weight - above GWT.....	[kN/m ³]	17.50
Bulk unit weight - below GWT.....	[kN/m ³]	17.50
Elastic Modulus.....	[kN/m ²]	0.00
Poisson's ratio.....:		0.30

Soil: YD

Description: Yapısal Dolgu

Cohesion Class.....:	Soil material factor c'	
Cohesion.....:	[kN/m ²]	5.00
Friction Angle Class.....:	Soil material factor $\tan(\phi)$	
Friction Angle.....:	[°]	35.00
Ru value.....:		0.00
Weight Class.....:	Mass of the reinforced soil body	
Bulk unit weight - above GWT.....:	[kN/m ³]	19.00
Bulk unit weight - below GWT.....:	[kN/m ³]	19.00
Elastic Modulus.....:	[kN/m ²]	0.00
Poisson's ratio.....:		0.30

STRATA PROFILES**Stratum: ATM**

Description: Alt Temel Malzemesi

Soil : ATM

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	0.00	12.02	27.39	17.16	31.70	60.36	
31.90							
67.36	31.90	71.00	40.90	134.79	40.90		

Stratum: YD

Description: Yapısal Dolgu

Soil : YD

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
60.36	31.90	61.96	40.90	71.00	40.90		

REINFORCED BLOCKS

Block: ÖY

Block dimensions.....[m].....: Base width..... = 6.00 Height... = 9.00

Block Origin.....[m].....: Abscissa..... = 60.36 Ordinate = 31.90

Face inclination.....[°].....: 10.00

Gabion filling soil.....: ÖE

Structural embankment type.....: Gravel

Structural embankment.....: YD

Backfill soil.....: YD

Covering soil.....: YD

Foundation soil.....: ATM

Brinch Hansen, Vesic or Meyerhof bearing capacity parameters

Embedment depth.....[m] : 0.50

Natural soil slope.....[°] : 0.00

Reinforcements pattern:

