GAZİ ÜNİVERSİTESİ
Gazi
1926

GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT YAPILARININ TASARIMINDA ZEMİN PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ÖRNEK BİR VAKA ÜZERİNDE İNCELENMESİ

Burak ÇELEBİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

EYLÜL 2023

ETİK BEYAN

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Burak ÇELEBİ
01/09/2023

GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT YAPILARININ TASARIMINDA ZEMİN PARAMETRELERİNİN ETKİSİNİN ÖRNEK BİR VAKA ÜZERİNDE İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Burak ÇELEBİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Eylül 2023

ÖZET

Bu çalışmada, yapımı tamamlanmış ve hizmete açılmış bir karayolu güzergâhında bulunan geogridle güçlendirilmiş istinat duvarlarına ait tasarım parametreleri kullanılarak dolgu malzemesi için tahmine dayalı olarak seçilen içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlık gibi parametrelerin geogridin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda, içsel sürtünme açısı arttığında kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarında artış meydana geldiği ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının kopmaya karşı güvenlik katsayılarından daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu bakımdan tasarım hesaplarında, kopmaya karşı güvenlik katsayısının daha kritik olduğu ve tasarımı kontrol eden asıl faktörün kopmaya karşı güvenlik katsayısı olduğu sonucuna varılmıştır. Bununla birlikte, sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının kopmaya karşı güvenlik katsayısına kıyasla içsel sürtünme açısının değişimlerinden daha fazla etkilendiği görülmüştür. Örneğin, içsel sürtünme açısında %15'lik bir artış, kopmaya karşı güvenlik katsayısında yaklaşık %30 oranında bir artışa neden olurken, sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısında, duvarın üst yüzeyinden itibaren 1,2 m derinlikte yaklaşık %310, 10 m derinlikte ise yaklaşık %60'lık bir artışa neden olmuştur. Dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığındaki değişimlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu (sırasıyla yaklaşık %10 ve %3) görülmüştür. Kendi aralarında kıyaslandığında, dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığındaki değişimlerin, kopmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinden daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Geogrid, istinat duvarı, geogrid donatılı duvar, toprakarme duvar
Sayfa Adedi : 106
Danışman : Prof. Dr. Mustafa ÖZER

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SOIL PARAMETERS ON THE DESIGN OF GEOSYNTHETICALLY REINFORCED RETAINING STRUCTURES ON A CASE STUDY

(M. Sc. Thesis)

Burak ÇELEBİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

September 2023

ABSTRACT

In this study, the effects of the parameters such as angle of internal friction and unit weight, which are selected based on the estimate for the filling material, on the factor of safety of the geogrid against rupture and pullout were investigated by using the design parameters of the geogrid-reinforced retaining walls on a highway that was completed and put into service. As a result of the analysis, it was observed that when the angle of internal friction increased, the factor of safety against rupture and pullout increased and the factor of safety against pullout were higher than the factor of safety against rupture. In this respect, it was concluded that the factor of safety against rupture is more critical in the design calculations and the main factor controlling the design is the factor of safety against rupture. However, it was observed that the factor of safety against pullout was more affected by the changes in the angle of internal friction compared to the factor of safety against rupture. For example, a 15% increase in the angle of internal friction results in an increase of approximately 30% in the factor of safety against rupture, whereas it caused an increase of approximately 310% at a depth 1.2 m from the upper surface of the retaining wall and approximately 60% at 10 m in the factor of safety against pullout. It was observed that the effect of the changes in the unit weight of the filling material on the factor of safety against rupture and pullout of the geogrid was not considerable (about 10% and 3%, respectively). When compared among themselves, it was seen that the effect of the changes in the unit weight of the filling material on the factor of safety against rupture was higher than the effect on the factor of safety against pullout.

Science Code : 91105
Key Words : Geogrid, retaining wall, geogrid reinforced wall, reinforced earth wall
Page Number : 106
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa ÖZER

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarımı yöneten, görüş ve bilgisiyle tezimin ortaya çıkıp şekillenmesi konusunda katkılarını gördüğüm, tecrübesi ve vakti ile her an yanımda olan değerli hocam Prof. Dr. Mustafa ÖZER'e teşekkürü bir borç bilirim. Tezimin oluşmasına olanak sağlayan ve hesaplamalarda kullanılan verilerin teminini sağlayan YMN GRUP Mühendislik İnşaat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. firmasına ve bana projede her konuda yardımcı olup vaktini bana ayıran Jeoloji Mühendisi Ali ALATAŞ'a teşekkür ederim. Hayatım boyunca desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen annem Nermin ÇELEBİ ve babam Mustafa ÇELEBİ'ye teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET iv

ABSTRACT v

TEŞEKKÜR vi

İÇİNDEKİLER vii

ÇİZELGELERİN LİSTESİ x

ŞEKİLLERİN LİSTESİ xi

RESİMLERİN LİSTESİ xiv

SİMGELER VE KISALTMALAR xv

1. GİRİŞ 1

2. GEOSENTETİKLER 3

2.1. Geosentetik Türleri 3

2.1.1. Geotekstiller 4

2.1.2. Geogridler 4

2.1.3. Geonetler 10

2.1.4. Geomembran 11

2.1.5. Geofoam 11

2.1.6. Geocell 12

2.1.7. Geokompozit 12

2.2. Geosentetiklerin Kullanım Alanları ve İşlevleri 13

2.2.1. Ayırma işlevi 13

2.2.2. Filtrasyon işlevi 14

2.2.3. Drenaj işlevi 15

2.2.4. Güçlendirme işlevi 15

2.2.5. Koruma işlevi 16

Sayfa

3. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI 17
3.1. Geosentetik Donatılı Zemin Tanımı 17
3.2. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Avantaj ve Dezavantajları 17
3.2.1. Geosentetik donatılı istinat duvarın avantajları 17
3.2.2. Geosentetik donatılı istinat duvarın dezavantajları 18
3.3. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Yapımında Kullanılan Malzemeler 18
3.3.1. Donatı malzemesi 19
3.3.2. Dolgu malzemesi 19
3.3.3. Ön yüzey elemanı 19
3.4. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Tasarımı 20
3.4.1. İç stabilite analizleri 21
3.4.2. Dış stabilite analizleri 26
4. MALZEME VE YÖNTEM 29
4.1. Malzemeler 29
4.1.1. Geogrid 29
4.1.2. Çelik hasır şablon 29
4.1.3. Geri dolgu malzemesi 30
4.2. Çalışma Sahası 31
4.2.1. Lokasyon 1 33
4.2.2. Lokasyon 2 35
4.3. Yöntem 37
4.3.1. Stabilite analiz yöntemleri 37
4.3.2. Geogrid donatılı duvar imalat yöntemleri 38
5. HESAPLAMALAR 49
5.1. Lokasyon 2'deki Geogrid Donatılı Duvar İçin Yapılan Hesaplamalar 49
5.1.1. İç stabilite analizleri 50

Sayfa

5.1.2. Dış stabilite analizleri 53

5.2. Slide Yazılımı ile Şev Stabilite Analizleri 54

5.2.1. Lokasyon 2 bölgesi slide yazılımı ile şev stabilite analizleri 55

6. SONUÇ, BULGULAR VE DEĞERLENDİRME 61

6.1. Sonuç 61

6.1.1. İçsel sürtünme açısının kopmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki ektisi 61

6.1.2. İçsel sürtünme açısının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki ektisi 70

6.1.3. Dolgunun birim hacim ağırlığının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki ektisi 73

6.2. Sonuç ve Değerlendirme 76

KAYNAKLAR 77

EKLER 81

ÖZGEÇMİŞ 106

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge **Sayfa**

Çizelge 2.1. Geosentetikler ve işlevleri 16

Çizelge 4.1. Geogridlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri..... 29

Çizelge 4.2. Dolgu malzemesi için tahmine dayalı olarak seçilen parametreler 30

Çizelge 6.1. G1 geogridle (T_u = 35 kN/m) hesaplanan kopmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişimi ve değişim oranları..... 62

Çizelge 6.2. G2, G3 ve G4 geogridlerle hesaplanan kopmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişimi..... 62

Çizelge 6.3. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişim ve değişimi 70

Çizelge 6.4. G2 geogrid (T_u = 55 kN/m) ve ϕ=30° için hesaplanan kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının birim hacim ağırlık ile değişimi. 73

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil **Sayfa**

Şekil 2.1. a) Örgülü geotekstil b) Örgüsüz geotekstil 4
Şekil 2.2. Geogrid örneği 5
Şekil 2.3. Geogridin mekanik kenetlenmesi 6
Şekil 2.4. Ekstrüde geogrid örneği 7
Şekil 2.5. Kaynaklama yöntemiyle oluşturulan geogrid örneği 7
Şekil 2.6. Dikiş yöntemiyle oluşturulan geogrid örneği 8
Şekil 2.7. Tek yönlü geogrid örneği 9
Şekil 2.8. Çift yönlü geogrid örneği 9
Şekil 2.9. Üç yönlü geogrid örneği 10
Şekil 2.10. Geonet örneği 10
Şekil 2.11. Geomembran örneği 11
Şekil 2.12. Geofoam örneği 12
Şekil 2.13. Geocell örneği 12
Şekil 2.14. Geokompozit örneği 13
Şekil 2.15. Ayırma işlemini gösteren görsel 14
Şekil 2.16. Filtrasyon işlemini gösteren görsel 14
Şekil 2.17. Drenaj işlemini gösteren görsel 15
Şekil 2.18. Güçlendirme işlemini gösteren görsel 15
Şekil 2.19. Koruma işlemini gösteren görsel 16
Şekil 3.1. Geosentetik donatılı istinat duvarı ve yapı elamanları 18
Şekil 3.2. Geogridle birlikte kullanılan çeşitli ön yüzey elemanları 20
Şekil 3.3. a) Kopma sonucunda göçme, b) Sıyrılma sonucunda göçme 22
Şekil 3.4. Geogrid donatılı istinat duvarına etki eden kuvvetlerin gösterimi 24
Şekil 3.5. Dış stabilize analizlerinde olası göçme mekanizmaları 27
Şekil 4.1. Geogrid donatılı duvar için çelik hasırdan yapılmış şablonlar 30

Şekil **Sayfa**

Şekil 4.2. Çalışmada incelenen yol güzergâhının yer bulduru haritası 32

Şekil 4.3. Çelik hasır şablonun yerleştirilmesi (Açıklama; A: Çelik hasır şablon) 40

Şekil 4.4. İlk sıra geogrid tabakasının serilmesi (Açıklama; B: Geogrid) 41

Şekil 4.5. Şablonun üzerine geotekstil serilmesi ve kanca ile şablonun sabitlenmesi (Açıklama; C: Geotekstil, D: Kanca) 42

Şekil 4.6. Geri dolgunun yapılması, geogridin ve geotekstilin geriye doğru bohçalanması serilmesi ve kanca ile şablonun sabitlenmesi (Açıklama; E: Geri dolgu malzemesi, F: Bohçalama işlemi) 43

Şekil 4.7. Tamamlanmış birkaç geogrid katmanı ile duvarın ön yüzeyinin teşkil edilmesi 44

Şekil 4.8. Lokasyon 1'de inşa edilen geosentetik donatılı duvarın uygulama planı 45

Şekil 5.1. Lokasyon 2 için geosentetik donatılı duvar uygulama planı 49

Şekil 5.2. İç stabilite analizleri için Kesit 3'e ait proje bilgileri 50

Şekil 5.3. Dış stabilite analizleri için Kesit 3'e ait proje bilgileri 53

Şekil 5.4. Lokasyon 2 bölgesinde şev stabilite analizi için zemin parametreleri 56

Şekil 5.5. Lokasyon 2 bölgesinde şev stabilite analizi için zemin parametreleri 56

Şekil 5.6. Kesit 3'ün imalat öncesi analizi 57

Şekil 5.7. Kesit 3'ün M1 için analizi 57

Şekil 5.8. Kesit 3'ün M2 için analizi 58

Şekil 5.9. Kesit 3'ün zemin M3 için analizi 58

Şekil 5.10. Kesit 3'ün zemin M4 için analizi 59

Şekil 5.11. Kesit 3'ün zemin M5 için analizi 59

Şekil 5.12. Kesit 3'ün zemin M6 için analizi 60

Şekil 5.13. Lokasyon 2 Kesit 3'ün toplu şev stabilite analiz sonuçları 60

Şekil 6.1. G1, G2, G3 ve G4 için kopmaya karşı güvenlik katsayısının duvar yüksekliğine ve içsel sürtünme açısına bağlı değişimi 63

Şekil 6.2. G1, G2, G3 ve G4 için kopmaya karşı güvenlik katsayısının duvar yüksekliğine ve içsel sürtünme açısına bağlı değişimi 64

Şekil **Sayfa**

Şekil 6.3. G1, G2, G3 ve G4 için bazı *z* derinlikleri için kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi 65

Şekil 6.4. G1, G2, G3 ve G4 için bazı z derinlikleri için kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi 66

Şekil 6.5. G1, G2, G3 ve G4 geogridlerinin dayanımına göre kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi 67

Şekil 6.6. G1, G2, G3 ve G4 geogridlerinin dayanımına göre kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi 68

Şekil 6.7. İçsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasındaki ilişki 69

Şekil 6.8. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının; a) duvar yüksekliğine ve b) içsel sürtünme açısına bağlı değişimi..... 71

Şekil 6.9. İçsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla geogridin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasındaki ilişki 72

Şekil 6.10. G2 geogrid için hesaplanan kopmaya karşı güvenlik katsayısının; a) yukarıdan itibaren hesap derinliğine ve b) dolgunun birim hacim ağırlığına bağlı değişimi..... 74

Şekil 6.11. G2 geogrid için hesaplanan sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının; a) yukarıdan itibaren hesap derinliğine ve b) dolgunun birim hacim ağırlığına bağlı değişimi..... 75

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim **Sayfa**

Resim 4.1. Geosentetik donatılı duvarların inşa edildiği lokasyonlar 32

Resim 4.2. Lokasyon 1'in duvar inşa edilmeden önceki mevcut (doğal) durumu 34

Resim 4.3. Lokasyon 1'e inşa edilecek yapının yarma kazısını gösteren fotoğraf..... 34

Resim 4.4. Lokasyon 2'de ki inşaat öncesi doğal durumu gösteren fotoğraf..... 36

Resim 4.5. Lokasyon 2'de ki 5,00x5,00 kutu menfez temelinin hazırlanması..... 36

Resim 4.6. Lokasyon 2'de ki 5,00x5,00 kutu menfezin tamamlanmış görüntüsü..... 37

Resim 4.7. Lokasyon 1 perde duvar için dökülen grobeton 38

Resim 4.8. Lokasyon 1 perde duvarın bitmiş hali 39

Resim 4.9. Lokasyon 1 geogrid donatılı istinat duvarının temeli..... 39

Resim 4.10. Çelik hasır şablonun duvar başlangıç sınırına konulması..... 40

Resim 4.11. İlk sıra geogrid tabakasının serilmesi 41

Resim 4.12. Geogridin üzerine dolgu malzemesinin serilmesi..... 43

Resim 4.13. Lokasyon 1 inşa edilen geogrid donatılı istinat duvarının belli bir yüksekliğe kadar tamamlanmış hali 44

Resim 4.14. Lokasyon 2 inşaat öncesi doğal durumu gösteren fotoğraf..... 46

Resim 4.15. Lokasyon 2 5,00x5,00 kutu menfez temelinin hazırlanması..... 46

Resim 4.16. Lokasyon 2 5,00x5,00 kutu menfezin tamamlanmış görüntüsü..... 47

Resim 4.17. Lokasyon 2 geogrid dolgusunun yapılması işlemi 47

Resim 4.18. Lokasyon 2 geogrid donatılı istinat duvarının ön yüzeyin oluşturulması... 48

Resim 4.19. Lokasyon 2 geogrid donatılı istinat duvarının tamamlanmış görüntüsü 48

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklamalar
ψ	Potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı
ϕ	Dolgu zeminin içsel sürtünme açısı
β	Duvarın üzerindeki geri dolgunun yatayla yaptığı açı
γ	Geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı
δ	Geogrid donatı ile zemin arasındaki sürtünme açısı
θ	Duvarın ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı
c	Dolgu zeminin kohezyonu
c_2	Taban zeminin kohezyonu
C_a	Duvar ile taban zemini arasındaki adezyon kuvveti
D_{10}	Zeminin elekten %10'unun geçtiği dane çapı
D_{50}	Zeminin elekten %50'sinin geçtiği dane çapı
$F.S_{(kopma)}$	Geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısı
$F.S_{(sıyrılma)}$	Geogridin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı
$F.S_{(taşıma)}$	Taşımaya karşı güvenlik katsayısı
F_H	Kaydırmaya çalışan toplam yatay kuvvet
F_R	Kaymaya karşı koyan toplam yatay kuvvet
H	Geogrid donatılı duvar yüksekliği
K_a	Aktif toprak basıncı katsayısı
$K_{sün}$	Sünmeye karşı dayanım azaltma katsayısı
K_{yer}	Yerleştirme hasarına karşı dayanım azaltma katsayısı
$K_{yıpr}$	Yıpranmaya karşı dayanım azaltma katsayısı
L	Geogrid donatı uzunluğu
L'	Sürşarj yükünün etki ettiği yatay mesafe
l_e	Sıyrılmaya karşı emniyetli geogrid ankraj uzunluğu
l_r	Rankine kamasının içerisinde kalan geogrid uzunluğu
M_D	Devirmeye çalışan toplam moment büyüklüğü
M_R	Devrilmeye karşı koyan toplam moment büyüklüğü
N_c ve N_γ	Terzaghi taşıma gücü katsayıları

Simgeler	Açıklamalar
^{o}	Derece
P	Sıyrılma direnci katsayısı
P_H	Dolgudan dolayı oluşan aktif toprak basıncı
P_q	Sürşarjdan dolayı oluşan aktif toprak basıncı
q_u	Temel zemininin sınır taşıma gücü
S_v	Düşey donatı (geogrid) aralığı
T_a	Geogridin izin verilen kopma dayanımı
Tan	Tanjant
T_{mak}	Geogride etki eden en büyük kopma kuvveti
T_u	Geogridin fabrika çıkışı nihai kopma dayanımı
W_1	1 no.lu kısma ait duvarın düşey ağırlığı
X_1	1 no.lu kısma ait moment kolu mesafesi
z	Geosentetik donatının zemin yüzeyinden göre derinliği
σ'_{hq}	Sürşarj kuvvetinden kaynaklanan yanal zemin basıncı
σ'_{hs}	Dolgu ağırlığından kaynaklanan yanal zemin basıncı
σ'_{v}	Düşey efektif gerilme
ΣF_v	Duvarın toplam düşey ağırlığı
σ'_{H}	Toplam yanal zemin basıncı

Kısaltmalar	Açıklamalar
ASTM	Amerikan Society of Testing and Materials
IGS	International Geosynthetics Society
MS Excell	Microsoft Excell
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat/polyester
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorür

1. GİRİŞ

Geosentetik donatılı zemin kavramı ilk olarak 1963 yılında Fransız mühendis ve mimar olan Henri Vidal tarafından ortaya atılan bir terimdir. Vidal geosentetik donatılı zemini, genellikle yatay olarak yerleştirilmiş doğrusal esnek şeritlerle güçlendirilen ve içsel sürtünme açısına sahip dolgu malzemesinden yapılmış bir yapı malzemesi olarak tanımlamıştır. Donatılı zemin, ilk olarak ortaya çıktığında mühendislik yapılarının inşasını son derece uygun hale getiren birçok yeni özelliğe sahipti. Bunlar kolayca işlenebilmesi, kolayca depolanabilmesi ve kolayca montajının tamamlanmasıydı. Bu gelişmelerin ışığında ilk geosentetik donatılı istinat duvarı 1965 yılında Fransa Pragnieres'de inşa edilmiştir. Daha sonra 1968-1969 yıllarında Fransa'nın Nice şehrinde 10 tane daha büyük ölçekte geosentetik donatılı istinat duvarı yapılmıştır [1].

Yukarıda bahsedilen gelişmeler neticesinde 1977 yılında Fransa'nın Paris şehrinde "Dokumaların Geoteknikte Kullanımı Uluslararası Konferansında" geosentetik malzemelerin geoteknik mühendisliği alanlarında kullanılması gerekliliği vurgulanmıştır. 1977 yılından sonra ise geosentetik malzemelerin kullanımı mevcut problemlere yenilikçi, basit ve hızlı çözümler üretmesi sonucunda hızla artış göstermiş ve çokça tercih edilme sebebi olmuştur [2]. Ülkemizde ise ilk kez 1988 yılında STFA/IMPREGILO ortaklığı ile Adapazarı ilçesinin Arifiye bölgesinde 69 numaralı otoyol üstgeçidinin çok yumuşak zeminler üstüne oturan yaklaşım dolgusunun iki yanında bulunan 12 m yüksekliğindeki istinat duvarları için kullanılmıştır [3].

Geosentetik malzemeler geoteknik mühendisliğinde genellikle istinat duvarlarında zeminin güçlendirilmesi alanında daha çok kullanılsa da yol inşaatları, su yapıları, katı atık depolama sahaları vb. gibi alanlarda da çokça kullanılmaktadır.

Geosentetik donatılı istinat yapılarının tasarımında geosentetiğin çekme/kopma dayanımı, kopma birim uzaması gibi geosentetiğe ait mekanik özelliklerin yanı sıra içsel sürtünme açısı, kohezyon, tane büyüklüğü dağılımı ve tane birim hacim ağırlığı gibi zemine ait fiziksel ve mekanik özelliklerin de bilinmesi gerekmektedir. Zira geosentetik donatılı istinat yapılarının imalatında genellikle iri taneli zeminler kullanılmakta ve iri taneli zeminlerin içsel sürtünme açısının bulunması için büyük kesme kutusu (en az 30x30 cm ölçülerinde)

deney cihazı gerekmektedir. Bu cihaz ise yaygın olarak bulunan bir cihaz olmadığından zeminin içsel sürtünme açısı genellikle yaklaşık olarak alınmaktadır.