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P -1.0x0.8

Length.....[m] = 3.00

Gabion.....[m]: Height..... = 1.00 Width..... = 0.80

Linear Composites - ParaGrid - 200

Length.....[m] = 6.00

Vertical spacing.....[m] = 2.00

Offset.....[m] = 0.00

SURCHARGE LOADS

Distributed Loads: TRAFİK Yükü Description: Sürşarj etkisi

Class: Traffic load behind reinforced soil block

Magnitude.....[kN/m²]..= 15.00 Inclination angle.....[°]..= 0.00

Abscissa.....[m]..: from = 62.75 To = 68.75

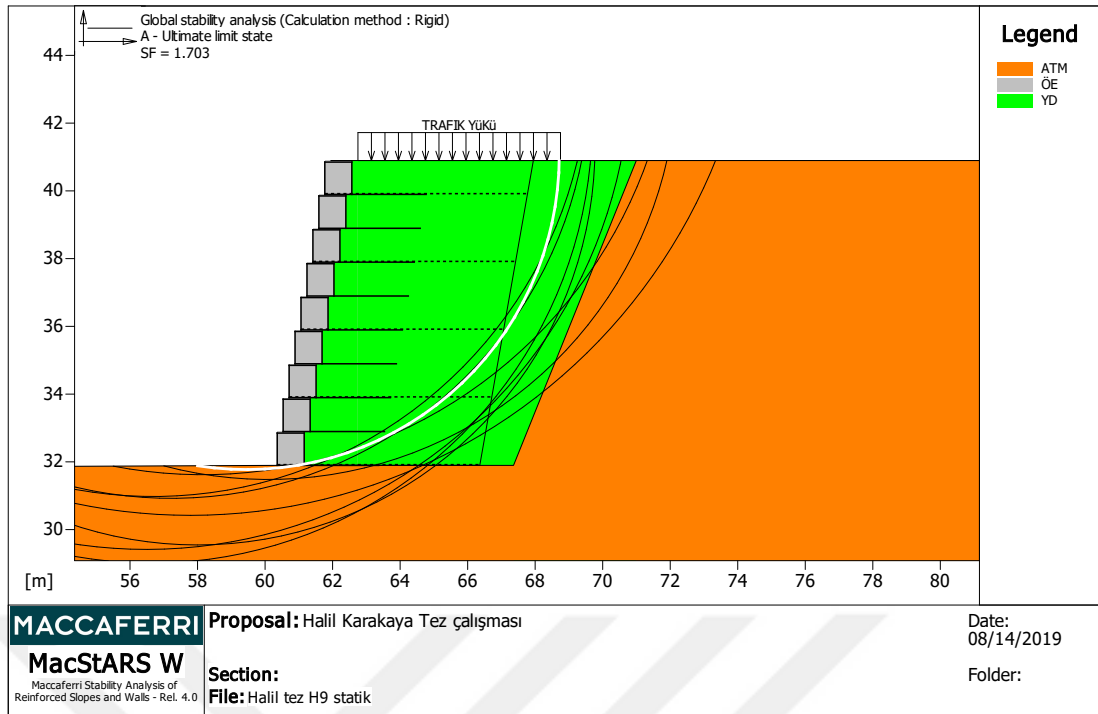
PROPERTIES OF THE USED REINFORCEMENTS

Linear Composites - ParaGrid - 200

Tensile strength UTS	[kN/m].....:	200.00
Plastic extension ratio	:	0.00
Elastic extension coefficient.....	[m ³ /kN].....:	1.10e-04
Reinforcement Stiffness.....	[kN/m].....:	2222.00
Minimum anchorage length.....	[m].....:	0.15
Breakage Safety Factor (gravel).....	:	1.52
Pull-out Safety Factor	:	1.00
Breakage Safety Factor (sand).....	:	1.51
Pull-out Safety Factor.....	:	1.00
Breakage Safety Factor (silty sand).....	:	1.51
Pull-out Safety Factor	:	1.00
Breakage Safety Factor (sandy clay).....	:	1.51
Pull-out Safety Factor.....	:	1.00
Interaction factor reinforcement/reinforcement.....	:	0.25
Pullout coefficient reinforcement-gravel.....	:	0.90
Pullout coefficient reinforcement-sand.....	:	0.90
Pullout coefficient reinforcement-silt.....	:	0.70
Pullout coefficient reinforcement-clay.....	:	0.40

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P -1.0x0.8

Tensile strength UTS	[kN/m].....	50.00
Plastic extension ratio		2.00
Elastic extension coefficient.....	[m ³ /kN].....	1.10e-04
Reinforcement Stiffness.....	[kN/m].....	500.00
Minimum anchorage length.....	[m].....	0.15
Breakage Safety Factor (gravel).....		1.26
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Breakage Safety Factor (sand).....		1.09
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Breakage Safety Factor (silty sand).....		1.09
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Breakage Safety Factor (sandy clay).....		1.09
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Interaction factor reinforcement/reinforcement.....		0.30
Pullout coefficient reinforcement-gravel.....		0.90
Pullout coefficient reinforcement-sand.....		0.65
Pullout coefficient reinforcement-silt.....		0.50
Pullout coefficient reinforcement-clay.....		0.30



Global Stability Check:

Multiplier combination: A - Ultimate limit state

Reinforcements active Forces according to Rigid Method

Stability analysis with circular surfaces according to Bishop's Method

Evaluated Safety Factor : 1.939

Surfaces searching range

Starting range, abscises [m]		Arrival range, abscises [m]	
First point	Second point	First point	Second point
48.00	58.00	67.00	97.00
Number of starting points on the starting segment..... :		1	
Total number of trial surfaces..... :		101	
Minimum base length of slices..... [m]..... :		0.50	
Superior limit search angle..... [°]..... :		0.00	
Inferior limit search angle..... [°]..... :		0.00	

Block: ÖY

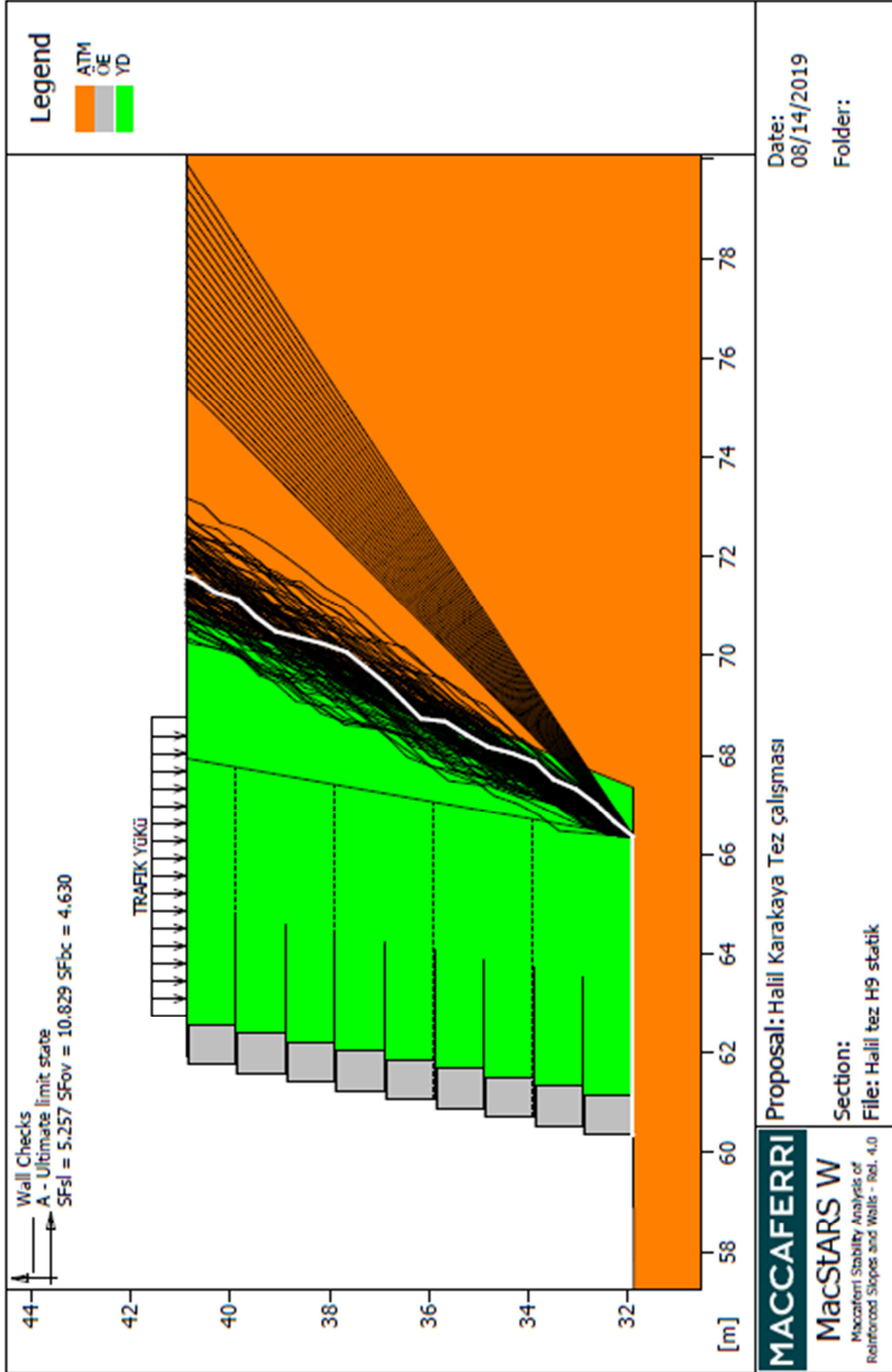
Linear Composites - ParaGrid - 200

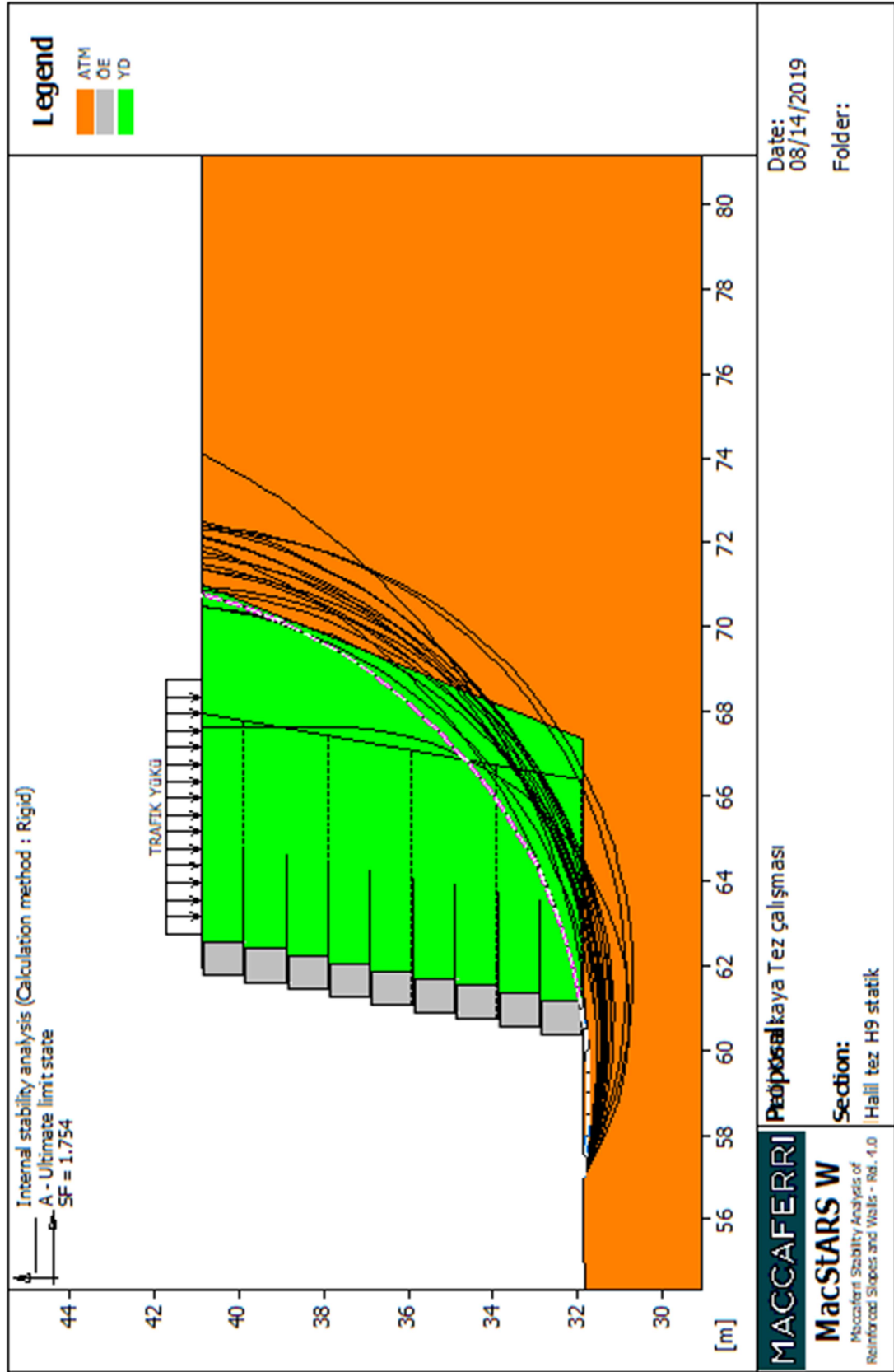
Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
	breakage	pullout	design	1/Fmax	
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.000	200.0	665.1	119.6	1.67	5.56

Multiplier	Class
1.50	Traffic load behind reinforced soil block
1.00	Soil material factor $\tan(\phi)$
1.60	Soil material factor c'
1.00	Foundation soil
1.50	Mass of the reinforced soil body
1.10	Category of structure
1.43	Pull-out factor (= $f_p \times f_n$)
1.00	Danger level of the work

Officine Maccaferri assumes no responsibilities for the drawings and calculations submitted to the customer based on the data provided by him, nor it is responsible for the project and site visits that were subsequently realized without specific assignment.

This technical proposal is carried out on the basis of Officine Maccaferri products with the only purpose of drawing up the offer. Therefore, Officine Maccaferri is not liable for the possible use of this proposal with products other than those of Officine Maccaferri, or at least not controlled by Officine Maccaferri itself.