Bu çalışmada, yapımı tamamlanmış ve hizmete açılmış bir karayolu güzergâhında bulunan geosentetikle güçlendirilmiş istinat duvarlarına ait tasarım parametreleri kullanılarak zemin parametrelerindeki değişimin geosentetik tasarımı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Geosentetik tasarımında, değerlendirme ölçütü olarak geogridin çekmeye ve kopmaya karşı güvenlik katsayısı dikkatte alınmıştır. Zemin parametreleri değiştiğinde geogridin çekmeye ve kopmaya karşı güvenlik katsayısının ne ölçüde değiştiği ve bu değişimin geogrid aralığını ve uzunluğunu ne ölçüde etkilediği belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, geosentetik donatılı duvar tasarımında zemin parametrelerinin belirlenmesine gösterilen hassasiyetin önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Tez kapsamında incelenen geosentetik donatılı istinat duvarları Karadeniz Ereğli – Devrek karayolu üzerinde imal edilmiş olup, hesaplamalarda kullanılan geogrid donatılı istinat duvarlarının geometri ve ölçüleri, geogridin mekanik özellikleri gibi veriler incelemeye konu olan karayolu projesinden alınmıştır. Daha sonra kurgusal olarak üç farklı zemin parametresi seçilmiş ve seçilen bu parametrelerin her biri ile geogrid donatılı duvar tasarımı yapılmıştır. Oluşturulan her bir tasarım için geogridin çekmeye ve kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmış ve birbiri ile karşılaştırılmıştır.

İç stabilite analizlerine ek olarak tasarlanan duvarların devrilme, ötelenme, taşıma gücü tahkiki gibi dış stabilite analizleri de yapılmıştır. Bununla birlikte toptan göçmeyi dikkate almak için şev stabilitesi analizleri de yapılmıştır. Şev stabilite analizleri için RocScience Slide yazılımı kullanılmıştır. İç ve dış tahkikler ise geleneksel yöntemler kullanılarak elle ve Excel kullanılarak yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek zemin parametrelerinin hassas bir şekilde belirlenmesinin önemi tartışılmıştır.

2. GEOSENTETİKLER

Geosentetik; geoteknik mühendisliği çalışma alanındaki doğal zemin içerisinde, mevcut bilinen diğer yapı elamanlarıyla beraber kullanılan sentetik elemanlara verilmiş genel bir isimdir. Burada geo, zemini, sentetik ise insan yapımı polimerik ürünlerini ifade etmektedir [4]. Verilen bu tanımdan da anlaşılacağı üzere günümüz teknolojisi de göz önüne alındığında geosentetik ürünlerin kullanım alanlarının oldukça geniş olduğu sonucuna varabiliriz. Bu alanlara örnek vermek gerekirse, geoteknik, çevre, hidrolik ve ulaştırma mühendisliği alanlarında çok yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [5].

Geosentetik malzemelerin kullanım alanları çok geniş olduğundan dolayı, bu malzemelerden istenen performansın maksimum seviyede olması için uygun kullanım alanına uygun geosentetik ürününün seçilip, yapılacak olan tasarımında o ürünün mekanik özelliklerine uygun şekilde olması gerekmektedir. Aksi halde istenilen verim alınamamış olur ve ekstra maliyetler ile sorun çözülmeye çalışılarak maddi sorunların ortaya çıkmasına yol açılmış olur. Bu durum da mühendislik açısından asla kabul edilebilir bir durum değildir. Dolayısıyla bu durumun yaşanmasının önüne geçmek ve durumu daha iyi kavramak için bu geosentetik ürünlerin türlerinden ve kullanım alanlarından aşağıdaki bölümde özet olarak bahsedilmiştir.

2.1. Geosentetik Türleri

Günümüzde yaygın olarak kullanılan geosentetik türleri aşağıda verilmiştir.

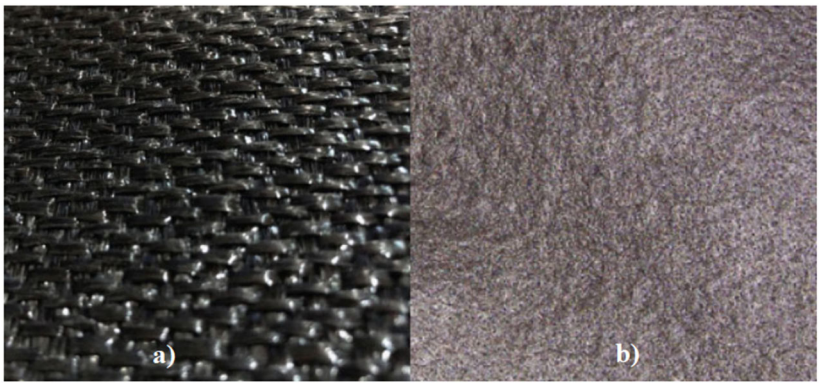
- Geotekstil
- Geogrid
- Geonet
- Geomembran
- Geofoam
- Geocell
- Geokompozit

Yukarıda verilen geosentetik ürünler hakkında kısa olarak bilgiler aşağıda verilmiştir. Bu tez çalışmasının temelini oluşturan geogridlere ise daha detaylı değinilmiştir.

2.1.1. Geotekstiller

Amerikan standartı olan ASTM (Amerikan Society of Testing and Materials) geotekstili; bir inşaat mühendisliği projesi, yapısı veya sistemin bir parçası olarak zemin, kaya, toprak veya geoteknik mühendisliği ile ilgili herhangi bir malzeme ile kullanılan geçirimli tekstil ürünü olarak tanımlamıştır [6].

Geotekstiller fabrikada üretilme tekniklerine göre örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Şekil 2.1'de örgülü ve örgüsüz geotekstiller gösterilmiştir. Örgülü geotekstiller geleneksel dokuma tezgahlarında üretilir. Makinenin ilerleme yönüne paralel ipliklere, buna dik yöndeki diğer ipliklerin geçirilmesiyle dokunurlar. Dolayısıyla çekme dayanımları bu üretim şekli sebebiyle oldukça yüksektir. Örgüsüz geotekstiller ise elyafların iğneleme yöntemiyle mekanik olarak keçe haline getirilmesiyle oluşmaktadır. Dolayısıyla çekme dayanımları bu üretim şekli sebebiyle oldukça düşüktür [7].



Şekil 2.1. a) Örgülü geotekstil b) Örgüsüz geotekstil [8]

2.1.2. Geogridler

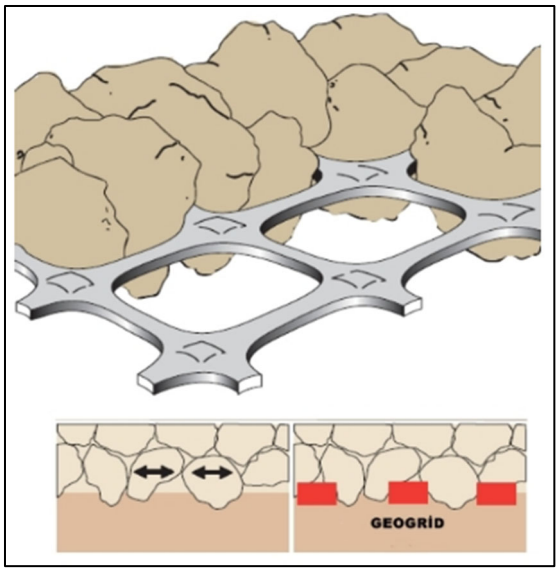
Amerikan standartı olan ASTM (Amerikan Society of Testing and Materials) geogridi; dikdörtgen bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlı elemanlardan oluşan, kendisini çevreleyen zemin, kaya veya diğer malzemelere mekanik kenetleme uygulayabilmek için

göz açıklıkları 6.35 mm'den daha büyük olan ve temel işlevi güçlendirme olan bir geosentetik ürün olarak tanımlamaktadır [9].

Geogridler, çekmeye karşı dayanıklılık özelliği gösteren ve şerit elemanlarının belirli bir düzen içerisinde açıklık oluşturulması amaçlanarak birbirlerine tutturulmasıyla oluşan polimerik düzlemsel bir geosentetik üründür. Geogridleri diğer geosentetiklerden ayıran en büyük fark geogridlerin dikdörtgen şeklindeki açıklıklara sahip olmasıdır. Bu açıklık belirli bir amaca hizmet etmek için bu şekilde tasarlanmıştır. Buradaki istenen amaç geogrid, kullanılacak zemine serildiğinde altında ve üzerinde bulunan agrega taneleri bu gözeneklerin içerisine girerek mekanik olarak birbirleriyle kenetlenir. Bu kenetlenme sonucunda da agrega taneleri kendi içsel sürtünme açıları sayesinde bir arada durarak istenilen dayanımı elde etmiş olurlar. İyi bir kenetlenme için geogridin göz açıklığının yeterli büyüklüğe sahip olması gerekmektedir.

Geogridler, üretim yöntemine ve göz açıklığı şekline göre farklı sınıflara ayrılmaktadırlar. İki farklı sınıfın olması üretilen geogridin hangi amaca hizmet edeceğiyle alakalı bir durumdur. Çekme dayanımı değerleri bu üretim yöntemlerine göre ciddi anlamda değişiklik göstermektedir. Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'de geogrid örneği ile geogridin çalışma mekanizmasını gösteren görseller verilmiştir.

Şekil 2.2. Geogrid örneği [10]



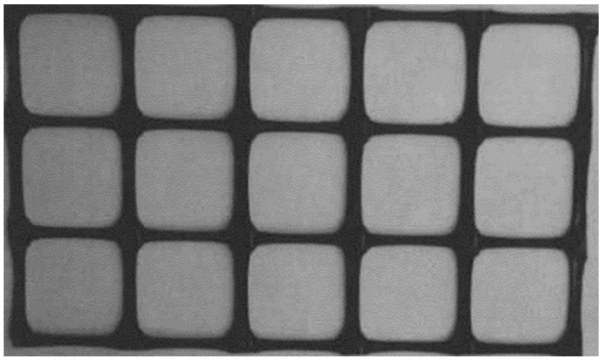
Şekil 2.3. Geogridin mekanik kenetlenmesi [11]

Üretim yöntemine göre geogridler

Geogridler üretim yöntemlerine göre üçe ayrılır. Bunlar; ekstrüde, kaynaklı ve dikişli geogridlerdir. Geogridlerin bu üretim yöntemlerinin farklı olması geogridin çekme dayanımını ciddi derecede etkiler. Dolayısıyla bu farkların iyi anlaşılması yapılacak projeler için ciddi önem arz etmektedir. Geogridin nihai çekme dayanımı aslında geogrid şeritlerinin birleşim noktalarının kopma dayanımı kadardır. O yüzden üretim yöntemi geogridin çekme dayanımının ne kadar olacağında ciddi pay sahibidir. Bu üretim yöntemleri aşağıda özet olarak verilmiştir.

Ekstrüde yöntemiyle oluşturulan geogridler

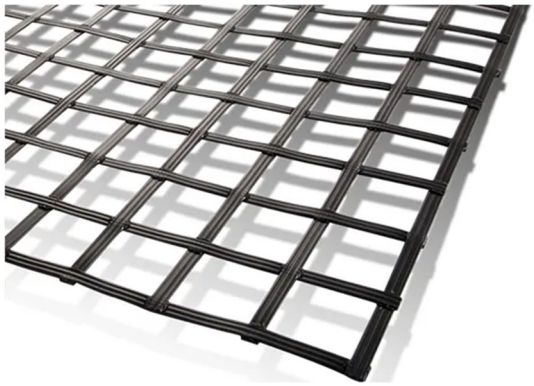
Ekstrüde yoluyla üretilen geogridlerin kalınlığı yaklaşık 4-6 mm arasında değişir. Genellikle PE veya PP levhalara bir kalıp yardımıyla düzgün aralıklarla delikler açılır. Daha sonra bu levha, yüksek sıcaklıktaki fırın ya da suyun içerisinde çekilerek açılan delikler genişletilir. Çekme sırasında molekül zincirleri çekme yönüne paralel olacak şekilde dizilirler. Bu sayede, çekme yönünde yüksek dayanıma ulaşılmış olur. Çekme işlemi, tek yönlü geogrid üretilecekse tek yönde, çift yönlü geogrid üretilecekse çift yönde gerçekleştirilir. Sıcaklık ve çekme hızı geogridin stabilitesini ve dayanımını etkiler. Diğer yöntemlerle üretilen geogridlere karşı en büyük üstünlüğü bağlantı noktalarının mukavemetinin yüksek olmasıdır [11]. Ekstrüde geogrid örneği Şekil 2.4'de verilmiştir.



Şekil 2.4. Ekstrüde geogrid örneği [5]

Kaynaklama yöntemiyle oluşturulan geogridler

Kaynaklı geogridler, yüksek dayanıma sahip şeritlerin birbirine dik olacak şekilde bir özel lazer ya da ısı yardımı ile bu şeritlerin birbirlerine kaynatılması yoluyla üretilen ürünlerdir. Bağlantı noktalarının mukavemeti ekstrüde yöntemiyle üretilen geogridlere kıyasla düşük olabilmektedir. Kaynaklama yöntemiyle oluşturulan geogrid örneği Şekil 2.5'de verilmiştir.



Şekil 2.5. Kaynaklama yöntemiyle oluşturulan geogrid örneği [12]

Dikiş yöntemiyle oluşturulan geogridler

Dikişli geogridler, yüksek çekme dayanımına sahip polyester iplik demetlerinin birbirine dik doğrultuda dikilmesi veya kenetlenmesiyle, geçirilmesiyle yapılmaktadır [4]. Daha sonra, boyutsal kararlılığı sağlamak ve geri dolgu sırasında birleşim noktalarını korumak için bütün geogrid yüzeyi PVC, lateks veya bitüm ile kaplanır. Örgülü geogridlerin bağlantı noktalarının dayanımı dokuma ile üretildiğinden ekstrüde sistemdeki kadar yüksek değildir. Dikiş yöntemiyle oluşturulan geogrid örneği Şekil 2.6'da verilmiştir.

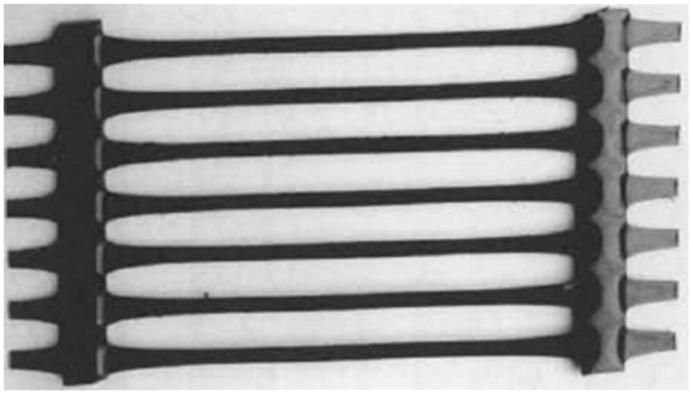
Şekil 2.6. Dikiş yöntemiyle oluşturulan geogrid örneği [13]

Göz açıklığı şekline göre geogridler

Geogridler göz açıklığının şekline göre üç gruba ayrılır. Bunar; tek yönlü, çift yönlü ve üç yönlü olarak isimlendirilirler. Bu geogridlerin ızgaralarının farklı geometrik şekillerde üretilmesinin sebebi tıpkı diğer geogrid türlerinde de olduğu gibi farklı çekme dayanımlarının elde edilmesinin amaçlanmasından dolayıdır. Geogridin göz açıklığının şekli zemine çekme dayanımı kazandırma yönünü belirlemektedir. Bu nedenle bir projede zemine hangi yönde çekme dayanımı kazandırılmak isteniyorsa ona uygun göz açıklığı geometrisine sahip şekildeki bir geogridin kullanılması daha uygun olacaktır. Tek yönlü ve çift yönlü geogridler önceki kısımlarda bahsedilmiş olan üç imalat yöntemiyle de üretilebilmekteyken üç yönlü geogridler ise, sadece ekstrüde yöntemiyle üretilebilmektedir. Aşağıda bu üç gruba ait özet bilgiler verilmiştir.

Tek yönlü geogridler

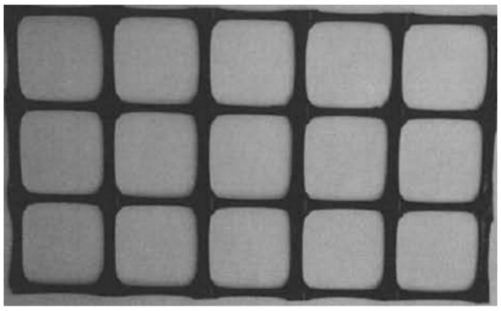
Ekstrüde yoluyla üretilen geogridlerin, çekme yönündeki dayanımları diğer yöne göre daha yüksektir. İmalat sırasında çekme işleminin tek yönde yapılmasıyla tek yönlü geogridler elde edilir. Bu geogridlerin göz açıklığı dikdörtgen şeklinde olmaktadır. Tek yönlü geogridler genellikle donatılı duvar yapımında ve şev duraylılığının sağlamak amacıyla kullanılırlar. Bunun sebebi tek yönlü geogridin çalışma prensibine dayanmaktadır. İstinat yapıları ve şevlerde oluşan zemin gerilmeleri genellikle tek yönde olduğundan dolayı istenilen çekme dayanımı bu tip geogridlerle rahatlıkla sağlanabilmektedir [4]. Tek yönlü geogrid örneği Şekil 2.7'de verilmiştir.



Şekil 2.7. Tek yönlü geogrid örneği [5]

Çift yönlü geogridler

Ekstrüde yoluyla üretilen geogridlerde, çekme dayanımları her iki yönde de eşittir veya birbirine yakındır. İmalat sırasında çekme işlemi iki yönde yapılır ve böylece iki yönlü geogrid elde edilmiş olur. Bu geogridlerin göz açıklığı kare şeklinde olmaktadır. Çift yönlü geogridler esas yükün her iki yönde de dağılım gösterdiği örneğin karayolu, demiryolu ve temel güçlendirme uygulamalarında kullanılmaktadır. Çift yönlü geogrid örneği Şekil 2.8'de verilmiştir.

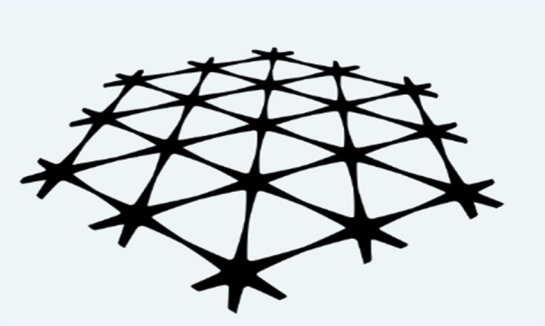


Şekil 2.8. Çift yönlü geogrid örneği [5]

Üç yönlü geogridler

Üç yönlü geogridler, çift yönlü geogridlerin performansını artırmak amacıyla son yıllarda geliştirilmiş yeni bir teknoloji ürünüdür. Yeni nesil bir ürün olan üç yönlü geogridler günümüzde Tensar adlı firma tarafından üretilmektedir. Göz açıklıkları eşkenar üçgenlerden oluşmaktadır. Üç yönlü geogridler, her üç yönde de yük dağıtma kapasitesine sahiptirler. Çekme çubukları özel bir kesite ve kalınlığa sahiptir. Yük yayma ve mekanik kenetleme

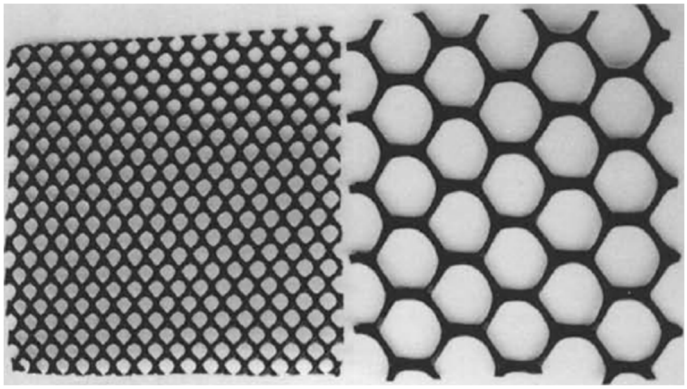
kabiliyetinin dikdörtgen göz açıklığına sahip geogridlerden daha iyi olduğu öne sürülmektedir. Üç yönlü geogrid örneği Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2.9. Üç yönlü geogrid örneği [14]

2.1.3. Geonetler

Amerikan standartı olan ASTM (Amerikan Society of Testing and Materials) geoneti; sıvıların veya gazların düzlemsel drenajı için, birbirine paralel polimer çubuklardan oluşan bir setin üzerine belli bir açıyla benzer bir setin oturtulması ve birbirine tutturulması ile üretilen bir geosentetik ürünüdür [9]. Bir polietilen ürünü olan geonetler bir matrisi veya ağı andırılar. Geonetler drenaj amaçlı projelerde kullanıldıklarında kendi başlarına kullanılmazlar. Geonetin alt ve üst kısımlarında süzme özelliği gösteren ve buna bağlı olarak da su iletme işlevini yerine getirecek bir geotekstil ile beraber kullanılır. Geonet örneği Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Geonet örneği [5]

2.1.4. Geomembran

Amerikan standartı olan ASTM (Amerikan Society of Testing and Materials) geomembranı; geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımı sonucunda meydana gelen sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri olarak tanımlanmaktadır [6]. Geomembran örneği Şekil 2.11'de verilmiştir.