**EK-3: İncelenen 9 m Yüksekliğindeki
Duvar Sismik Hesap Çıktıları**

MacStARS W – Rel. 4.0

Maccaferri Stability Analysis of Reinforced Slopes and Walls

Officine Maccaferri S.p.A.- Via Kennedy 10- 40069 Zola Predosa (Bologna)

Tel. 051.6436000 - Fax 051.236507

Project Title.....: Halil Karakaya Tez çalışması

Cross Section.....:

Site.....:

Folder.....:

File.....: Halil tez H9 sismik

Date.....: 08/14/2019

Checks according to: BS 8006-1:2010

Wall - Cat. 3 (high)

TABLE OF CONTENTS

SOIL PROPERTIES	2
STRATA PROFILES	2
REINFORCED BLOCKS	3
Block : ÖY	3
SURCHARGE LOADS	3
PROPERTIES OF THE USED REINFORCEMENTS	3
CHECKS RESULTS	5
Global Stability Check :	5

SOIL PROPERTIES**Soil: ATM**

Description: Alt Temel Malzemesi

Cohesion Class.....:	Soil material factor c'	
Cohesion.....	[kN/m ²]	10.00
Friction Angle Class.....:	Soil material factor $\tan(\phi)$	
Friction Angle.....	[°]	35.00
Ru value.....:		0.00
Weight Class.....:	Foundation soil	
Bulk unit weight - above GWT.....	[kN/m ³]	25.00
Bulk unit weight - below GWT.....	[kN/m ³]	25.00
Elastic Modulus.....	[kN/m ²]	0.00
Poisson's ratio.....:		0.30

Soil: ÖE

Description: Önyüz Elemanı

Cohesion Class.....:	Soil material factor c'	
Cohesion.....	[kN/m ²]	12.50
Friction Angle Class.....:	Soil material factor $\tan(\phi)$	
Friction Angle.....	[°]	40.00
Ru value.....:		0.00
Weight Class.....:	Mass of the reinforced soil body	
Bulk unit weight - above GWT.....	[kN/m ³]	17.50
Bulk unit weight - below GWT.....	[kN/m ³]	17.50
Elastic Modulus.....	[kN/m ²]	0.00
Poisson's ratio.....:		0.30

Soil: YD

Description: Yapısal Dolgu

Cohesion Class.....: Soil material factor c' Cohesion.....[kN/m²].....: 5.00Friction Angle Class.....: Soil material factor $\tan(\phi)$

Friction Angle.....[°].....: 35.00

Ru value.....: 0.00

Weight Class.....: Mass of the reinforced soil body

Bulk unit weight - above GWT.....[kN/m³].....: 19.00Bulk unit weight - below GWT.....[kN/m³].....: 19.00Elastic Modulus.....[kN/m²].....: 0.00

Poisson's ratio.....: 0.30

STRATA PROFILES**Stratum: ATM**

Description: Alt Temel Malzemesi

Soil : ATM

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0.00	0.00	12.02	27.39	17.16	31.70	60.36	31.90
67.36	31.90	71.00	40.90	134.79	40.90		

Stratum: YD

Description: Yapısal Dolgu

Soil : YD

X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
60.36	31.90	61.96	40.90	71.00	40.90		

REINFORCED BLOCKS

Block: ÖY

Block dimensions.....[m].....: Base width..... = 6.00 Height... = 9.00

Block Origin.....[m].....: Abscissa..... = 60.36 Ordinate = 31.90

Face inclination.....[°].....: 10.00

Gabion filling soil.....: ÖE

Structural embankment type.....: Gravel

Structural embankment.....: YD

Backfill soil.....: YD

Covering soil.....: YD

Foundation soil.....: ATM

Brinch Hansen, Vesic or Meyerhof bearing capacity parameters

Embedment depth.....[m] : 0.50

Natural soil slope.....[°] : 0.00

Reinforcements pattern:

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P -1.0x0.8

Length.....[m]..... = 3.00

Gabion.....[m]: Height..... = 1.00 Width..... = 0.80

Linear Composites - ParaGrid - 200

Length.....[m]..... = 6.00

Vertical spacing.....[m]..... = 2.00

Offset.....[m]..... = 0.00

SURCHARGE LOADS

Distributed Loads: TRAFİK YüKü Description: Sürşarj Etkisi

Class: Traffic load on reinforced soil block

Magnitude.....[kN/m²]..= 15.00 Inclination angle.....[°]..= 0.00

Abscissa.....[m]..: from = 62.75 To = 68.75

Earthquake Load:

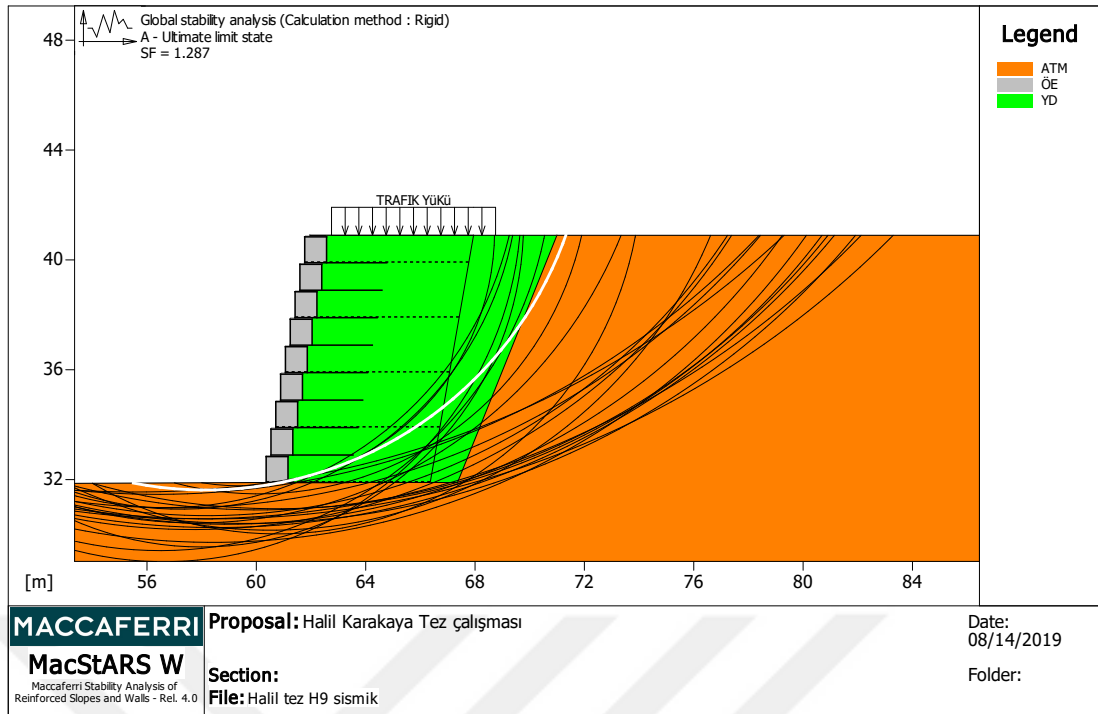
Acceleration...[m/s²]: Horizontal.....= 1.96 Vertical.....= 0.98