Şekil 2.11. Geomembran örneği [15]

2.1.5. Geofoam

Amerikan standartı olan ASTM (Amerikan Society of Testing and Materials) geofoam'ı; geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan, blok veya düzlemsel, rijit hücresel köpüklerden oluşan polimerik bir malzemedir [9]. Geofoamlar, taşıma gücü zayıf olan zeminlerde dolguların konsolidasyon oturmalarını engellemede, istinat yapılarına etki eden yanal ve dinamik yükleri azaltmada, zemin şişmesine bağlı olarak üst yapıda oluşması beklenen hasarların azaltılmasında kullanılmaktadır. Ancak ülkemizde kullanımı çok yaygın değildir. Geofoam örneği Şekil 2.12'de verilmiştir.

Şekil 2.12. Geofoam örneği [16]

2.1.6. Geocell

IGS (International Geosynthetics Society) geocell'i üç boyutlu, geçirgen, polimerik bir petek veya altıgen ağ yapısı şeklinde olan, geoteknik mühendisliği uygulamalarında diğer geoteknik malzemeler ile temas halinde kullanılan bir geotekstil ürün olarak tanımlamıştır [17]. Genellikle karayolu, demiryolu ve eğimli yüzeylerde toprak tutma ve erozyon önleme amacıyla kullanılmaktadır. Geocell örneği Şekil 2.13'de verilmiştir.

Şekil 2.13. Geocell örneği [18]

2.1.7. Geokompozit

Birden fazla geosentetik malzemenin bir araya getirilmesiyle oluşturulan bir geosentetik

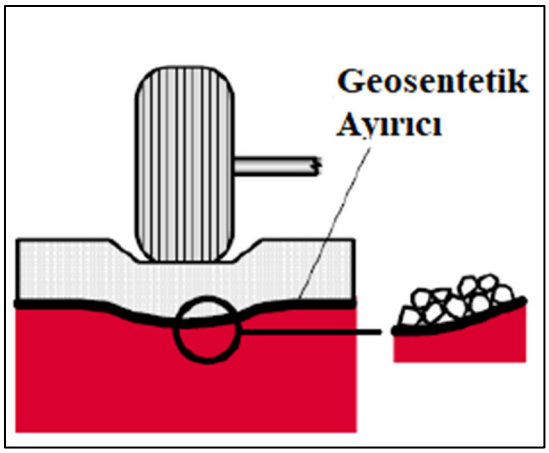
ürünüdür. Genellikle geogrid malzemenin ve örgüsüz geotekstil malzemelerinin birleşmesi yöntemi ile üretilirler. Kullanılan geogrid malzeme güçlendirme görevini üstlenirken, örgüsüz geotekstil ise ayırma ve filtrasyon görevlerini sağlamaktadır. Böylece uygun geotekstil ürünleri birleştirilerek her bir geotekstil ürününün özelliği kullanılarak problemlere uygun çözümler üretilmektedir. Geokompozitler genel olarak demiryolları, karayolları ve istinat yapılarında ayırma, güçlendirme, filtrasyon ve drenaj fonksiyonlarını karşılaması amacıyla kullanılmaktadır [19]. Geokompozit örneği Şekil 2.14'de verilmiştir.

Şekil 2.14. Geokompozit örneği [20]

2.2. Geosentetiklerin Kullanım Alanları ve İşlevleri

2.2.1. Ayırma işlevi

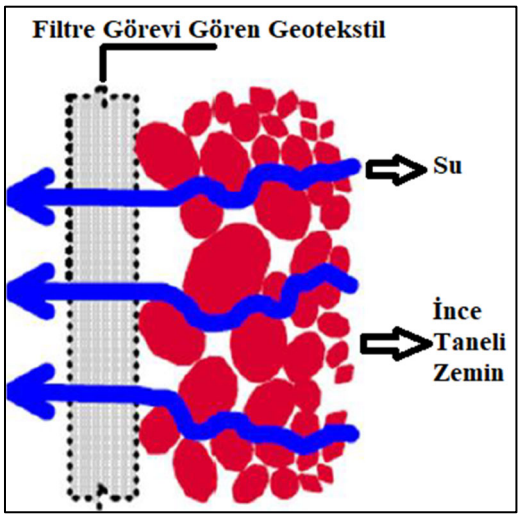
Geosentetik ürünler doğal zemine serildiklerinde, ürünün alt ve üst kısmında farklı tane boy dağılımı gösteren agregalar olabilmektedir. Dolayısıyla bu iki farklı malzemenin birbirlerine karışması istenmeyen bir durumdur. Eğer bir demiryolu veya bir karayolu dolgusunda granüler malzeme yumuşak taban zemini ile karışırsa pompalanma diye tabir edilen bir sorun ortaya çıkacaktır. Bu problem de zeminin taşıma gücünü ciddi anlamda düşürür. Tüm bu olumsuzlukları ortadan kaldırmak için geosentetik ürünler bu ayırma işleminde çok büyük rol oynamaktadırlar. Ayırma işlemini gösteren görsel Şekil 2.15'de verilmiştir.



Şekil 2.15. Ayırma işlemini gösteren görsel [21]

2.2.2. Filtrasyon işlevi

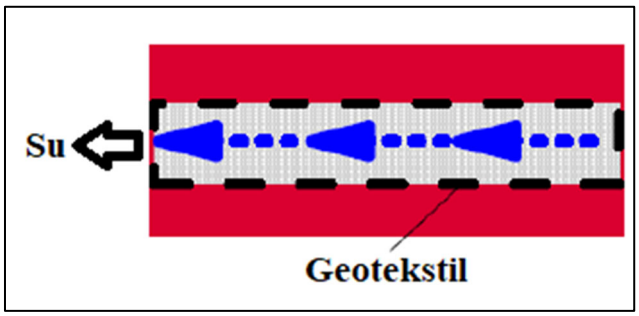
Geosentetik ürün suyun akış yönüne karşı yerleştirilir. Bu yerleştirme sonucunda serilen geosentetik ürün (genellikle geotekstiller) tıpkı bir filtre gibi davranarak suyun geçişine izin verirken ortamdaki ince taneli zeminin geçişine izin vermez ve ince taneli zemini tutar. Böylece su ve zemin taneleri birbirlerine karışmamış olur. Filtrasyon amaçlı kullanılacak olan geotekstilin uygun gözenek açıklığı, yeterli su geçirgenliği, sıkışmaya karşı dirençli ve yüksek poroziteye sahip olması gerekmektedir. Aksi halde filtrasyon konusunda başarı sağlanamaz. Filtrasyon işlemini gösteren görsel Şekil 2.16'da verilmiştir.



Şekil 2.16. Filtrasyon işlemini gösteren görsel [21]

2.2.3. Drenaj işlevi

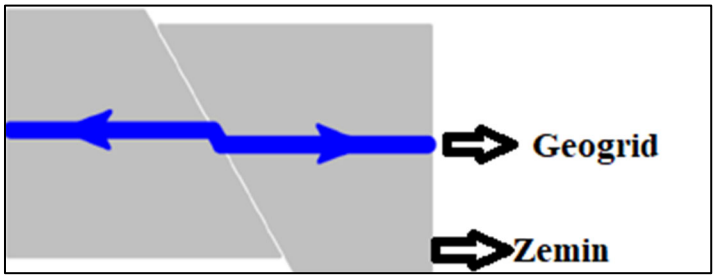
Geosentetik ürün, kendi düzlemi boyunca ortamda bulunan sıvıyı ya da gazı tahliye edilmesi gereken kısma doğru iletir. Bu taşıma olayında, sıvı ya da gaz geosentetik ürünün kendi bünyesinde toplanır ve yine kendi düzlemi boyunca aktarılır. Drenaj amacı ile kullanılacak geosentetik ürünün, kendi bünyesinde yüksek geçirgenlik, basınca karsı yüksek dayanım ve iyi filtre özelliklerine sahip olmalıdır [22]. Drenaj işlemini gösteren görsel Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Drenaj işlemini gösteren görsel [21]

2.2.4. Güçlendirme işlevi

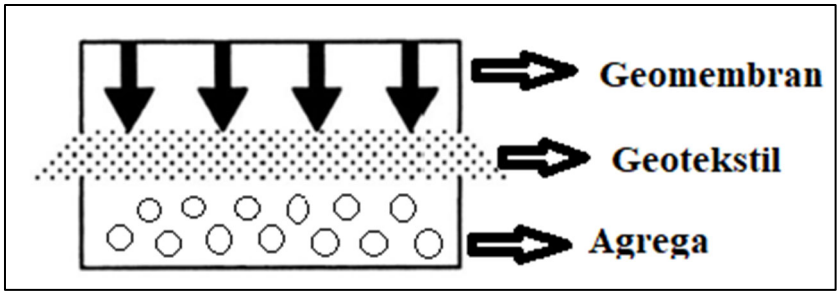
Geosentetik ürünler ile güçlendirme noktasal yüklerin eşit bir alana yayılması, sürtünme ve adezyon etkisiyle oluşan çekme ve kayma kuvvetlerine direnerek, zemin kütlesini güçlendirme şeklinde olur. Geotekstiller, çekme dayanımı olmayan zemine çekme dayanımı kazandırmak için de kullanılırlar. Güçlendirme amacıyla kullanılacak olan geosentetik ürünler yüksek elastisite modülü ve maksimum yükte yeterli uzama miktarı gibi koşulları sağlamalıdır. Bunun içinde geogridler en uygun çözüm olacaktır. Güçlendirme işlemini gösteren görsel Şekil 2.18'de verilmiştir.



Şekil 2.18. Güçlendirme işlemini gösteren görsel [21]

2.2.5. Koruma işlevi

Koruma, geosentetik bir ürünü başka bir geosentetik üründen koruması amacına dayanır. Bu amaçla geotekstiller en yaygın kullanılan ürünlerdendir. Örneğin; geomembran ile geotekstil kullanılan bir projede, ortamda bulunan sivri uçlu agregalardan kaynaklı ve geomembrana etki eden noktasal temas gerilmelerini azaltarak geomembranın delinmesini veya yırtılmasını önlemek amacıyla taneli malzeme ile geomembran arasına geotekstil serilmesi bu duruma örnek olarak verilebilir. Koruma işlemini gösteren görsel Şekil 2.19'da verilmiştir.



Şekil 2.19. Koruma işlemini gösteren görsel [21]

Yukarıda verilen geosentetik ürünlerin kullanım alanları ve işlevlerinden bahsedilmiştir. Hangi geosentetik ürünün hangi amaçla kullanılacağı toplu olarak aşağıda Çizelge 2.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 2.1. Geosentetikler ve işlevleri

Geosentetik Ürün	İşlev				
	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Güçlendirme	Koruma
Geotekstil	✓	✓	✓	✓	✓
Geogrid				✓	
Geonet			✓		
Geomembran					✓
Geofoam	✓			✓	
Geocell	✓			✓	
Geokompozit	✓	✓	✓	✓	

3. GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI

3.1. Geosentetik Donatılı Zemin Tanımı

Geosentetik donatılı istinat duvarının tasarımına geçmeden önce donatılı zeminin ne olduğunun açıklanmasında fayda vardır. Donatılı zemin, zeminin yenilmeye maruz kalabileceği kritik bölgelerindeki dayanımını arttırmak için zemin içerisine çekmeye karşı dayanıklı ve zeminle arasında yeterli düzeyde sürtünmeye sahip polimer malzemelerden üretilmiş geogrid veya geotekstil yerleştirerek elde edilmiş kompozit yapılara verilen isim olarak tarif edilebilir. Bazı durumlarda donatı olarak geosentetik yerine metal şeritler de yerleştirilebilir.

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının klasik istinat duvarlarından farkı, geogrid donatı adı verilen yüksek sürtünme kuvvetiyle beraber yüksek çekme mukavemetine de sahip şeritler ile zemine sabitlenmektedirler. Geogrid donatılar, duvar arkasındaki zemin içerisine dolgu sırasında serilir, dolgu ile gerekli sıkışma sonucunda zemin içerisinde sabitlenir. Böylece zeminde oluşan çekme ve kayma kuvvetlerini kendi üzerine alarak yapının devrilmesine veya kaymasına karsı stabilitesinin oluşmasını sağlarlar [23].

3.2. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Avantaj ve Dezavantajları

Geosentetik donatılı istinat duvarlı da tıpkı tüm yapılarda olduğu gibi diğer yapılara göre kendisine ait belirli avantaj ve dezavantajları mevcuttur. Bu avantaj ve dezavantajlar aşağıda verilmiştir.

3.2.1. Geosentetik donatılı istinat duvarın avantajları

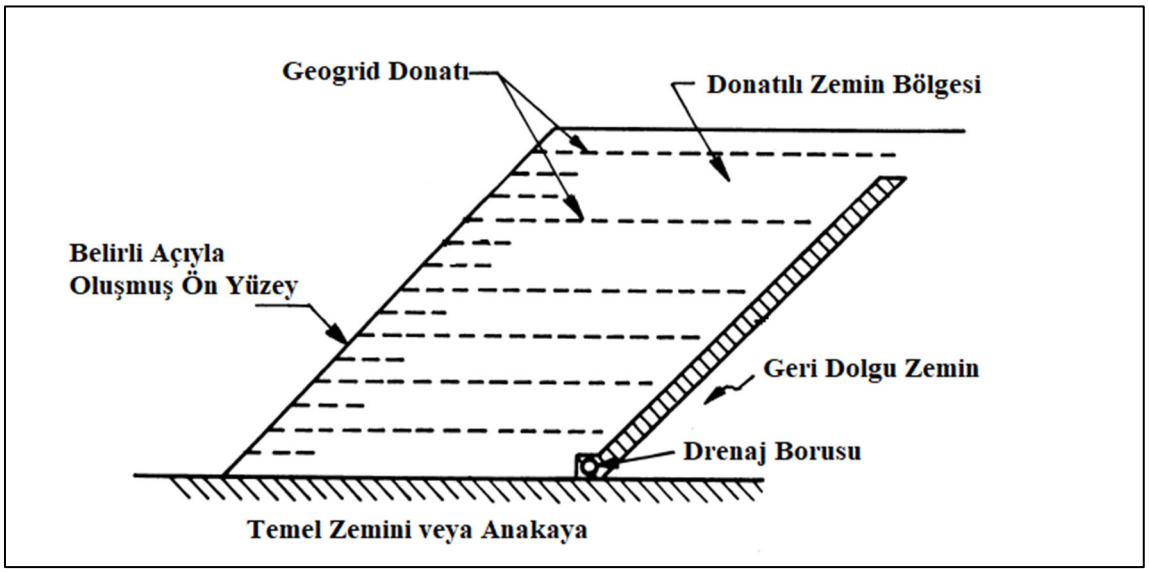
- Deprem yükleri altında klasik istinat duvarlarına göre daha stabildirler.
- Esnek yapıda olması nedeniyle temelde oluşabilecek oturmalardan etkilenmezler.
- Klasik istinat duvarlarına oranla daha estetik bir görünüme sahiptir ve yeşillendirilmeye de uygundur.
- Ekonomiktir.
- Her türlü iklim koşullarında inşa edilebilirler (yağışlı havalarda bile)

3.2.2. Geosentetik donatılı istinat duvarın dezavantajları

- Donatı elemanı olarak metal şeritler kullanıldığında zamanla bu şeritlerin paslanması neticesinde çekme dayanımında azalmalar olabilir.
- Donatı elamanı olarak geogrid kullanıldığında dolgu malzemesinin sıkıştırılması esnasında oluşan düşey gerilmelerinden dolayı donatılarda hasar meydana gelebilir.
- Zeminin içine yerleştirilen bir malzeme olduğundan, mevcut dolguların iyileştirilmesinde kullanılamazlar. Dolgunun kaldırılıp yeniden imal edilmesi gerekir.
- Geosentetik ürünler polietilen malzemeler olduğundan dışarıda uygunsuz ortamlarda depolandığında (örneğin güneşin altında) mevcut dayanımları azalabilir.
- Doğru yerde, doğru ürün, doğru tekniklerle uygulanmadığında beklenen fayda sağlanamaz. Uygulamada kalifiye elemana ihtiyaç vardır.

3.3. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Yapımında Kullanılan Malzemeler

Geosentetik donatılı istinat duvarı genel olarak 3 temel kısımdan oluşmaktadır. Bunlar donatı malzemesi (genellikle geogrid veya metal şeritler), dolgu malzemesi ve ön yüzey elemanıdır. Geosentetik donatılı istinat duvarı ve yapı elamanları Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Geosentetik donatılı istinat duvarı ve yapı elamanları [24]

3.3.1. Donatı malzemesi

Geosentetik donatılı istinat duvarında kullanılan donatı malzemeleri çoğunlukla geogridler ve metal şeritlerdir. Ancak geogridlerin kullanımı metal şeritlere oranla çok daha yaygındır. Bunun sebepleri aşağıda maddeler halinde verilmiştir.

- İnşaat sahasına rulolar halinde kolayca serilebilir.
- Geogridler istenilen boyda kesilebilirler ve birbirlerine kolayca eklenebilirler.
- Hafif olmaları sebebiyle inşaat sahasına çok rahat taşınırlar.
- Geogridler farklı kalitede ve dokuda üretildikleri için sahada farklı türler kolaylıkla ayırt edilebilirler.
- Ultra-Viole ışınlarına karşı mukavemetleri oldukları için özel kapalı depo alanları gerektirmemektedir [25].

3.3.2. Dolgu malzemesi

Geosentetik donatılı istinat duvarı arkasındaki dolgu malzemesinin iri taneli ve aynı zamanda da kohezyonsuz olması gerekmektedir. Sıvılaşma riskinin olduğu alanlarda ise dolgu malzemesi granüler yapıda olmalı ve elek analizleri sonuçlarına göre %50'sinin tane çapı 10 mm'den büyük (D_{50} >10 mm), %10'unun tane çapı ise 1 mm'den büyük (D_{10} >1 mm) olmalıdır [26]. Geogrid donatılı istinat duvarı yapımında dolgu malzemesi için gereken gradasyon sınırları Çizelge 3.1'de verilmiştir.

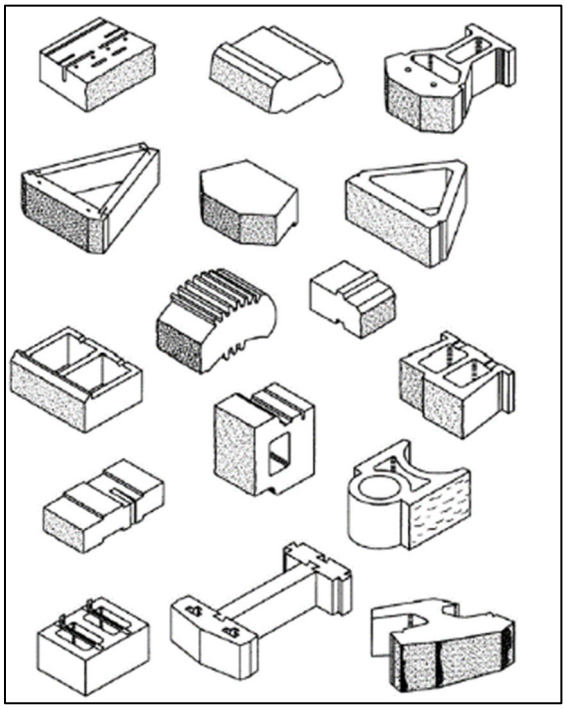
Çizelge 3.1. Geri dolgu malzemesi için istenen gradasyon sınırları [27]

Elek	Toplam geçen dane yüzdesi (%)
3/4 inç (19,0 mm)	100
No.40 (0,425 mm)	0 – 60
No.200 (0,075 mm)	0 – 15

3.3.3. Ön yüzey elemanı

Ön yüzey elemanları için belirli bir standart yoktur. Çünkü ön yüzeyin görevi; ön cepheden dolgu malzemesinin zamanla dökülmesini engellemek ve geri dolgunun drenajı için alan

sağlamaktır. Ayrıca ön cephede estetik bir görüntü oluşturmaktır [5]. Geogridle birlikte kullanılan çeşitli ön yüzey elemanları Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Geogridle birlikte kullanılan çeşitli ön yüzey elemanları [26]

3.4. Geosentetik Donatılı İstinat Duvarının Tasarımı

Doğal haldeki zemin, kesme ve basınç kuvvetlerine karşı bir direnç oluşturabilme özelliğine sahiptir. Ancak çekme kuvvelerine karşı herhangi bir direnç oluşturamazlar. İşte bu nedenle zemin içerisine yerleştirilen geogridler bu çekme kuvvetlerine karşı direnç göstererek bu problemin ortadan kaldırılmasında büyük rol oynarlar. Buradaki temel teori ise yük aktarımı prensibine dayanır. Geogridler kendi bünyelerinde bu çekme kuvveti yüklerini alarak zeminde bir donatı görevi üstlenirler. Burada zemin, maruz kaldığı yükü geogridlere aktarmış olmaktadır. Dolgu olarak kullanılan agregaların donatı üzerine yatay ve düşey yönde aktardığı yükler, geogridin bünyesinde çekme gerilmelerinin oluşmasına yol açar.

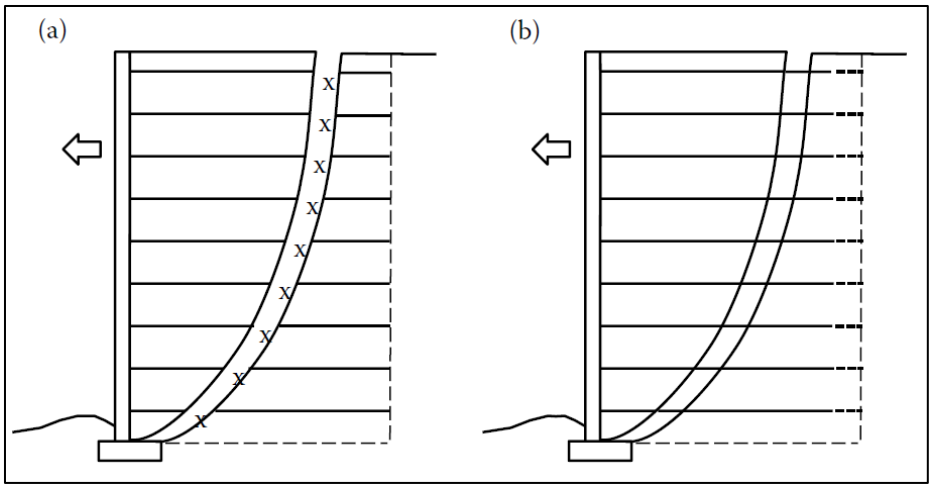
Geosentetik donatılı istinat duvarları, genellikle ön yüzey eğimi 70° ile 90° arasında olacak şekilde yapılırlar. Stabilite analizleri iç ve dış stabilite analizleri olarak ikiye ayrılır. Dış stabilite analizleri klasik istinat duvarlarında olduğu gibi yapılır. Bu analizlerde geosentetik donatılı zemin kütlesi rijit bir malzeme olarak kabul edilerek gerekli işlemler yapılır. Dış

stabilite analizlerinde geosentetik donatılı istinat duvarının devrilme, ötelenme (kayma) ve taşıma gücüne karşı duraylı olup olmadığı tahkik edilir. İç stabilite analizlerinde ise geogrid donatıların zemin tarafından iletilen yükleri kopmadan ve sıyrılmadan taşıyıp taşıyamayacakları tahkik edilir.

3.4.1. İç stabilite analizleri

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımı yapılırken ilk olarak iç stabilitenin sağlanması amaçlanmaktadır. Çünkü iç stabilite sağlandıktan sonra örnek bir duvar şablonu elde edilir ve daha sonrasında da bu şablona göre de dış stabilite analizleri yapılarak yapının toplam güvenlik katsayıları belirlenerek ilerleme kaydedilir. İç stabilitenin güvenli bir şekilde sağlanması için seçilen donatının (geogrid), proje sahasındaki zemin tarafından aktarılan çekme gerilmelerini ve kayma kuvvetlerini kopmadan taşıyabilmesi ve donatıların zeminden sıyrılmayacak bir birleşime sahip olması gerekmektedir. Diğer yandan, donatı ile zemin arasındaki sürtünmenin yeterli olup olmadığı da araştırılmalıdır. Çünkü kullanılacak olan donatının yani geogridin çalışma prensibi mekanik kenetlenmeye bağlı gelişen içsel sürtünme kuvvetlerine dayanmaktadır. Bu prensibin sağlanamadığı durumlarda donatıda kopmaların ve sıyrılmaların olması muhtemeldir. Bu durum da içsel stabilitenin sağlanamamasına yol açacaktır.

Geosentetik donatılı istinat yapılarında donatılara (geogrid) etki eden çekme gerilmeleri derinlikle artacağından dolayı donatının kopmaya karşı olan güvenliği yapının alt kısımlarında daha kritiktir. Bununla birlikte donatı üzerine etki eden düşey basınç kuvvetleri de derinlikle beraber artacağından dolayı üst kısımlarda daha düşük basınç kuvvetleri oluşacaktır. Bundan dolayı da üst kısımlarda bulunan donatının düşük basınçtan dolayı sıyrılması durumu daha kritiktir. İç stabilite analizleri de kendi içerisinde 2'ye ayrılmaktadır. Bunlar donatının kopma ve sıyrılma tahkikleridir. Bu yenilme türleri şematik olarak Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. a) Kopma sonucunda göçme, b) Sıyrılma sonucunda göçme [28]

İç stabilite analizlerinde ilk olarak istinat duvarına etki eden yanal toprak basınçlarının hesaplanması gerekmektedir. Bu hesaplamalarda klasik istinat yapılarında da kullanılan Rankine teorisine göre hesaplamalar yapılır. Bu teoriye göre ilk olarak aktif toprak basınç katsayısının hesaplanması ile başlanır. Duvarın ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı (θ) yaklaşık 90°, duvarın üzerindeki geri dolgunun yatayla yaptığı açı (β) ise yaklaşık sıfır derece olduğunda, aktif toprak basınç katsayısı (K_a), Eşitlik 3.1'de verilen Rankine bağıntısı ile, potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ) ise Eşitlik 3.2'de verilen bağıntıyla hesaplanabilmektedir.

$$K_a = tan^2\left(45 - \frac{\phi}{2}\right) \tag{3.1}$$

$$\psi = 45 + \frac{\phi}{2} \tag{3.2}$$

Ancak, duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω) 10° veya daha fazla olduğunda (ω ≥ 10°), aktif toprak basınç katsayısı (K_a) Coulomb denkleminin basitleştirilmiş biçimi kullanılarak Eşitlik 3.3'de verilen bağıntıyla, potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ) ise Eşitlik 3.4'de verilen bağıntıyla hesaplanabilmektedir.

$$\mathrm{K_a} = \frac{\sin^2(\theta + \phi)}{\sin^3\theta \left[1 + \frac{\sin\phi}{\sin\theta}\right]^2} \tag{3.3}$$

$$\tan(\psi-\phi)=\frac{-\tan(\phi-\beta)+\sqrt{\tan(\phi-\beta)\,[\tan(\phi-\beta)+\cot(\phi+\theta-90)][1+\tan(\delta+90-\theta)\cot(\phi+\theta-90)]}}{1+\tan(\delta+90-\theta)[\tan(\phi-\beta)+\cot(\phi+\theta-90)]} \quad (3.4)$$

Bu işlemin ardından düşey efektif gerilmelerin hesaplanması gerekmektedir. Düşey efektif gerilmenin hesaplanması için aşağıda verilmiş olan Eşitlik 3.5'ten yararlanılır.

$$\sigma'_{v} = \gamma z \quad (3.5)$$

Bu işlemin ardından geogrid donatılı istinat duvarına etki eden yanal toprak basınçlarının hesaplanması gerekmektedir. Zemin veya dolgudan dolayı bu yanal toprak basınçları aşağıda verilen Eşitlik 3.6 yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma'_{hs} = \sigma'_{v} K_a \quad (3.6)$$

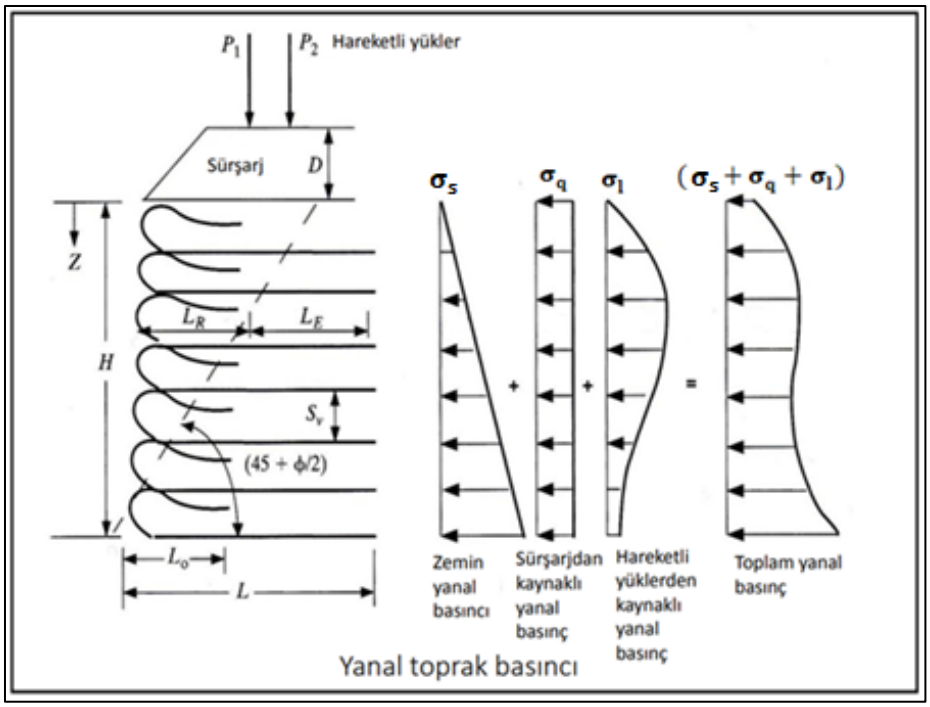
Bu işlemin ardından geogrid donatılı istinat duvarına sürşarj yükünden dolayı etki eden kuvvetlerin hesaplanması gerekmektedir. Bu sürşarj yükünden dolayı oluşan yanal toprak basıncı aşağıda verilen Eşitlik 3.7 yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma'_{hq} = q K_a \quad (3.7)$$

Duvara etki eden toplam yanal gerilme Eşitlik 3.8 yardımıyla hesaplanır.

$$\sigma'_{H} = \sigma'_{hs} + \sigma'_{hq} + \sigma'_{hl} \quad (3.8)$$

Dolgudan ve sürşarj yüklerinden kaynaklanan yatay toprak basınçları toplanarak toplam yatay basınç elde edilebilmektedir. Geogrid donatılı istinat yapısına etki eden tüm yanal basınç kuvvetleri Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Geogrid donatılı istinat duvarına etki eden kuvvetlerin gösterimi [4]

Kopmaya karşı güvenlik tahkiki

Kopmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıda verilen Eşitlik 3.9 yardımıyla hesaplanır.

$$(\mathrm{F.S})_{\mathrm{kopma}} = \frac{\mathrm{T_a}}{\mathrm{T_{mak}}} \tag{3.9}$$

Geogridin laboratuvar ortamında çekme deneyi ile belirlenen kopma dayanımı (T_u) doğrudan hesaplamalarda kullanılamaz. Geogrid, fabrikadan çıktıktan sonra yerine serilip kullanıma hazır hale gelinceye kadar ve kullanım ömrü boyunca bazı etkenler nedeniyle dayanım kaybına uğrar. Bu nedenle geogridin kullanıma sunulduğu andaki kopma dayanımı deneyle belirlenen kopma dayanımından daha düşük bir değere sahip olur. Bu nedenle laboratuvarda deneyle belirlenen kopma dayanımına bazı düzeltme katsayıları uygulanarak tasarımda kullanılacak olan kopma dayanımı elde edilir. Bu dayanıma "izin verilen kopma dayanımı" denir ve "T_a" ile gösterilir. İzin verilen kopma dayanımı aşağıda verilen Eşitlik 3.10 ile hesaplanır.

$$\mathrm{T_a} = \frac{\mathrm{T_u}}{(\mathrm{K_{yer}})\,(\mathrm{K_{sün}})\,(\mathrm{K_{yıpr}})} \tag{3.10}$$

Bu düzeltme katsayıları için literatürde önerilen değerler ilerleyen kısımlarda çizelge halinde verilmiştir. Geogride etki eden en büyük kopma kuvveti "T_{mak}" Eşitlik 3.11 ile hesaplanır.

$$T_{mak} = (\sigma'_{hs} + \sigma'_{hq})\, S_v \tag{3.11}$$

Bu durumda kopmaya karşı güvenlik katsayısı Eşitlik 3.12 ile hesaplanır.

$$(F.S)_{kopma} = \frac{T_a}{(\sigma'_{hs} + \sigma'_{hq})\, S_v} \tag{3.12}$$

Bu bağıntı yardımı ile şayet düşey geogrid aralıkları (S_v) belli ise her bir geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısı hesaplanabileceği gibi, bağıntıdan S_v çekilerek istenen güvenlik katsayısını sağlayan düşey geogrid aralığı da hesaplanabilir.

<u>Sıyrılmaya karşı güvenlik tahkiki</u>

Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıda verilen Eşitlik 3.13 yardımıyla hesaplanır.

$$(F.S)_{sıy} = \frac{F_R}{T} = \frac{2\, \sigma'_v\, \ell_e P}{\sigma'_H\, S_v} \tag{3.13}$$

Sıyrılma direnci katsayısı *P*'nin pullout deneyi yapılarak bulunması gerekmektedir. Ancak deney yapılamadığı durumlarda sıyrılma direnci katsayısı güvenli tarafta kalacak şekilde eşitlik 3.14 ile hesaplanabilmektedir. Eşitlik 3.14'de görülen α katsayısı, boyut etkisini dikkate alan bir katsayı olup pullout deneyi ile bulunabilmektedir. Ancak deney verisi bulunmadığı durumlarda geogridler için α = 0,8 alınabilmektedir [29].

$$P = \left(2/3 \tan \phi\right) \alpha \tag{3.14}$$

Geogridin, yenilme düzleminin dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (ℓ_e), Eşitlik 3.13'ün yeniden düzenlenmesiyle elde edilen Eşitlik 3.15 ile hesaplanabilir.

Geogridin, yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (ℓ_R) ise; duvarın ön yüzü yaklaşık dik olduğunda ($\theta \cong 90°$) geometri kurallarından yararlanılarak elde edilen Eşitlik 3.16 ile hesaplanır. Duvarın ön yüzü eğimli olduğunda ise ($\omega \geq 10°$) yine geometri kurallarından yararlanılarak bu çalışmada çıkartılan Eşitlik 3.17 ile hesaplanabilir. Geogridin toplam uzunluğu (L) ise eşitlik 3.18 ile hesaplanır.

$$\ell_e \geq \frac{T\ (F.S)_{sıy}}{2\ \sigma'_v\ \tan\delta} \tag{3. 15}$$

$$\ell_R = \frac{H - z}{\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \tag{3. 16}$$

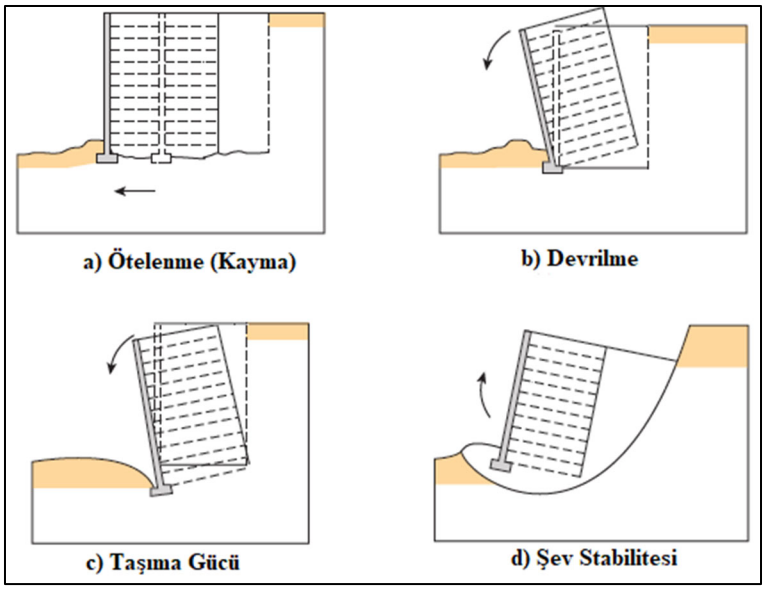
$$\ell_R = \frac{H - z}{\tan\psi} - (H - z)\tan\omega \tag{3. 17}$$

$$L = \ell_e + \ell_R \tag{3. 18}$$

Bu bağıntıların yardımı ile belli bir düşey geogrid aralığı (S_v) için her bir geogridin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı hesaplanabileceği gibi, bağıntıdan l_e çekilerek istenen güvenlik katsayısını sağlayan geogrid ankraj uzunluğu da hesaplanabilir.

3.4.2. Dış stabilite analizleri

Geogrid donatılı istinat yapıların dış stabilite analizleri klasik istinat yapılarında yapılan analizler ile aynıdır. Bu analizler klasik istinat yapılarından da bildiğimiz devrilme, ötelenme (kayma) ve taşıma gücü tahkikidir. Dış stabilite analizleri çoğunlukla geogrid donatılı zemin yapısının ölçüleri ile ilişkilidir. Dolayısıyla ilk olarak tasarımda iç stabilite analizlerinin yapılması ile bu şartların sağlanmasından sonra dış stabilite analizlerine geçilmelidir. Dış stabilize analizlerinde incelemesi yapılacak ve oluşması muhtemel göçme mekanizmaları Şekil 3.5'te verilmiştir.



Şekil 3.5. Dış stabilize analizlerinde olası göçme mekanizmaları [30]

Devrilme analizi

İnşa edilen geogrid donatılı istinat yapısı yanal zemin basınçlarının etkisi altında devrilmemeli ve devrilmeye karşı belli bir güvenlik katsayısına sahip olmalıdır. İncelenmek istenen uygun en kesit seçildikten sonra geogrid donatılı istinat duvarının topuk noktasında bir "O noktası" seçilir. Bu belirlenmiş noktaya göre moment alınarak istinat yapısını devirmeye çalışan toplam momentin (M_D), devrilmeye karşı koyan toplam momente (M_R) oranı belirlenir. Bu elde edilen sonuç devrilmeye karşı elde edilen güvenlik katsayısıdır. Bu değer aşağıda verilen Eşitlik 3.19 ile hesaplanır.

$$F.S_{(devrilme)} = \frac{M_R}{M_D} = \frac{W_1X_1 + W_2X_2 + \ldots\ldots\ldots}{\left(P_H\frac{H}{3}\right) + \left(P_q\frac{H}{2}\right)} \geq 2{,}00 \qquad (3.19)$$

Duvarın düşey ağırlığı "W" aşağıda verilen Eşitlik 3.20 ile hesaplanır

$$W = (\gamma H_1 L_1) + (\gamma H_2 L_2) + \ldots\ldots\ldots + (qL) \qquad (3.20)$$

Dolgudan dolayı oluşan aktif toprak basıncı "P_H" aşağıdaki verilen Eşitlik 3.21 ile hesaplanır

$$P_H = \frac{1}{2} H^2 \gamma K_a \tag{3.21}$$

Sürşarj yükünden dolayı oluşan aktif toprak basıncı "P_q" aşağıdaki verilen eşitlik 3.22 ile hesaplanır

$$P_q = qHK_a \tag{3.22}$$

Ötelenme analizi

Dış stabilite analizlerinden bir diğeri de ötelenmeye (kaymaya) karşı yapılan tahkiktir. Geogrid donatılı kütlenin yanal toprak basınçlarının etkisiyle en alttaki donatı üzerinden kaymaması gerekmektedir. Dolayısıyla bu durumun oluşması engellemek amacıyla bu analiz yapılarak belirli bir güvenlik katsayısı bulunur. Elde edilen bu güvenlik katsayısı da yapının ötelenmeye karşı ne kadar güvenli olup olmadığını göstermektedir. Ötelenmeye karşı yapılan analizde duvarın kaymasına sebep olan toplam yatay kuvvetin (F_H), duvarın kaymasını engellemeye çalışan toplam direnç kuvvetine (F_R) oranı ile hesaplanır. Duvarın kaymasına engel olan direnç kuvvetinin kaynağı, duvar tabanı ile duvarın oturduğu zemin arasındaki sürtünme kuvvetinden kaynaklanan kayma direncidir. Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı aşağıda verilmiş olan eşitlik 3.23 ile hesaplanır.

$$F.S_{(\text{ötelenme})} = \frac{F_R}{\Sigma F_H} = \frac{(\sum F_v \tan\delta) + (L\, C_a)}{P_H + P_q} \geq 1{,}50 \tag{3.23}$$

Taşıma gücü analizi

Dış stabilite analizlerinde son olarak geosentetik donatılı istinat yapısının mevcut zemine aktarılan yükün o zemin tarafından güvenli bir şekilde taşınıp taşınamayacağının araştırılması yapılmalıdır. Bu analiz için tıpkı sığ temeller için de kullanılan Terzaghi taşıma gücü eşitliğinden yararlanılmaktadır. Taşıma gücü hesabı aşağıda verilmiş olan eşitlik 3.24 ile hesaplanır.

$$F.S_{(\text{taşıma})} = \frac{q_u}{\sigma_v} = \frac{(c_2 N_c) + \left(0{,}5\gamma' L N_\gamma\right)}{\sigma_v} \tag{3.24}$$

4. MALZEME VE YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan malzemelerin özellikleri ve hesaplamalarda kullanılan yöntemler açıklanmıştır.

4.1. Malzemeler

Geosentetik donatılı duvarların imalatında kullanılan geogridlerin ve dolgu malzemesinin mühendislik özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Geogrid

Bu çalışma kapsamında incelenen geosentetik donatılı duvarların imalatında farklı çekme dayanımlarına sahip 5 farklı geogrid kullanılmıştır. Bu geogridler, çekme dayanımları küçükten büyüğe doğru sıralanacak şekilde sırasıyla Tip 1, Tip 2, Tip 3, Tip 4 ve Tip 5 olarak isimlendirilmiştir. Bu geogridler XGrid firması tarafından imal edilmiş olup hammaddesi PET, kaplaması ise PVC'dir. Bu ürünlere ait tüm mekanik özellikler aşağıda Çizelge 4.1'de verilmiştir.