PROPERTIES OF THE USED REINFORCEMENTS

Linear Composites - ParaGrid - 200

Tensile strength UTS	[kN/m].....	200.00
Plastic extension ratio		0.00
Elastic extension coefficient.....	[m ³ /kN].....	1.10e-04
Reinforcement Stiffness.....	[kN/m].....	2222.00
Minimum anchorage length.....	[m].....	0.15
Breakage Safety Factor (gravel).....		1.52
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Breakage Safety Factor (sand).....		1.51
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Breakage Safety Factor (silty sand).....		1.51
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Breakage Safety Factor (sandy clay).....		1.51
Pull-out Safety Factor.....		1.00
Interaction factor reinforcement/reinforcement.....		0.25
Pullout coefficient reinforcement-gravel.....		0.90

Pullout coefficient reinforcement-sand.....	:	0.90
Pullout coefficient reinforcement-silt.....	:	0.70
Pullout coefficient reinforcement-clay.....	:	0.40
Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P -1.0x0.8		
Tensile strength UTS [kN/m].....	:	50.00
Plastic extension ratio.....	:	2.00
Elastic extension coefficient..... [m ³ /kN].....	:	1.10e-04
Reinforcement Stiffness..... [kN/m].....	:	500.00
Minimum anchorage length..... [m].....	:	0.15
Breakage Safety Factor (gravel).....	:	1.26
Pull-out Safety Factor.....	:	1.00
Breakage Safety Factor (sand).....	:	1.09
Pull-out Safety Factor.....	:	1.00
Breakage Safety Factor (silty sand).....	:	1.09
Pull-out Safety Factor.....	:	1.00
Breakage Safety Factor (sandy clay).....	:	1.09
Pull-out Safety Factor.....	:	1.00
Interaction factor reinforcement/reinforcement.....	:	0.30
Pullout coefficient reinforcement-gravel.....	:	0.90
Pullout coefficient reinforcement-sand.....	:	0.65
Pullout coefficient reinforcement-silt.....	:	0.50
Pullout coefficient reinforcement-clay.....	:	0.30



Global Stability Check:

Multiplier combination: A - Ultimate limit state

Reinforcements active Forces according to Rigid Method

Stability analysis with circular surfaces according to Bishop's Method

Evaluated Safety Factor.....: 1.287

Surfaces searching range

Starting range, abscises [m]		Arrival range, abscises [m]	
First point	Second point	First point	Second
point			
48.00	58.00	67.00	97.00
Number of starting points on the starting segment.....:		21	
Total number of trial surfaces.....:		210	
Minimum base length of slices..... [m].....:		0.50	
Superior limit search angle..... [°].....:		0.00	
Inferior limit search angle..... [°].....:		0.00	