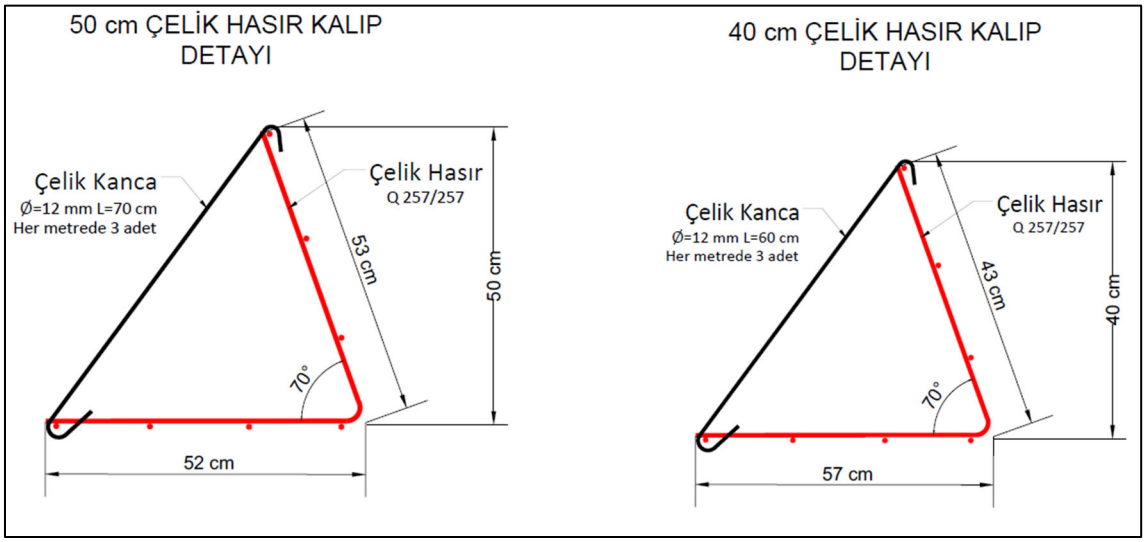
Çizelge 4.1. Geogridlerin bazı fiziksel ve mekanik özellikleri

Geogrid tipi	Geogrid göz açıklığı boyutları (mm)	Nihai kopma dayanımı (üretim yönünde), T_{ult} (kN/m)	Dayanım azaltma katsayıları			İzin verilen (tasarım) kopma dayanımı, T_a (kN/m)
			Sünmeye karşı, $K_{sün}$	Yerleştirme hasarına karşı, K_{yer}	Yıpranmaya karşı, $K_{yıpr}$	
G1	25×25	35	1,41	1,11	1,15	19,4
G2	25×25	55	1,41	1,11	1,15	30,6
G3	25×25	80	1,41	1,11	1,15	44,4
G4	25×25	110	1,41	1,11	1,15	61,1
G5	25×25	150	1,41	1,11	1,15	83,3

4.1.2. Çelik hasır şablon

Geogrid donatılı istinat duvarlarının ön yüzünün istenilen açıda ve düzgün bir şekilde yapılabilmesi için çelik hasırdan yapılmış bir şablon kullanılmıştır. Proje kapsamında

uygulanan 40 cm ve 50 cm geogrid düşey aralığı için iki ayrı ölçüde yaptırılan çelik hasır şablonlara ait ölçü ve özellikler Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Geogrid donatılı duvar için çelik hasırdan yapılmış şablonlar

4.1.3. Geri dolgu malzemesi

Proje kapsamında kullanılan granüler dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı (ϕ) ve birim hacim ağırlığı (γ) gibi fiziksel ve mekanik özellikleri proje firmasından veya yüklenici firmadan temin edilememiştir. Ancak çalışmanın amacı, geri dolgu malzemesinin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişimin geogridin güvenlik katsayıları üzerindeki etkilerinin belirlenmesi olduğundan bu değerler tahmine dayalı olarak seçilmiştir. Bu amaçla altı farklı parametre seti seçilmiş olup, saha gözlemlerine dayanarak ve literatürde önerilen değerler dikkate alınarak olabildiğince gerçekçi bir şekilde seçilmeye çalışılan bu parametreler Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Dolgu malzemesi için tahmine dayalı olarak seçilen parametreler

Geri dolgu malzemesi	İçsel sürtünme açısı, ϕ (°)	Birim hacim ağırlık, γ (kN/m^3)
M1	28	19,0
M2	30	19,0
M3	32	19,0
M4	34	19,0
M5	30	18,0
M6	30	17,0

Geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı (γ) geogride etki eden jeostatik gerilmelerin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Bu nedenle, birim hacim ağırlığındaki olası değişimlerin geogrid donatılı duvar tasarımını ne ölçüde etkilediği de belirlenmeye çalışılmıştır. Dolgu malzemesi, iri taneli granüler bir malzeme olduğu için kohezyon değeri sıfır olarak alınmıştır.

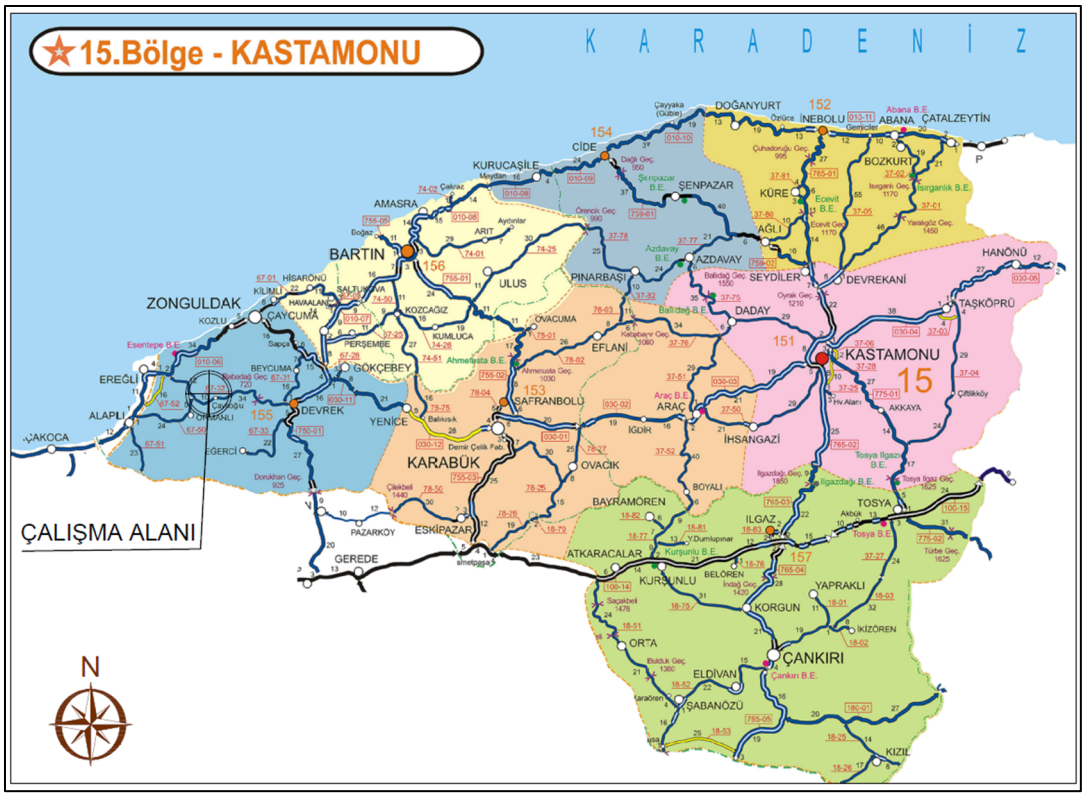
4.2. Çalışma Sahası

Çalışma sahası, Karadeniz Ereğli-Devrek karayolu üzerinde olup yolun 32+500 ile 56+721 kilometreleri arasındadır. Proje Yazıcılar ve Güzelyurt köyü girişinden başlayıp Çaylıoğlu köyüne kadar uzanan bir yol güzergâhını kapsamaktadır. Proje kapsamında toprak tesviye işleri, sanat yapıları ve üst yapı İşleri bulunmaktadır. Projenin 47+960 ile 56+721 kilometreleri arasında kalan 8,761 kilometrelik kısmı 2016 yılından önceki senelerde, 32+500 ile 47+960 kilometreleri arasında kalan kısmı ise 2016 ile 2018 yılları arasında tamamlanmıştır.

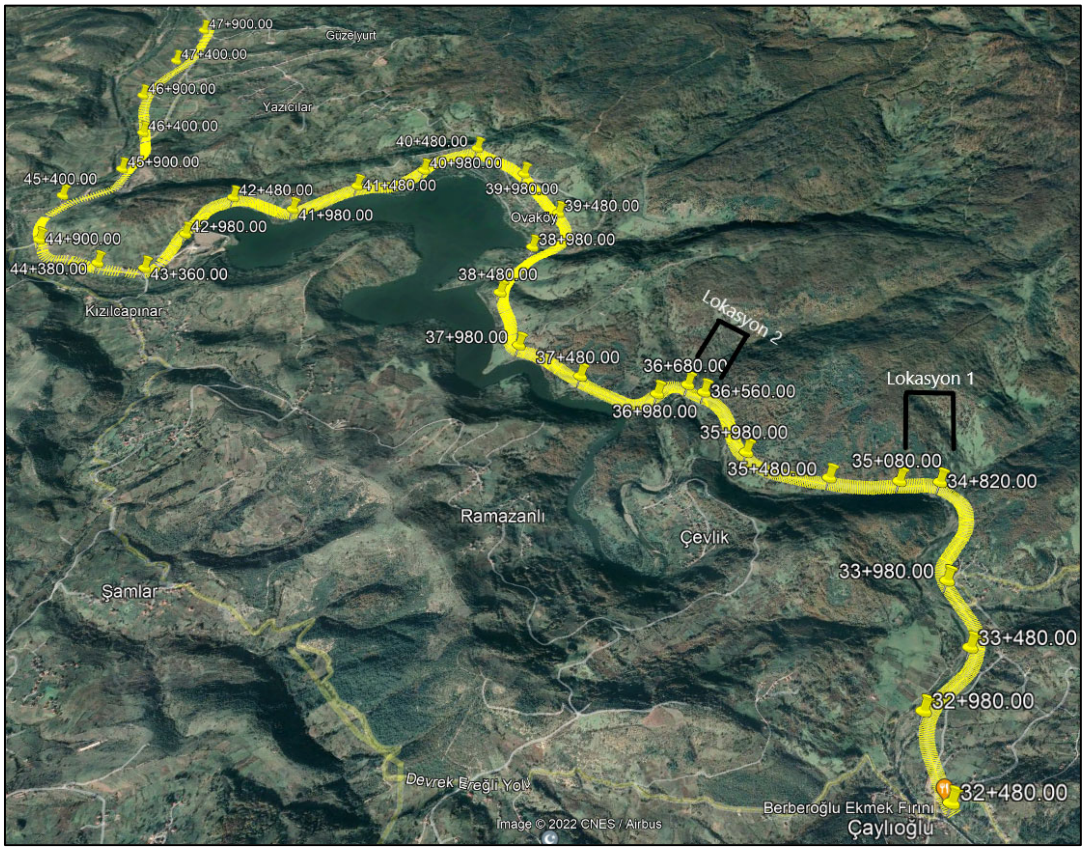
Ağır taşıtların mevcut yolu sürekli olarak kullanması ve yolun bu trafiği karşılayacak kapasiteye sahip olmaması nedeniyle proje kapsamında yolun bazı kısımları genişletilmiş, bazı kısımları ıslah edilmiş, bazı kısımlarında ise yeni yol güzergâhı açılmıştır.

Proje kapsamında ıslah edilen yolun uzunluğu 15,460 km'dir. Yol çift şeritli tek platformlu olacak şekilde inşa edilmiştir. Yol genişliği toplam 14 m olup, ikişer metrelik kısımları sağlı sollu hendeklere ayrılmıştır. Gidiş geliş istikametindeki yol şeritlerinin genişliği 5 m'dir. Kamulaştırma alanları ise karayolunun bitiminden itibaren 10'ar metre genişliğinde olmak üzere toplamda 20 m'dir. Çalışma sahasına ait uydu görüntüsü Şekil 4.2'de verilmiştir.

Bu çalışma kapsamında incelenen karayolu güzergâhında, 2 farklı lokasyonda geosentetik donatılı istinat duvarı imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu lokasyonların yerleri Resim 4.1'deki uydu görüntüsünde gösterilmiş olup, lokasyonlara ait bilgiler aşağıda ayrı başlıklar altında verilmiştir.



Şekil 4.2. Çalışmada incelenen yol güzergâhının yer bulduru haritası



Resim 4.1. Geosentetik donatılı duvarların inşa edildiği lokasyonlar

4.2.1. Lokasyon 1

Lokasyon 1 olarak adlandırılan bölgedeki geosentetik donatılı istinat duvarı, proje kapsamında 34+820 ile 35+080 kilometreleri arasında inşa edilmiş olup Çaylıoğlu köyü mevkiinde bulunmaktadır.

Resim 4.1'de verilen uydu görüntüsü incelendiğinde, Lokasyon 1'de yolun bir tarafında sarp kayalıkların yükseldiği bir yamaç, diğer tarafında ise yüksek şev açısına sahip bir vadi bulunmaktadır. Lokasyondaki yamaç andezit kayacından oluşmaktadır. Yolu genişletmek için sarp kayalıklarda yarma yapılması ekonomik görünmemektedir. Bunun yerine vadi tarafına dolgu yapılması daha makul bulunmuştur. Vadi tabanı ile mevcut yol platformu arasındaki kot farkı yaklaşık 18 m'dir. Yapılması planlanan yolun kırmızı kotu dikkate alındığında ise dolgu yüksekliği en fazla olduğu kısımda 22 m'ye kadar çıkmaktadır. Bu durumda yaklaşık 22 m yüksekliğindeki bir dolguyu tutmak için yapılacak olan muhtemel bir taş duvar veya betonarme duvarın maliyetinin yüksek olmasından dolayı bu bölgedeki dolgunun stabilitesini sağlamak için geogrid donatılı duvar yapılmasına karar verilmiştir.

Bu lokasyonda vadi tabanında İlkbahar aylarında yüksek debiyle akan Çaylıoğlu çayı bulunmaktadır. Çaylıoğlu çayındaki su seviyesinin yükselmesi halinde meydana gelebilecek olası sorunların önüne geçmek amacıyla geogrid donatılı istinat duvarının temel kısmına betonarme perde duvar inşa edilmiştir. Betonarme perde duvarın üstüne geogrid donatılı istinat duvarı inşa edilmiştir. Geogrid donatılı istinat duvarının uzunluğu 260 m, yüksekliği ise betonarme perde duvar dâhil 22 m'dir. Lokasyon 1'in duvar inşa edilmeden önceki mevcut (doğal) durumunu gösteren fotoğraflar Resim 4.2 ve Resim 4.3'te verilmiştir.

Resim 4.2. Lokasyon 1'in duvar inşa edilmeden önceki mevcut (doğal) durumu

Resim 4.3. Lokasyon 1'e inşa edilecek yapının yarma kazısını gösteren fotoğraf

4.2.2. Lokasyon 2

Lokasyon 2 olarak adlandırılan bölgedeki geosentetik donatılı istinat duvarı yol güzergâhında 36+560 ile 36+680 kilometreleri arasında inşa edilmiştir.

Resim 4.1'de verilen uydu görüntüsü incelendiğinde, Lokasyon 2'de yolun geçeceği güzergâhta yol eksenine dik doğrultuda bir dere akışı bulunduğu görülmektedir. Lokasyon 2'de yeni yapılacak olan bir yol kesimi bulunmakta olup, bu yolun altından ise dere akışını mümkün kılmak amacıyla bir kutu menfez geçişi bulunmaktadır. Bu lokasyonda dolgu yüksekliği 20 m'ye yaklaşmaktadır. Bu yüksekliğindeki bir dolgunun şevli bir şekilde inşa edilmesi durumda hem kamulaştırma sınırları artacak hem de yolun altından geçen kutu menfezin uzunluğu artacaktır. Şevli imalat yerine taş duvar veya betonarme duvar tercih edildiğinde ise maliyetler artmaktadır. Bu nedenle menfez geçişinin olduğu bu lokasyonda menfezin her iki tarafındaki zemini tutmak için ve yol dolgusunun stabilitesini sağlamak için geogrid donatılı istinat duvarı yapılmasına karar verilmiştir.

Bu Lokasyon da ilkbahar aylarında yüksek debili akan bir dere bulunmaktadır. Oluşabilecek su probleminin de önüne geçmek amacıyla geogrid donatılı istinat duvarının temel kısmına 5,00x5,00 kutu menfez de inşa edilmiştir. Lokasyondaki yamaç marn kayacından oluştuğu tahmin edilmektedir. Yer yer de günlenmeler görülmüştür. Buradaki geogrid donatılı istinat duvarının uzunluğu 120 m yüksekliği ise 18,40 m olacak şekilde inşa edilmiştir. Bölgenin inşaat öncesindeki durumu ve sonraki hali aşağıda verilmiş olan Resim 4.4, Resim 4.5 ve Resim 4.6'da görülebilir.

Bölgede ilk olarak geogrid donatılı istinat duvarının temelinin inşası için ortamda bulunan su pompalar yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Daha sonrasında 5,00 x 5,00 kutu menfez inşası için ilk olarak grobeton dökülmüştür. Temel betonun dökülmesinin ardından kutu menfez imalatına başlanmıştır. Burada yapılan işlemler bu tez çalışmasının konusu olmadığından dolayı hesaplama adımları gösterilmeyecek olup sadece arazi fotoğrafları verilerek ilerlenmiştir.

Resim 4.4. Lokasyon 2'de ki inşaat öncesi doğal durumu gösteren fotoğraf

Resim 4.5. Lokasyon 2'de ki 5,00x5,00 kutu menfez temelinin hazırlanması

Resim 4.6. Lokasyon 2'de ki 5,00x5,00 kutu menfezin tamamlanmış görüntüsü

4.3. Yöntem

4.3.1. Stabilite analiz yöntemleri

Geogrid donatılı istinat duvarının hesaplamalarına ilk olarak iç stabilite analizleri ile başlanmıştır. İç stabilite analizleri Bölüm 3.4.1. de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Hesaplamalarda kolaylık olması için Bölüm 3.4.1. de verilen formüller kullanılarak Microsoft Excel çalışma sayfası oluşturulmuş ve hesaplamalar bu çalışma sayfası ile gerçekleştirilmiştir.

Dış stabilite analizleri ise Bölüm 3.4.2.'de anlatıldığı gibi klasik istinat yapılarının tahkiklerinde kullanılan yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Dış stabilite analizlerinde de hesaplamalar yine Microsoft Excel kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Geogrid donatılı istinat duvarının şev stabilitesinin araştırılmasında ise RocScience Slide yazılımı kullanılmıştır. Elde edilmiş tüm bu sonuçlardan ilgili çizelgeler hazırlanmış, grafikler çizdirilmiş ve elde edilen veriler ışığında yorumlar yapılmıştır.

4.3.2. Geogrid donatılı duvar imalat yöntemleri

Geogrid donatılı istinat duvarının yapım aşamaları

Geogrid donatılı istinat duvarının yapım aşamaları Lokasyon 1 üzerinden detaylı olarak anlatılmıştır. Yapım aşamaları ve uygulama adımları Lokasyon 2 ile aynıdır. Dolayısıyla işlem adımları Lokasyon 2 de gösterilmemiş, imalata ait fotoğraflar ile anlatım sağlanmıştır.

Bölgede ilk olarak, geogrid donatılı istinat duvarının temelinin kuru bir ortamda inşa edilebilmesi için ortamda bulunan su, pompalar yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Daha sonra, betonarme perde duvarın inşa edileceği zemin tesviye edilmiş, silindirlerle sıkıştırılmış grobeton dökülmüştür (Resim 4.7). Temel betonun dökülmesinin ardından perde duvar imalatına başlanmış ve tamamlanmıştır (Resim 4.8).

Resim 4.7. Lokasyon 1 perde duvar için dökülen grobeton

Resim 4.8. Lokasyon 1 perde duvarın bitmiş hali

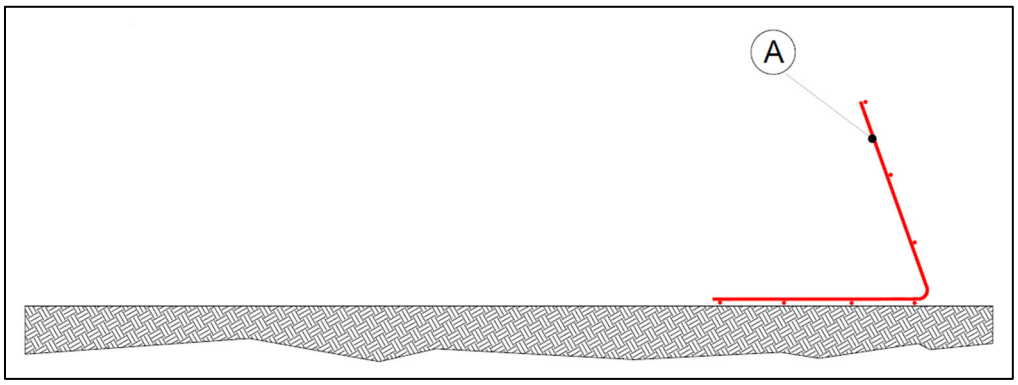
Betonarme perde duvarın arkasında zeminin içinde de geogrid kullanılması öngörülmüştür. Bu nedenle geogrid donatılı duvara temel teşkil etmesi amacıyla duvarın arkasına agrega tabakası serilmiş ve sıkıştırılmıştır (Resim 4.9).

Resim 4.9. Lokasyon 1 geogrid donatılı istinat duvarının temeli

Temel tabakasının üzerine geogridler serilerek geogrid donatılı istinat duvarının imalatına başlanmıştır. Geogrid donatılı istinat duvarının imalat aşamaları adım adım aşağıda anlatılmıştır.

Birinci adım:

Çelik hasırdan imal edilen şablon elemanları birbirine 10 cm bindirilerek duvarın başlangıç sınırına konulmuştur (Şekil 4.3 ve Resim 4.10).



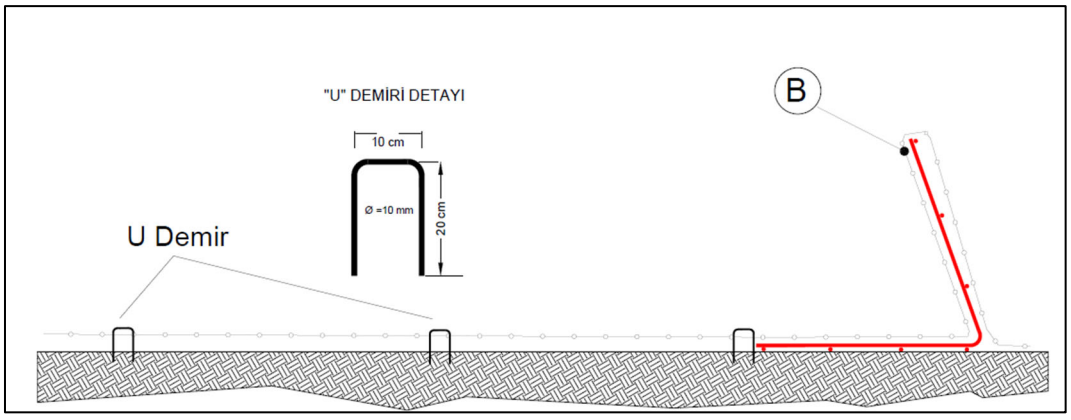
Şekil 4.3. Çelik hasır şablonun yerleştirilmesi (Açıklama; A: Çelik hasır şablon)

Resim 4.10. Çelik hasır şablonun duvar başlangıç sınırına konulması

İkinci adım:

İlk sıra geogrid serilmiştir (Resim 4.11). Geogrid tabaksı, her iki m^2 ye bir adet düşecek şekilde "U" demiri ile zemine sabitlenmiştir (Şekil 4.4). Geogrid, şablonun üstünden aşan kısmının uzunluğu en az 2 m olacak şekilde serilmiştir.

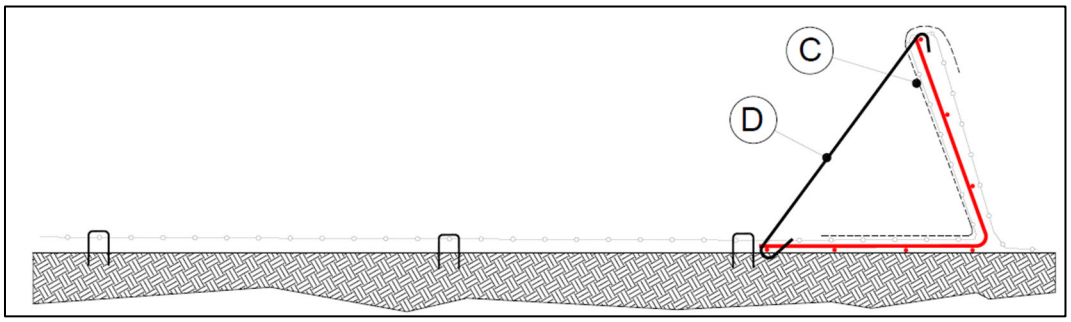
Resim 4.11. İlk sıra geogrid tabakasının serilmesi



Şekil 4.4. İlk sıra geogrid tabakasının serilmesi (Açıklama; B: Geogrid)

Üçüncü adım:

Şablonun iç kısmına (duvarın ön yüzüne) geotekstil serilmiştir. Geotekstilin, şablonun üstünden aşan kısmının uzunluğunun en az 0,5 m olmasına dikkat edilmiştir. Metrede 3 adet çelik kanca kullanılarak şablonun uçları birbirine sabitlenmiştir (Şekil 4.5). Burada kullanılan geotekstil geri dolgu malzemesinin duvarın ön yüzünden dökülmesini önlemek amaçlıdır.



Şekil 4.5. Şablonun üzerine geotekstil serilmesi ve kanca ile şablonun sabitlenmesi (Açıklama; C: Geotekstil, D: Kanca)

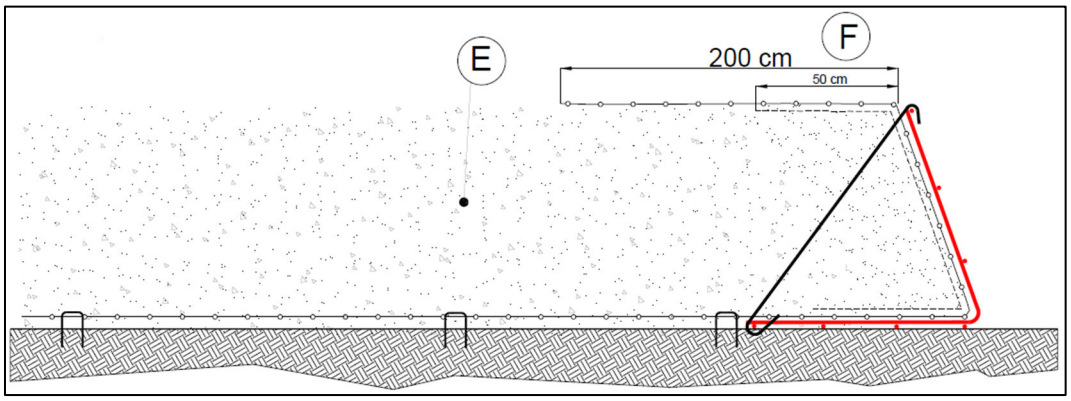
Dördüncü adım:

Şablonun üst hizasına kadar geri dolgu malzemesi serilmiş ve sıkıştırılmıştır (Resim 4.12). Geri dolgu esnasında duvarın ön yüzeyine geotekstille temas edecek şekilde en az 30 cm genişliğinde nebati toprak konulmuştur (Şekil 4.6). Bu toprak, duvar imalatı tamamlandıktan sonra yapılacak olan yeşillendirme amaçlı kullanılan bitki örtü tabakasının tutunabilmesi içindir.

Dolgu tabakası tamamlandıktan sonra geotekstilin ve geogridin şablondan taşan sırasıyla 0,5 m'lik ve 2 m'lik kısımları dolgunun üzerine serilerek bohçalama işlemi yapılmıştır (Şekil 4.12).

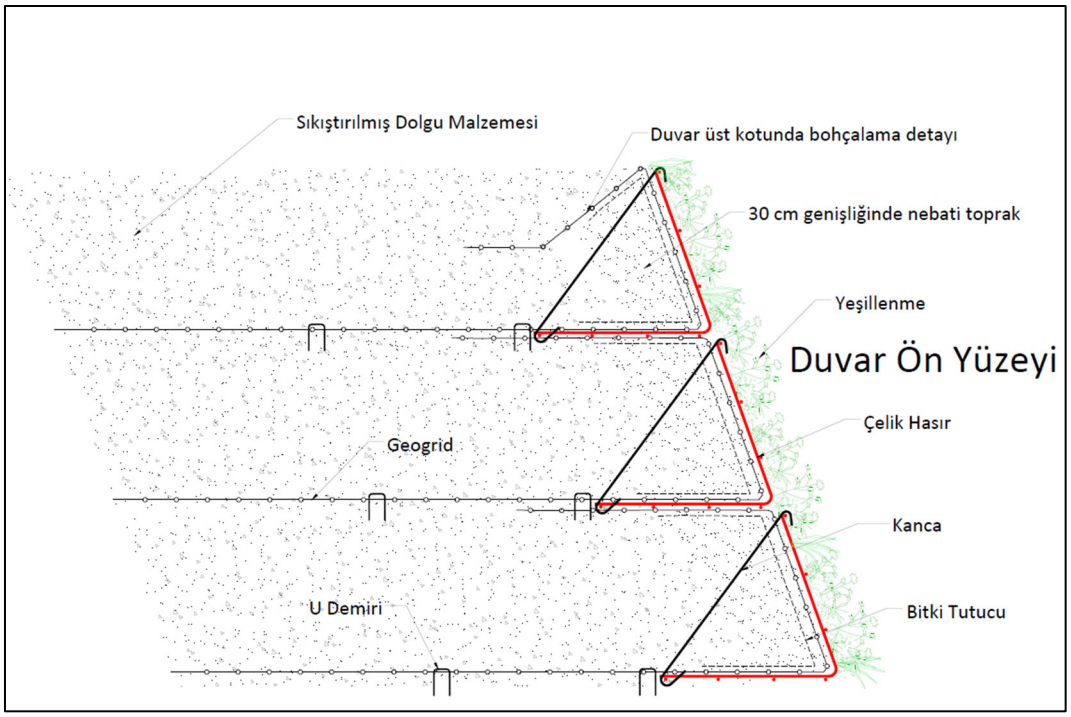
Dolgu malzemesi serildikten sonra, ön yüzeye yakın olan 1 m'lik şerit şeklinde kısmın sıkıştırılmasında el kompaktörü kullanılmıştır.

Resim 4.12. Geogridin üzerine dolgu malzemesinin serilmesi



Şekil 4.6. Geri dolgunun yapılması, geogridin ve geotekstilin geriye doğru bohçalanması serilmesi ve kanca ile şablonun sabitlenmesi (Açıklama; E: Geri dolgu malzemesi, F: Bohçalama işlemi)

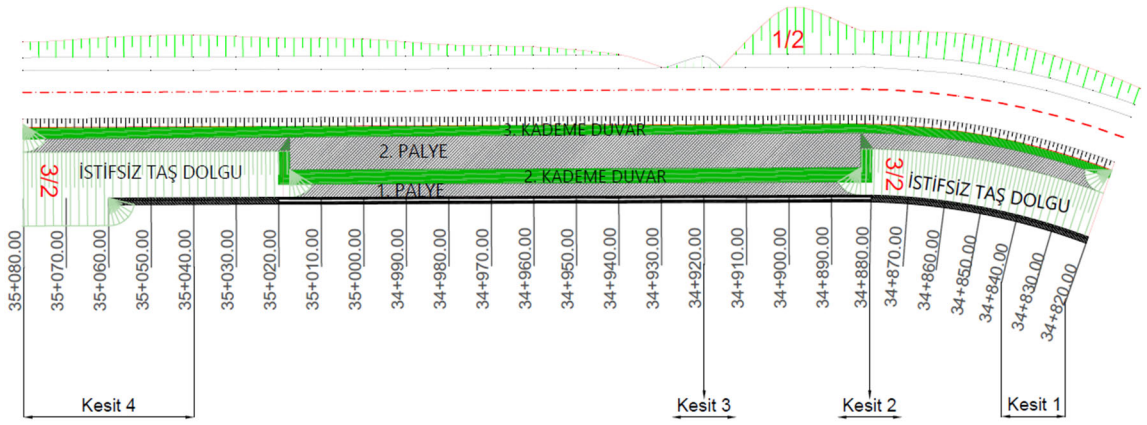
Böylece birinci katman geogrid uygulaması tamamlanmıştır. Yukarıdaki adımlar tekrar edilerek sonraki katmanlar da inşa edilmiştir. En son katmana gelindiğinde duvarın ön yüzünden taşan geogrid ve geotekstil parçaları geri dolgu malzemesinin içine doğru gömülerek ankrajlanmıştır (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Tamamlanmış birkaç geogrid katmanı ile duvarın ön yüzeyinin teşkil edilmesi

Geogrid donatılı istinat duvarının belli bir yüksekliğe kadar tamamlanmış halini gösteren bir görüntü Resim 4.13'te verilmiştir.

Resim 4.13. Lokasyon 1 inşa edilen geogrid donatılı istinat duvarının belli bir yüksekliğe kadar tamamlanmış hali



Şekil 4.8. Lokasyon 1'de inşa edilen geosentetik donatılı duvarın uygulama planı

Lokasyon 2'de Geogrid donatılı istinat duvarının yapım aşamaları

Lokasyon 2 bölgesi denilen kısım projenin Ova köyü denilen kısmında bulunmaktadır. Bu lokasyondaki karayolunun kırmızı kot değerine ulaşması gereken dolgu miktarının en fazla olduğu kısım 19 m'yi bulmaktadır. Bu lokasyonda aynı zamanda da ilkbahar aylarında yüksek debili akan bir dere bulunmaktadır. Oluşabilecek su probleminin de önüne geçmek amacıyla geogrid donatılı istinat duvarının temel kısmına 5,00x5,00 kutu menfez de inşa edilmiştir. Lokasyondaki yamaç marn kayacından oluştuğu tahmin edilmektedir. Yer yer de günlenmeler görülmüştür. Buradaki geogrid donatılı istinat duvarının uzunluğu 120 m yüksekliği ise 18,40 m olacak şekilde inşa edilmiştir. Bölgenin inşaat öncesindeki durumu ve sonraki hali aşağıda verilmiş olan Resim 4.14, Resim 4.15 ve Resim 4.16'da görülebilir.

Bölgede ilk olarak geogrid donatılı istinat duvarının temelinin inşası için ortamda bulunan su pompalar yardımıyla uzaklaştırılmıştır. Daha sonrasında 5,00x5,00 kutu menfez inşası için ilk olarak grobeton dökülmüştür. Temel betonun dökülmesinin ardından kutu menfez imalatına başlanmıştır. Burada yapılan işlemler bu tez çalışmasının konusu olmadığından dolayı hesaplama adımları gösterilmeyecek olup sadece arazi fotoğrafları verilerek ilerlenmiştir.

Resim 4.14. Lokasyon 2 inşaat öncesi doğal durumu gösteren fotoğraf

Resim 4.15. Lokasyon 2 5,00x5,00 kutu menfez temelinin hazırlanması

Resim 4.16. Lokasyon 2 5,00x5,00 kutu menfezin tamamlanmış görüntüsü

Yukarıda bahsedilen işlemlerin sonrasında ise geogridler serilerek geogrid donatılı istinat duvarının imalatına başlanmıştır. İmalatlara ait görüntüler Resim 4.17, Resim 4.18 ve Resim 4.19' da verilmiştir.

Resim 4.17. Lokasyon 2 geogrid dolgusunun yapılması işlemi

Resim 4.18. Lokasyon 2 geogrid donatılı istinat duvarının ön yüzeyin oluşturulması

Resim 4.19. Lokasyon 2 geogrid donatılı istinat duvarının tamamlanmış görüntüsü

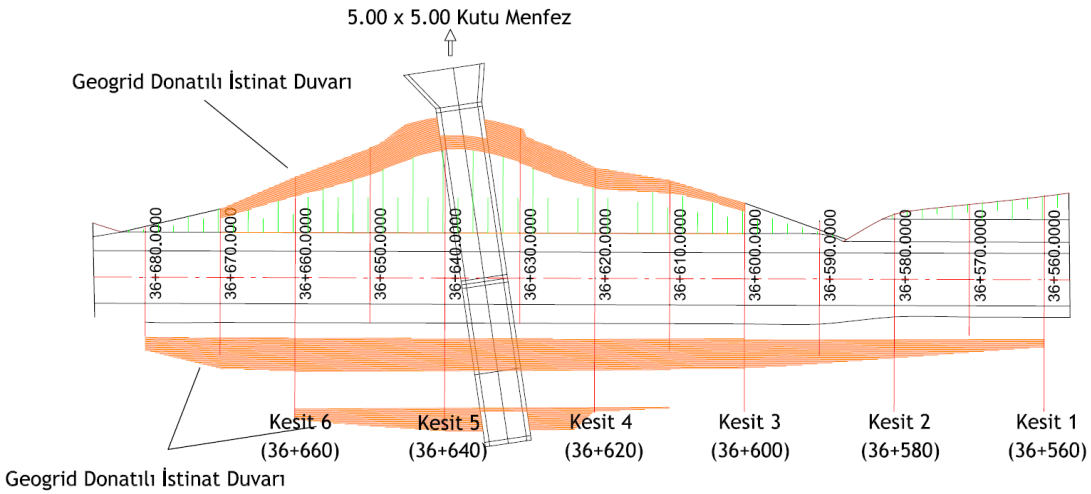
5. HESAPLAMALAR

Lokasyon 1 ve Lokasyon 2'de 2 adet geogrid donatılı istinat duvarı inşa edilmiştir. İnşa edilen geogrid donatılı istinat duvarının hesaplama işlemlerinin daha iyi anlaşılması ve aynı zamanda da araştırma için sabit bir nokta belirlemek amacıyla Lokasyon 2 de bulunan geogrid donatılı istinat duvarının 3 no.lu en kesiti seçilmiş ve bu kesit üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Tez konusundaki araştırma bu kesit üzerinden yapılmıştır.

5.1. Lokasyon 2'deki Geogrid Donatılı Duvar İçin Yapılan Hesaplamalar

Geogrid donatılı duvarın toplam uzunluğu 120 m olup, duvarın inşa edildiği bölgenin topoğrafyasından dolayı 120 m'lik güzergâh boyunca duvar yüksekliği değişkenlik göstermektedir. Duvar yüksekliği değiştikçe jeostatik gerilmeler de değişeceği için, buna bağlı olarak geogride etkiyen kuvvetler de değişecektir. Bu şartlar altında optimum tasarım yapabilmek için duvar yüksekliği değiştikçe duvar tasarımı da değişmektedir. Bu amaçla, duvar yüksekliğine bağlı olarak duvar yüksekliğinin değiştiği noktalardan duvardan enine doğrultuda 4 kesit çıkartılmış, stabilite analizleri bu kesitler üzerinde gerçekleştirilmiştir.

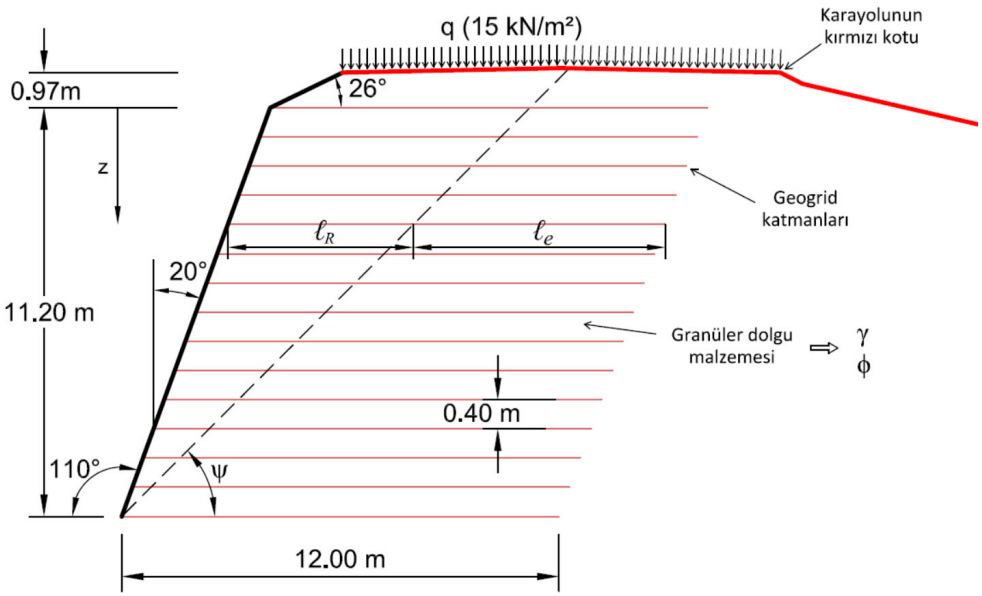
Kesitlerden ilki (Kesit 1) 36+560 kilometreden; (Kesit 2) 36+580 kilometreden; (Kesit 3), 36+600 kilometreden; (Kesit 4), 36+620 kilometreden; (Kesit 5), 36+640 kilometreden; (Kesit 6) 36+660 kilometrelerinden alınmıştır. Kesit alınan yerler Şekil 5.1'de verilen duvar uygulama planında gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Lokasyon 2 için geosentetik donatılı duvar uygulama planı

5.1.1. İç stabilite analizleri

Kesit 3 için yapılan hesaplamalar



Şekil 5.2. İç stabilite analizleri için Kesit 3'e ait proje bilgileri

İç stabilite analizlerinin ilk adımı analiz edilecek kesitin çıkartılması ve kesite ait bilinen tüm bilgilerin bu kesit üzerinde gösterilmesidir. Bu amaçla Kesit 3'ün proje ölçüleri Şekil 5.2'de verilmiştir.

Projede Lokasyon 2 de bulunan istinat yapısının Kesit 3 üzerinden hesaplamaları detaylı olarak aşağıda gösterilmiştir. Aşağıda verilen hesaplama adımları Kesit 3 üzerinden gösterilmiş olup geogrid donatılı istinat duvarının ilk katının hesap adımlarını içermektedir. Diğer katlara ait hesaplamalarda benzer olacağından dolayı diğer kesitlere ait sonuçlar çizelgeler halinde verilmiştir. Hesap işlem adımları G1-M1 için yapılmıştır.

Hesaplamalara ilk olarak aktif toprak basıncı katsayısı değerinin bulunmasıyla başlanmıştır.

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \phi)}{\sin^3\theta \left[1 + \frac{\sin\phi}{\sin\theta}\right]^2}$$

$$K_a = \frac{\sin^2(110 + 28)}{\sin^3\theta \left[1 + \frac{\sin 28}{\sin 110}\right]^2}$$

$K_a = 0{,}24$

Bu işlemin ardından düşey gerilmeler hesaplanmıştır.

$\sigma'_v = \gamma z$

$\sigma'_v = 19 * (0{,}50 + 0{,}97) = 26{,}03\ \mathrm{kN/m^2}$

Bu işlemin ardından geogrid donatılı istinat duvarına zemin veya dolgudan dolayı etki eden yanal toprak basınçları hesaplanmıştır.

$\sigma'_{hs} = \sigma'_v K_a$
$\sigma'_{hs} = 26{,}03 * 0{,}24 = 6{,}25\ \mathrm{kN/m^2}$

Bu işlemin ardından geogrid donatılı istinat duvarına sürşarj yükünden dolayı etki eden sürşarj kuvvetleri hesaplanmıştır.