Block: ÖY

Maccaferri - Terramesh System - 8/2.7P -1.0x0.8

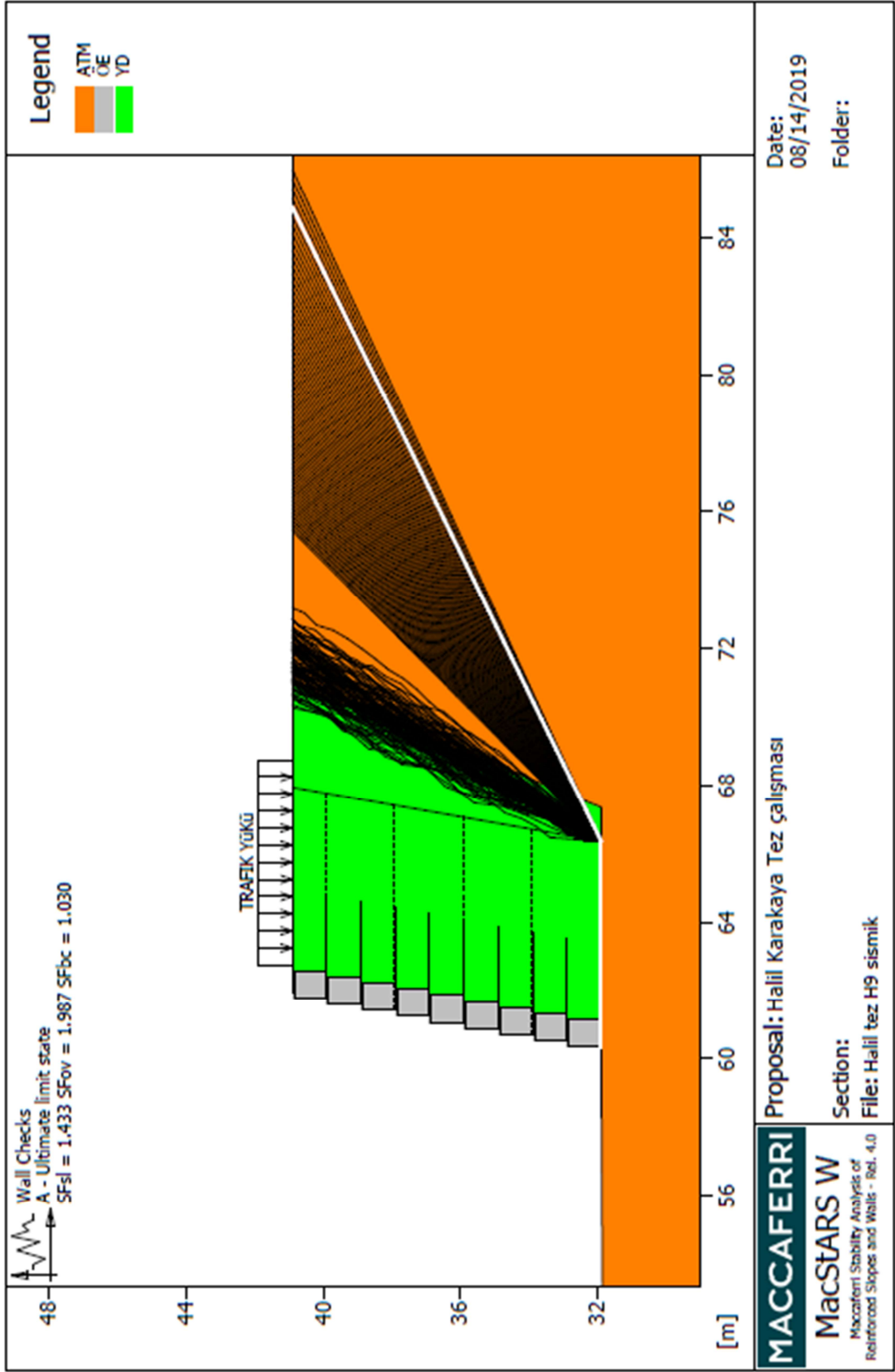
Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
	breakage	pullout	design	1/Fmax	
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.000	50.0	476.8	36.1	1.39	13.21