$\sigma'_{hq} = q\ K_a$
$\sigma'_{hq} = 15 * 0{,}24 = 3{,}60\ \mathrm{kN/m^2}$

$\sigma'_H = \sigma'_{hs} + \sigma'_{hq} + \sigma'_{hl}$

$\sigma'_H = 6{,}25 + 3{,}60 = 9{,}85\ \mathrm{kN/m^2}$

Dolgudan ve sürşarj yüklerinden kaynaklanan yatay toprak basınçları toplanarak toplam yatay basınç elde edilmiştir. Tüm bu hesaplamaların ardından artık kopma dayanımı için gerekli hesaplamalar yapılabilmektedir. Kopmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanmıştır.

$$(F.S)_{kopma} = \frac{T_a}{(\sigma'_{hs} + \sigma'_{hq})\ S_v}$$

Hesaplamalarda kullanılacak olan gerekli düzeltme faktörleri aşağıda çizelge halinde verilmiştir. Bu veriler 4. Bölümde verilmiş olan XGRID PET PVC ürününün ürün kataloğundan elde edilmiştir. Aşağıda kullanılan düzeltme faktörleri Çizelge 4.1'den alınmıştır.

$$T_a = \frac{T_u}{(K_{yer})\,(K_{sün})\,(K_{yıpr})}$$

$$T_a = \frac{35{,}00}{1{,}11 * 1{,}42 * 1{,}15} = 19{,}31\ \text{kN/m}$$

Bu işlemlerin ardından artık kopmaya karşı güvenlik katsayılarını bulabiliriz. Kopmaya karşı güvenlik katsayılarının hesabı aşağıda verilmiştir.

$$(F.S)_{kopma} = \frac{19{,}31}{(6{,}25 + 3{,}60) * 0{,}40} = 4{,}90$$

Bu işlemlerin ardından artık sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarını bulabiliriz. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları aşağıda verilen eşitlikler yardımıyla hesaplanmıştır.

$$(F.S)_{sıy} = \frac{F_R}{T} = \frac{2\,\sigma'_v\,\ell_e P}{\sigma'_H\,S_v}$$

$$\ell_R = \frac{H - z}{\tan\psi} - (H - z)\tan\omega$$

$$\ell_R = \frac{11{,}20 - 0{,}40}{\tan\left(45 + \frac{28}{2}\right)} - (11{,}20 - 0{,}40)\tan 20 = 10{,}94\ m$$

$$\ell_e = L - \ell_R$$

$$\ell_e = 12{,}00 - 10{,}94 = 1{,}06\ \text{m}$$

$$P = \left({}^{2}/_{3}\ \tan\phi\right)\alpha$$

$$P = \left({}^{2}/_{3}\ \tan 20\right) * 0{,}80 = 0{,}28$$

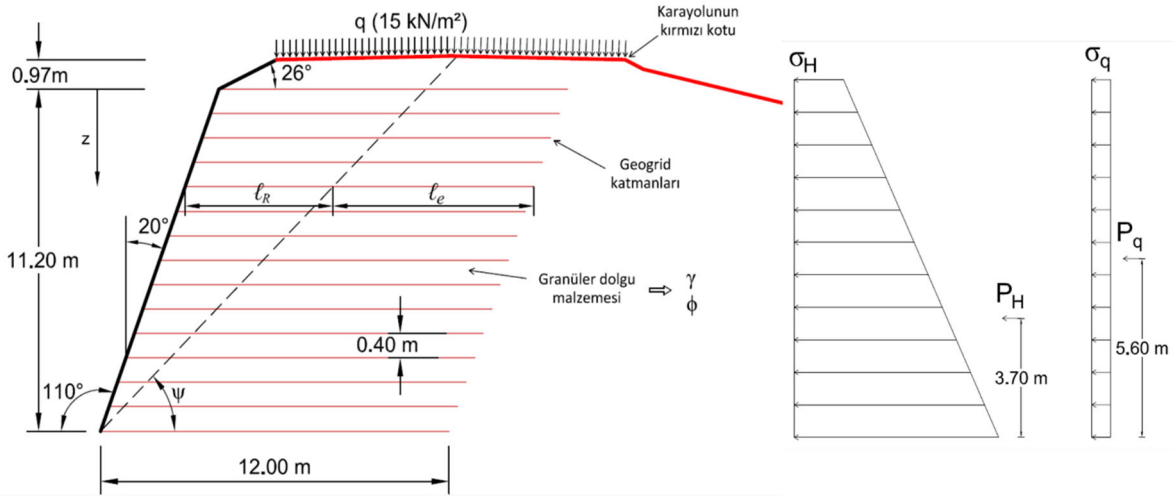
$$(F.S)_{sıy} = \frac{F_R}{T} = \frac{2 * 26{,}03 * 1{,}06 * 0{,}28}{9{,}85 *\ 0{,}40} = 3{,}98$$

Diğer katmanlara ait hesaplamalar çizelgeler halinde ek kısmında verilmiştir.

5.1.2. Dış stabilite analizleri

İç stabilite analizlerinin tamamlanmasının ardından dış stabilite analizlerine geçilmiştir. Dış stabilite analizleri klasik istinat duvarlarında yapılan hesaplamalarla aynıdır. Bu analizler devrilme, ötelenme (kayma) ve taşıma gücü hesabıdır. Bu analizlerin hesap adımları aşağıda Kesit 3 üzerinden detaylı olarak gösterilmiştir. Şekil 5.3'de dış stabilite analizleri için Kesit 3'e ait proje bilgileri verilmiştir.

Kesit 3 için yapılan hesaplamalar



Şekil 5.3. Dış stabilite analizleri için Kesit 3'e ait proje bilgileri

Projede Lokasyon 2 de bulunan istinat yapısının Kesit 3 üzerinden hesaplamaları detaylı olarak aşağıda gösterilmiştir. Aşağıda verilen hesaplama adımları Kesit 3 üzerinden gösterilmiş olup hesap işlem adımları G1-M1 için yapılmıştır.

Hesaplamalara ilk olarak devrilme analizi ile başlanmıştır.

$$P_H = \frac{1}{2} H^2 \gamma K_a$$

$$P_H = \frac{1}{2} * 11{,}20^2 * 19{,}00 * 0{,}24 = 286{,}00\ \mathrm{kN/m^2}$$

$$P_q = qHK_a$$

$$P_q = 15{,}00 * 11{,}20 * 0{,}24 = 40{,}32\ \mathrm{kN/m}$$

$$F.S_{(devrilme)} = \frac{M_R}{M_D} = \frac{W_1 X_1}{\left(P_H \frac{H}{3}\right) + \left(P_q \frac{H}{2}\right)} = \frac{\left((\gamma H_1 L_1) + (qL)\right) X_1}{\left(P_H \frac{H}{3}\right) + \left(P_q \frac{H}{2}\right)} \geq 2{,}00$$

$$F.S_{(devrilme)} = \frac{\left((19{,}00 * 11{,}20 * 12{,}00) + (15{,}00 * 12{,}00)\right) * 6{,}00}{(286{,}00 * 11{,}20/3) + (40{,}32 * 11{,}20/2)} = 12{,}68 \geq 2{,}00$$

olarak hesaplanmıştır. Devrilme analizinden sonra ötelenme (kayma) analizi yapılmıştır.

$$F.S_{(ötelenme)} = \frac{F_R}{\Sigma F_H} = \frac{(\sum F_v \tan\delta) + (L\, C_a)}{P_H + P_q} \geq 1{,}50$$

$$F.S_{(ötelenme)}$$

$$= \frac{((11{,}20 * 12{,}00 * 19{,}00) + (15{,}00 * 12{,}00)) * \tan(28{,}00 * 2/3) + (12{,}00 * 0{,}00 * 2/3)}{286{,}00 + 40{,}32}$$

$$= 2{,}83 \geq 1{,}50$$

olarak hesaplanmıştır. Ötelenme (kayma) analizinden sonra taşıma gücü analizi yapılmıştır.

$$F.S_{(taşıma)} = \frac{q_u}{\sigma_v} = \frac{(c_2 N_c) + \left(0{,}5\gamma' L N_\gamma\right)}{\sigma_v}$$

$$F.S_{(taşıma)} = \frac{(0{,}00 * 17{,}13) + (0{,}50 * 19{,}00 * 12{,}00 * 3{,}29)}{11{,}20 * 19{,}00} = 2{,}44$$

olarak hesaplanmıştır. Yukarıda dış stabilite analizlerinin hesaplanma adımları detaylı şekilde gösterilmiştir. Buna ek olarak RocScience Slide bilgisayar yazılımı ile de çözümleme yapılmış ve şev stabilitesinin duraylılığı da bir sonraki bölümde irdelenmiştir.

5.2. Slide Yazılımı ile Şev Stabilite Analizleri

Slide yazılımı RocScience firmasına ait olan, zemin ve kaya şevlerindeki dairesel veya dairesel olmayan yenilme yüzeylerinin yenilme olasılığının belirlenmesi ve aynı zamanda da belirlenmiş bu yenilme yüzeylerindeki güvenlik katsayılarının belirlenmesinde kullanılan 2 boyutlu bir şev stabilite analizi paket programıdır. Slide yazılımı Bishop, Janbu, GLE/Morgenstern-Price, Ordinary/Fellenius, Spencer, gibi bilim insanlarının önermiş olduğu düşey veya düşey olmayan dilimler için limit denge yaklaşımını kullanarak kayma yüzeylerinin stabilitesini analiz eder [31]. Bu çalışmada GLE/Morgenstern-Price analiz

sonuçları dikkate alınmıştır. Ancak diğer yöntemlerde hesaplamalar yapılmış olup elde edilen sonuçlar toplu çizelgeler ile beraber verilmiştir.

Slide yazılımı ile analizlere başlarken ilk adım olarak bazı ayarlamaların yapılması gerekmektedir. Yazılımın Analysis menüsünden Project Settings sekmesi açıldığında yenilme yönünün, analizleri yapılması istenen metotların, varsa yeraltı suyu durumunun ve tasarım standartlarının seçimleri yapılmalıdır.

İkinci adım ise şev geometrisinin oluşturulmasıdır. Bunun için Autocad yazılımı ile şev geometrisinin dış sınırları External Material, malzeme sınırları ise Internal Material Layer'ları ile oluşturularak File>Import>Import Dxf adımları izlenmiş ve Slide yazılımının içerisine şev geometrisini içeren dosyalar aktarılmıştır.

Üçüncü adım ise şevi oluşturan zeminin ve geogridlerin özelliklerinin yazılıma tanıtılması işlemidir. Bunun için yazılımın içerisinde Properties menüsünden Define Material sekmesine tıklanmış ve malzeme özellikleri tanımlanmıştır. Bu sekmenin içerisinde birim hacim ağırlık (γ), kohezyon (c) ve Phi (Φ) değerleri tanımlanır. Yine bu sekmenin içerisinden zeminler Mohr-Coulomb, kayalar için Hoek-Brown dayanım tipi seçilmiştir. Daha sonra ise yazılımın içerisinde Properties menüsünden Define Support sekmesine tıklanmış ve geogride ait özellikler tanımlanmıştır. Bu kısımda destek elemanı olarak Geotextile seçilmiştir. Kuvvet uygulaması ise geogridler için Pasif (Metod B) mod seçilmiştir. Daha sonra geogridlere ait çekme dayanımı parametreleri ile kopma parametreleri tanımlanmıştır.

Dördüncü adım olan son adımda ise Analysis sekmesinden Compute komutu çalıştırılmış ve şev stabilitesi analizleri uygun en kesitler için analizler yapılmıştır. Daha sonra Interpret komutu çalıştırılmış ve seçilen limit denge yaklaşımlarıyla güvenlik sayıları (G.S) elde edilmiştir. Bu çalışmalara ait şekiller ve çizelgeler aşağıda verilmiştir.

5.2.1. Lokasyon 2 bölgesi slide yazılımı ile şev stabilite analizleri

Daha önceki bölümlerde incelemesi yapılan Lokasyon 2 bölgesindeki geogrid donatılı istinat duvarının son analizi olarak da şev stabilite analizi yapılmıştır. Bu analizlerde kullanılan zemin ve geogrid parametreleri aşağıda Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2'de verilmiştir.

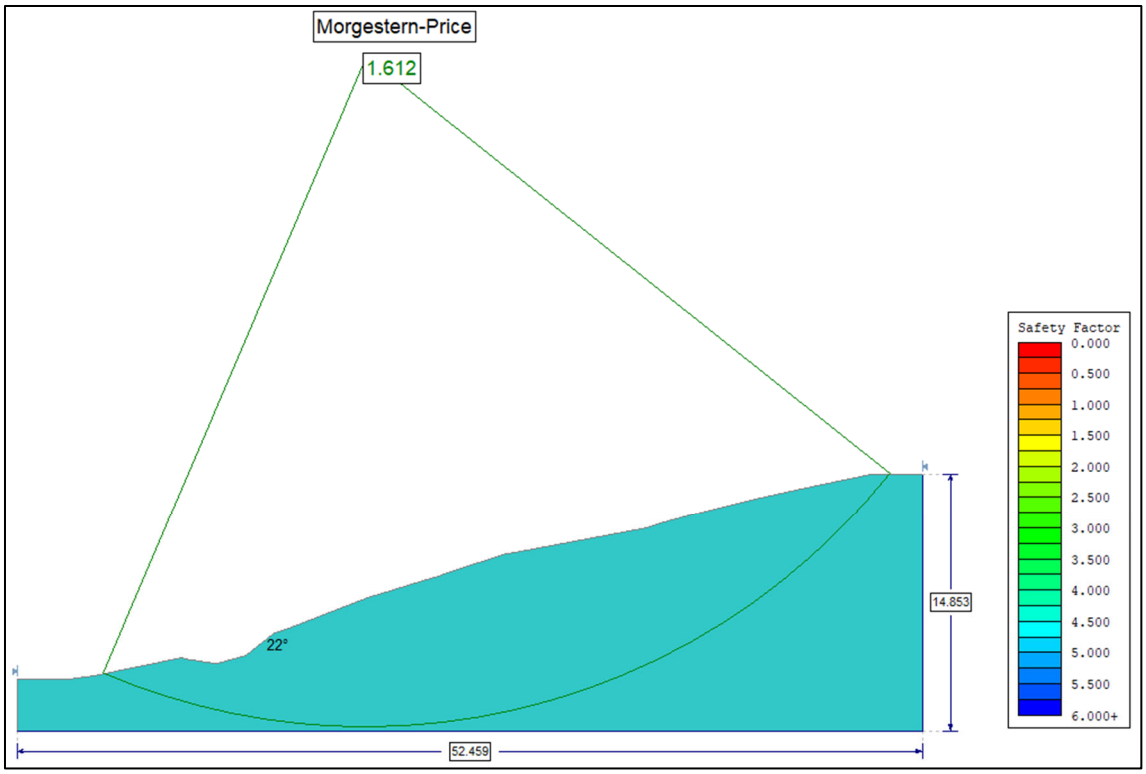
Tüm analizler bu Çizelge 5.1 ve Çizelge 5.2 de verilmiş olan parametrelere göre yapılmıştır. 3 no.'lu kesit üzerinden yapılan şev stabilitesi analiz sonuçları Şekil 5.4, Şekil 5.5, Şekil 5.6, Şekil 5.7, Şekil 5.8, Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da verilmiştir. Hesaplama için ilk olarak arazinin doğal hali kullanılmış daha sonra M1, M2, M3, M4 ve M5 olarak adlandırılmış dolgu malzemeleri kullanılarak hesaplamalar yapılarak ortaya çıkan yeni güvenlik katysalıları karşılaştırılmıştır. Yapılmış olan analizlerde Morgestern-Price metodu kullanılmıştır.

Material Name	Color	Unit Weight (kN/m3)	Strength Type	Cohesion (kPa)	Phi (deg)	UCS (kPa)	m	s	Water Surface	Ru
Marn		22	Hoek-Brown			3000	0.0471656	8.57494e-006	None	0
M6		17	Mohr-Coulomb	1	30				None	0
M5		18	Mohr-Coulomb	0	30				None	0
M4		20	Mohr-Coulomb	0	34				None	0
M3		19	Mohr-Coulomb	0	32				None	0
M2		19	Mohr-Coulomb	0	30				None	0
M1		19	Mohr-Coulomb	0	28				None	0

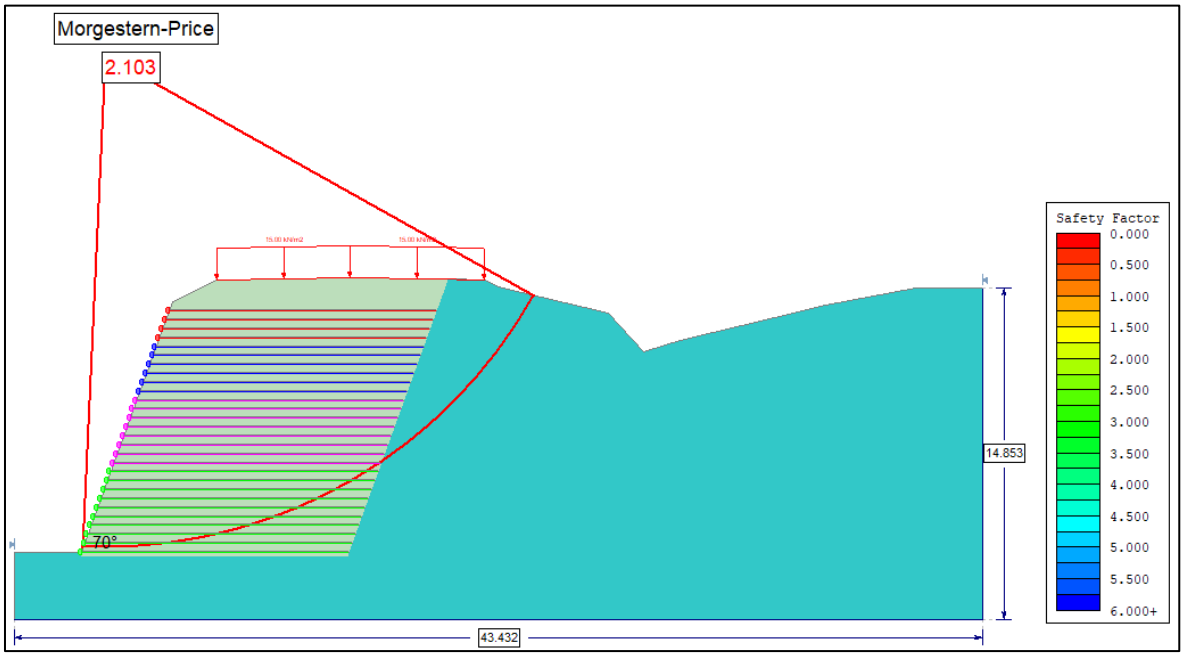
Şekil 5.4. Lokasyon 2 bölgesinde şev stabilite analizi için zemin parametreleri

Support Name	Color	Type	Force Application	Material Dependent	Adhesion (kPa)	Friction Angle (deg)	Shear Strength Model	Force Orientation	Anchorage	Strip Coverage (%)	Tensile Strength (kN/m)
TİP 2		GeoTextile	Passive (Method B)	No	6	36	Linear	Bisector of Parallel and Tangent	Slope Face	100	55
TİP 3		GeoTextile	Passive (Method B)	No	7	36	Linear	Bisector of Parallel and Tangent	Slope Face	100	80
TİP 1		GeoTextile	Passive (Method B)	No	5	36	Linear	Bisector of Parallel and Tangent	Slope Face	100	35
TİP 4		GeoTextile	Passive (Method B)	No	9	40	Linear	Bisector of Parallel and Tangent	Slope Face	100	110

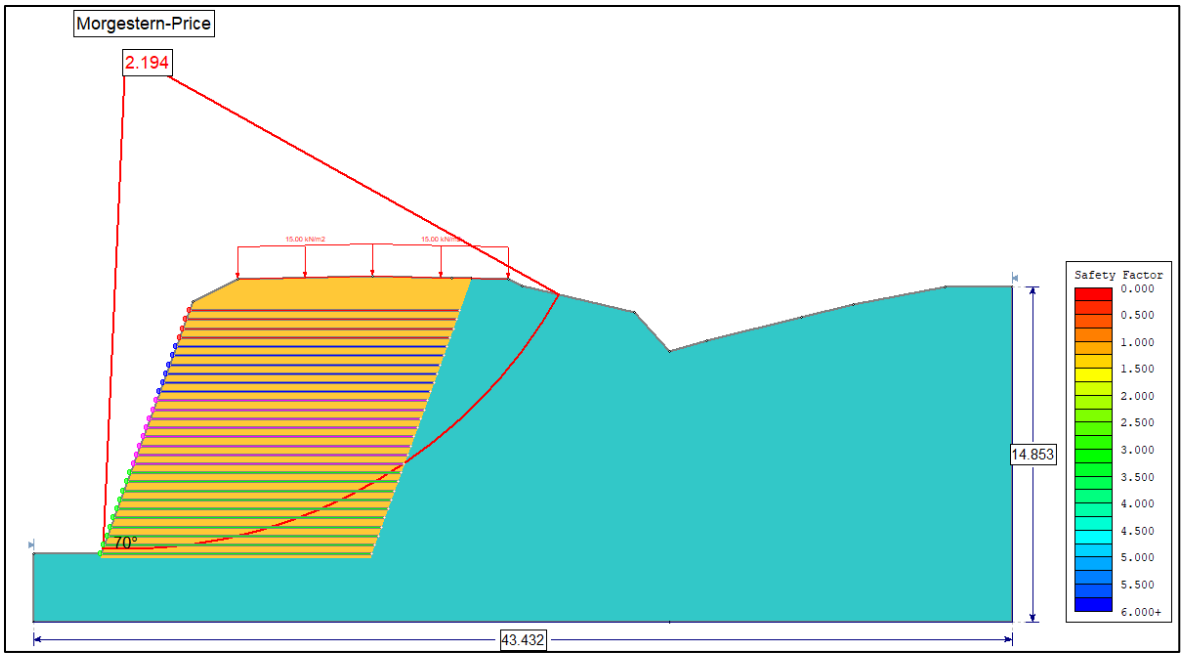
Şekil 5.5. Lokasyon 2 bölgesinde şev stabilite analizi için zemin parametreleri