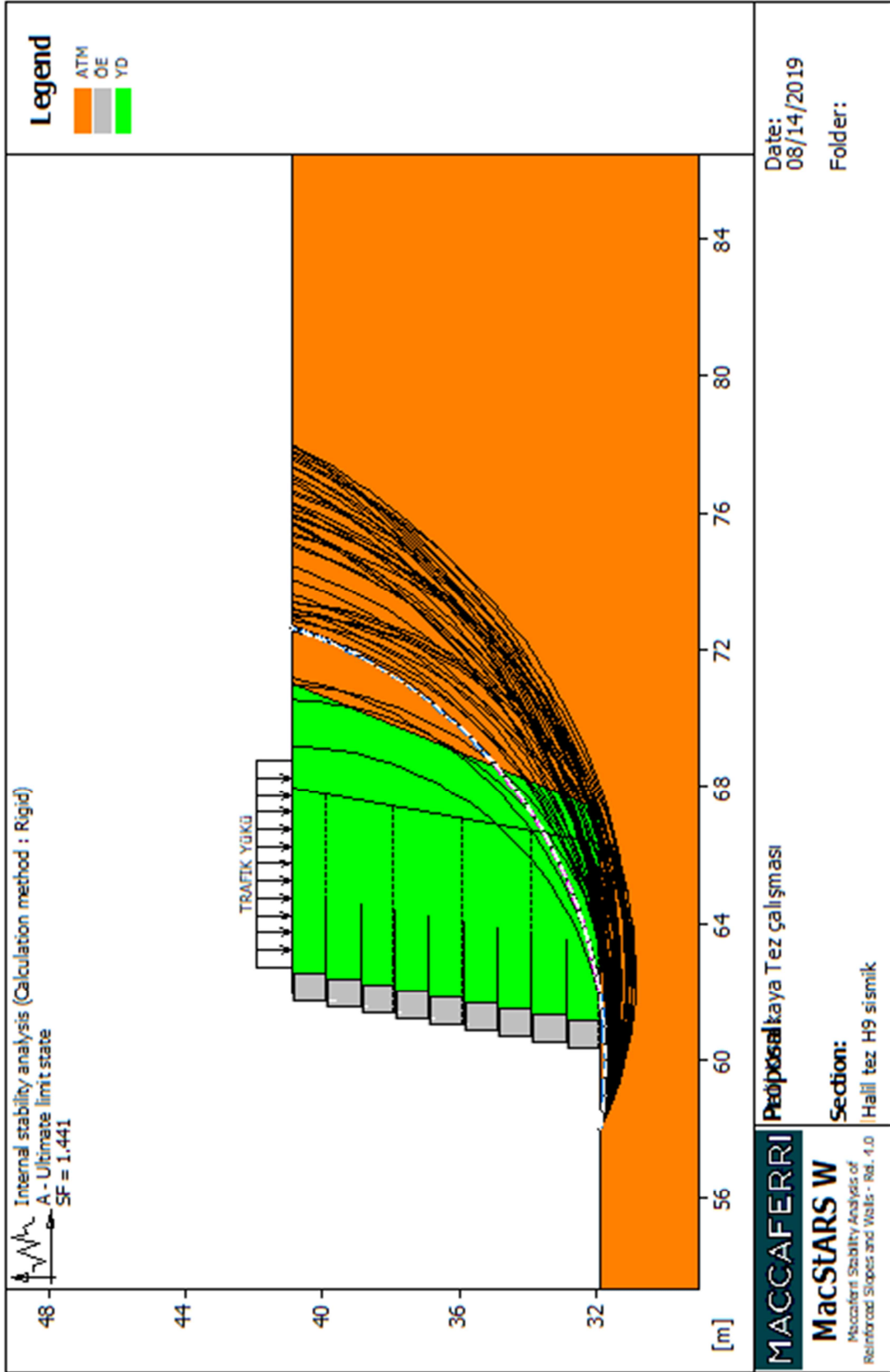
Block: ÖY

Linear Composites - ParaGrid - 200

Y	Tb	Tp	Td	Tb/Td	Tp/Td
	breakage	pullout	design	1/Fmax	
[m]	[kN/m]	[kN/m]	[kN/m]		
0.000	200.0	11.0	7.7	25.97	1.43
2.000 200.0	257.2	119.6	1.67	2.15	

Multiplier	Class
1.50	Traffic load on reinforced soil block
1.00	Soil material factor tan(phi)
1.60	Soil material factor c'
1.00	Foundation soil
1.50	Mass of the reinforced soil body
1.10	Category of structure
1.43	Pull-out factor (= fp x fn)
1.00	Danger level of the work





ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Halil KARAKAYA

Doğum Yeri ve Yılı : Eskişehir, 1990

Medeni Hali : Bekar

Yabancı Dili : İngilizce

E-posta : ha.karakaya@hotmail.com

Tel : +9 (0506) 887 56 44



Eğitim Durumu

Lise : 2004-2007 Darıca Neşet Yalçın Lisesi

Lisans : 2008-2012 Süleyman Demirel Üniversitesi

Mesleki Deneyim

Teknofor İnşaat Taah. Ltd. Şti.
(Şubat 2014-Aralık 2015)

Kalıcı ve geçici anrajlı iksa sistemler; Püskürtme beton, Forekazık, Kesişen Kazık, Jet grout ve Zemin Çivisi uygulamaları Şantiye Yöneticiliği

Zemtek Zemin Teknolojileri İnş. San. Tic. Ltd. Şti.
(Ocak 2016-Ağustos 2016)

Forekazık ve Ankrajlı İksa Sistemleri Şantiye Yöneticiliği

Maccaferri Çevreci Mühendislik Çözümleri San. Ve Tic. A.Ş.
(Eylül 2016-Eylül 2019)

Gabion, Toprakarme ve Jeosentetik Donatılı İstinat Duvarları, Şev koruma ve iyileştirme işleri Şantiye Yöneticiliği