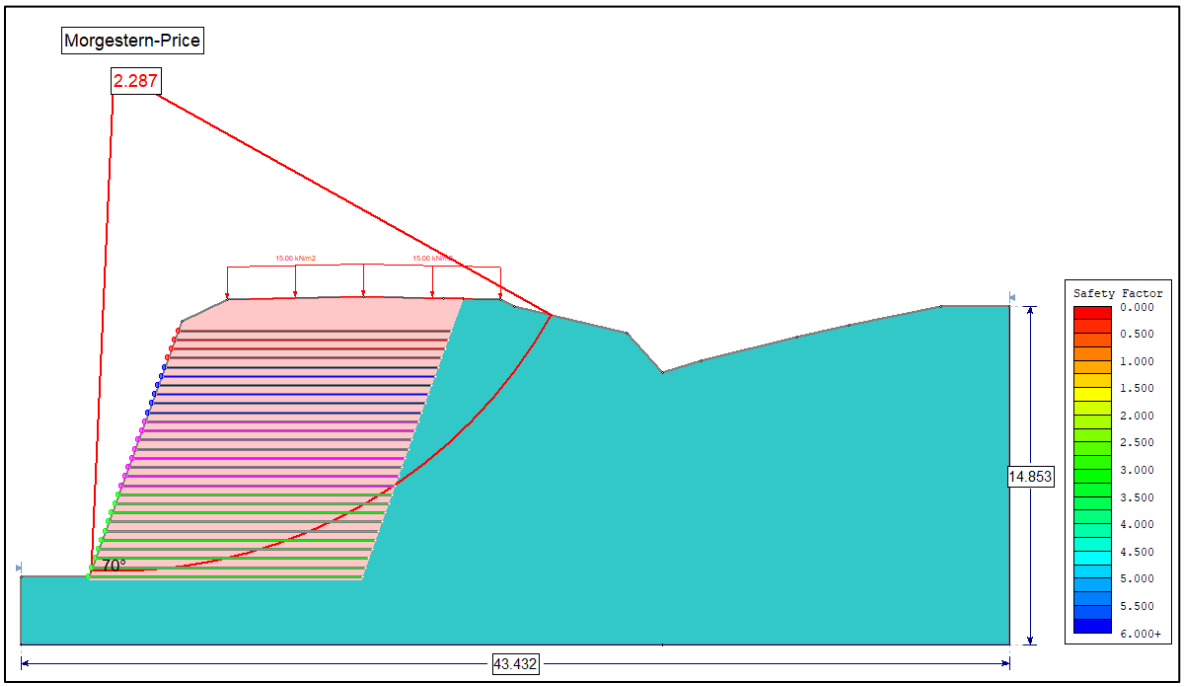
Şekil 5.6. Kesit 3'ün imalat öncesi analizi



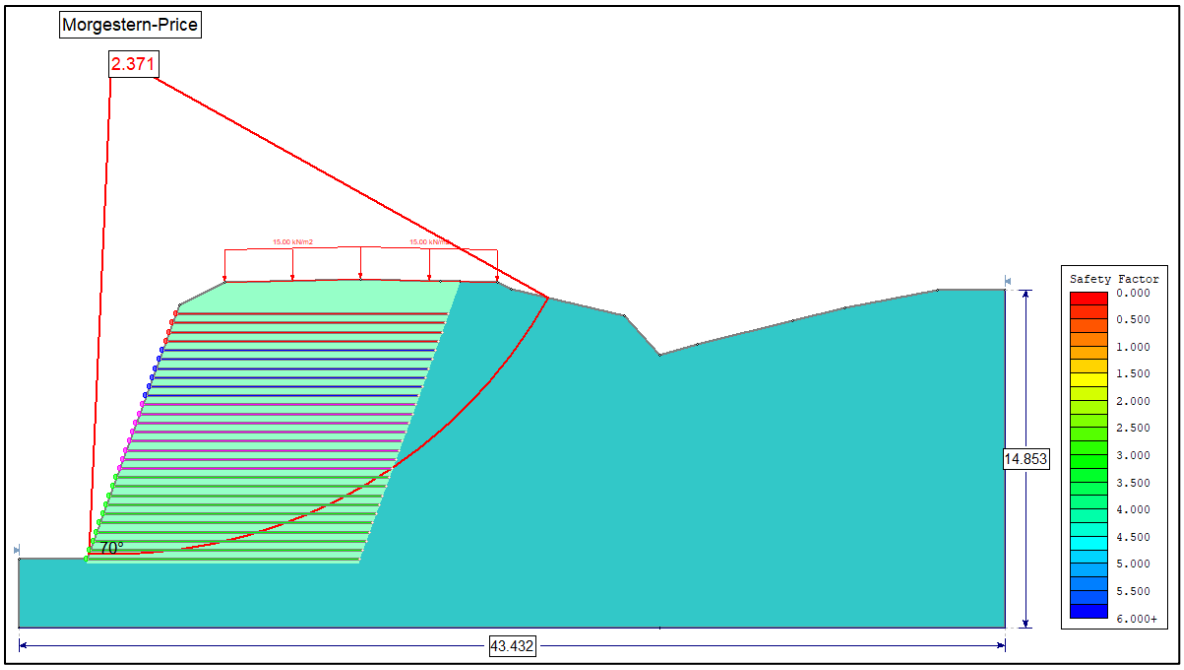
Şekil 5.7. Kesit 3'ün M1 için analizi



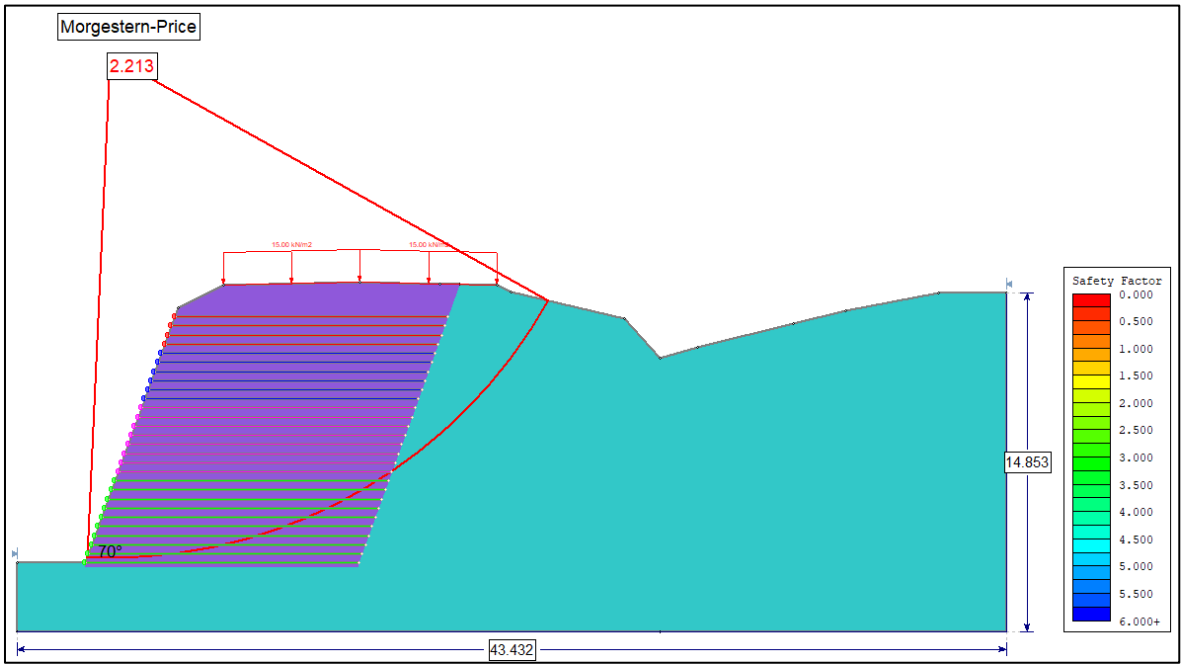
Şekil 5.8. Kesit 3'ün M2 için analizi



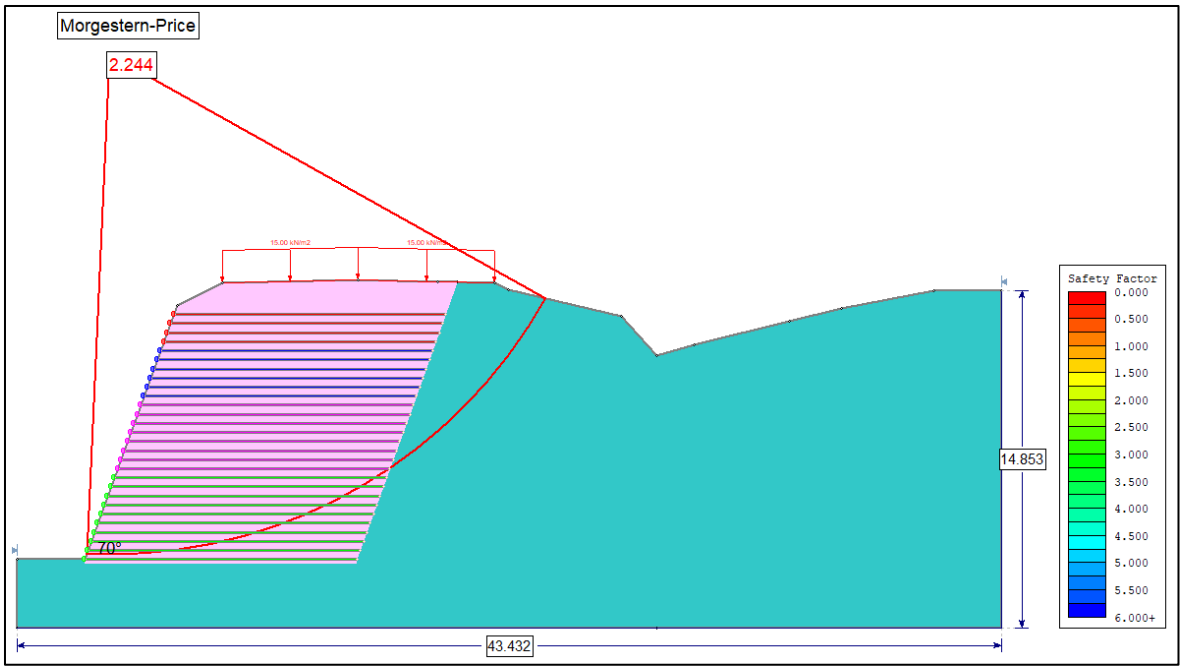
Şekil 5.9. Kesit 3'ün zemin M3 için analizi



Şekil 5.10. Kesit 3'ün zemin M4 için analizi



Şekil 5.11. Kesit 3'ün zemin M5 için analizi



Şekil 5.12. Kesit 3'ün zemin M6 için analizi

Lokasyon -2-			
KM	F.S İmalat Öncesi	F.S İmalat Sonrası	
	Morgenstern Price	Morgenstern Price	
36+600 KESİT 3	1.61	M1	2.10
		M2	2.19
		M3	2.29
		M4	2.37
		M5	2.21
		M6	2.24

Şekil 5.13. Lokasyon 2 Kesit 3'ün toplu şev stabilite analiz sonuçları

6. SONUÇ, BULGULAR VE DEĞERLENDİRME

6.1. Sonuç

Tez çalışmasına konu olan, gerekli hesap işlemlerinin yapılmasına olanak sağlayan, yapımı tamamlanmış ve hizmete açılmış bir karayolu güzergâhında bulunan, geosentetik ailesinden geogrid ile güçlendirilmiş istinat duvarlarına ait tasarım parametreleri kullanılarak, zemin parametrelerindeki değişimin geosentetik tasarımı üzerindeki etkileri bu tez çalışmasında detaylı olarak incelenmiştir. Geosentetik tasarımında, değerlendirme ölçütü olarak geogridin çekmeye ve kopmaya karşı güvenlik katsayısı dikkatte alınmıştır. Zemin parametreleri değiştiğinde geogridin çekmeye ve kopmaya karşı güvenlik katsayısının ne ölçüde değiştiği belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen bulgulara göre, geosentetik donatılı duvar tasarımında zemin parametrelerinin belirlenmesine gösterilen hassasiyetin önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır. Kurgusal olarak 6 farklı zemin parametresi seçilmiş ve seçilen bu parametrelerin her biri ile geogrid donatılı duvar tasarımı yapılmıştır. Oluşturulan her bir tasarım için geogridin çekmeye ve kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmış ve birbiri ile karşılaştırılmıştır.

6.1.1. İçsel sürtünme açısının kopmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki ektisi

İçsel sürtünme açısının kopmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, G1, G2, G3 ve G4 numaralı geogridler ile ϕ =28, 30, 32 ve 34° için hesaplanan güvenlik katsayıları Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de, sonuçların grafik şeklindeki sunumu ise Şekil 6.1, Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'te verilmiştir. Bu hesaplamalarda γ =19 kN/m^3 olarak alınmıştır. Hesaplamalar 0,4 m aralıklarla yapılmış olup, sunumda fazla yer kaplamaması için Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2'de seyreltilerek (0,8 m aralıklarla) sunulmuştur. Hesaplamaları içeren tüm sonuçlar ise ek kısmında tablolar halinde verilmiştir.

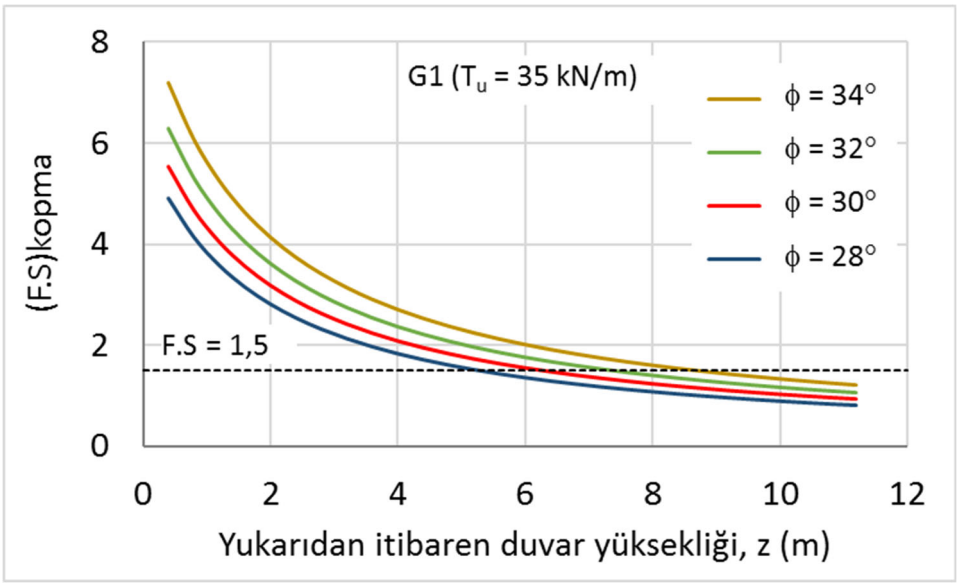
Çizelge 6.1. G1 geogridle (T_u = 35 kN/m) hesaplanan kopmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişimi ve değişim oranları

z (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı				Değişim Oranları		
	ϕ = 28°	ϕ = 30°	ϕ = 32°	ϕ = 34°	ϕ = 28°-30° arasında (%7,2)	ϕ = 28°-32° arasında (%14,3)	ϕ = 28°-34° arasında (%21,4)
0,40	4,9	5,5	6,3	7,2	11,6	28,5	46,6
1,20	3,6	4,0	4,6	5,2	11,6	28,5	46,6
2,00	2,8	3,2	3,6	4,1	11,6	28,5	46,6
2,80	2,3	2,6	3,0	3,4	11,6	28,5	46,6
3,60	2,0	2,2	2,5	2,9	11,6	28,5	46,6
4,40	1,7	1,9	2,2	2,5	11,6	28,5	46,6
5,20	1,5	1,7	2,0	2,2	11,6	28,5	46,6
6,00	1,4	1,5	1,8	2,0	11,6	28,5	46,6
6,80	1,2	1,4	1,6	1,8	11,6	28,5	46,6
7,60	1,1	1,3	1,5	1,7	11,6	28,5	46,6
8,40	1,0	1,2	1,3	1,5	11,6	28,5	46,6
9,20	1,0	1,1	1,2	1,4	11,6	28,5	46,6
10,00	0,9	1,0	1,2	1,3	11,6	28,5	46,6
10,80	0,8	1,0	1,1	1,2	11,6	28,5	46,6

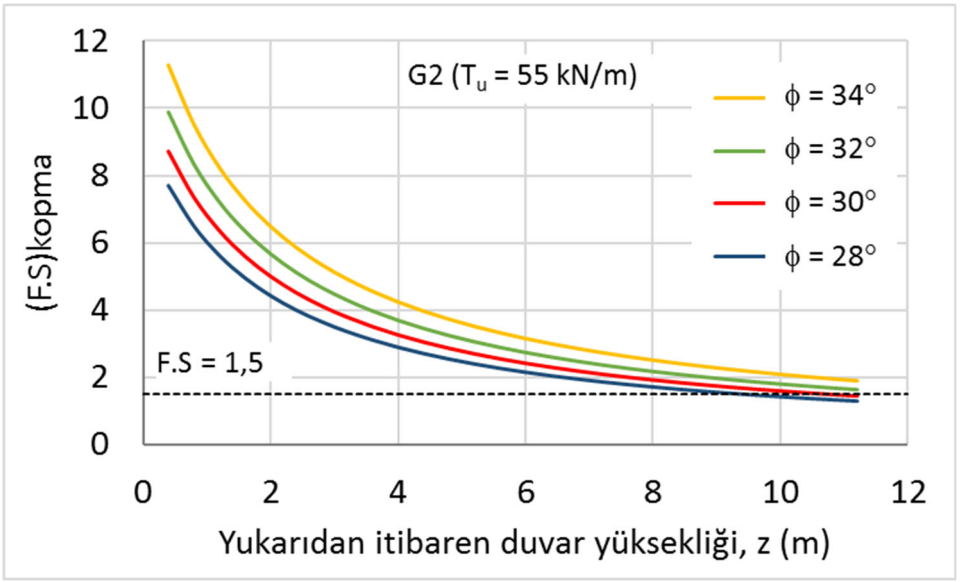
G2, G3 ve G4 geogridlerde de güvenlik katsayısının değişim oranları G1 geogridle aynı olduğu için Çizelge 6.2'de bu geogridlerin güvenlik katsayılarındaki değişim oranları tekrar sunulmamıştır.

Çizelge 6.2. G2, G3 ve G4 geogridlerle hesaplanan kopmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişimi

z (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı											
	T_u = 55 kN/m (G2) ve ϕ =				T_u = 80 kN/m (G3) ve ϕ =				T_u = 110 kN/m (G4) ve ϕ =			
	28°	30°	32°	34°	28°	30°	32°	34°	28°	30°	32°	34°
0,40	7,7	8,7	9,9	11,3	11,2	12,7	14,4	16,4	15,4	17,4	19,8	22,6
1,20	5,6	6,4	7,2	8,2	8,2	9,3	10,5	12,0	11,2	12,7	14,4	16,5
2,00	4,4	5,0	5,7	6,5	6,4	7,3	8,3	9,4	8,9	10,0	11,4	13,0
2,80	3,6	4,1	4,7	5,4	5,3	6,0	6,8	7,8	7,3	8,3	9,4	10,7
3,60	3,1	3,5	4,0	4,6	4,5	5,1	5,8	6,6	6,2	7,0	8,0	9,1
4,40	2,7	3,1	3,5	4,0	3,9	4,4	5,0	5,8	5,4	6,1	6,9	7,9
5,20	2,4	2,7	3,1	3,5	3,5	3,9	4,5	5,1	4,8	5,4	6,1	7,0
6,00	2,1	2,4	2,8	3,1	3,1	3,5	4,0	4,6	4,3	4,9	5,5	6,3
6,80	1,9	2,2	2,5	2,9	2,8	3,2	3,6	4,1	3,9	4,4	5,0	5,7
7,60	1,8	2,0	2,3	2,6	2,6	2,9	3,3	3,8	3,6	4,0	4,6	5,2
8,40	1,6	1,9	2,1	2,4	2,4	2,7	3,1	3,5	3,3	3,7	4,2	4,8
9,20	1,5	1,7	2,0	2,2	2,2	2,5	2,8	3,2	3,0	3,4	3,9	4,5
10,00	1,4	1,6	1,8	2,1	2,1	2,3	2,6	3,0	2,8	3,2	3,6	4,1
10,80	1,3	1,5	1,7	1,9	1,9	2,2	2,5	2,8	2,6	3,0	3,4	3,9

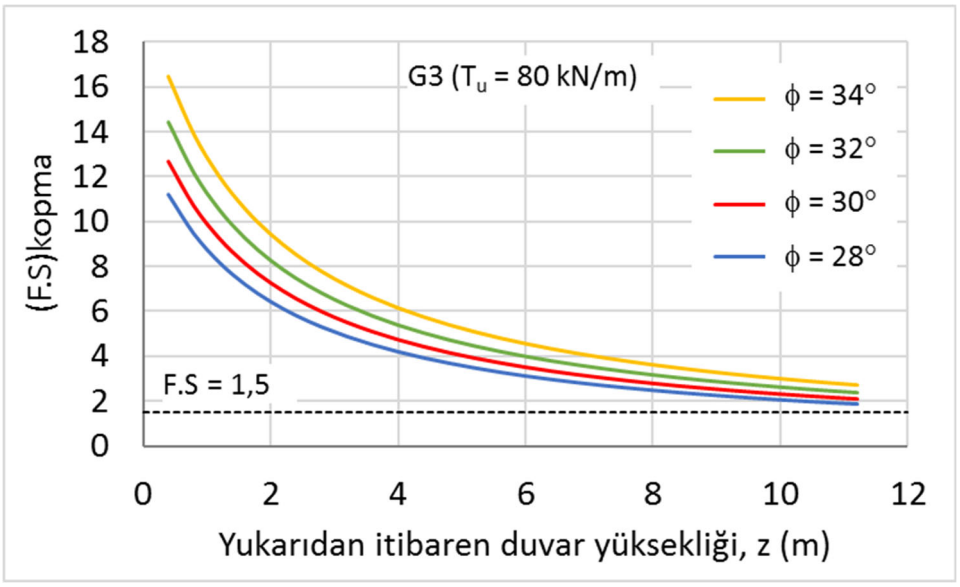


a)

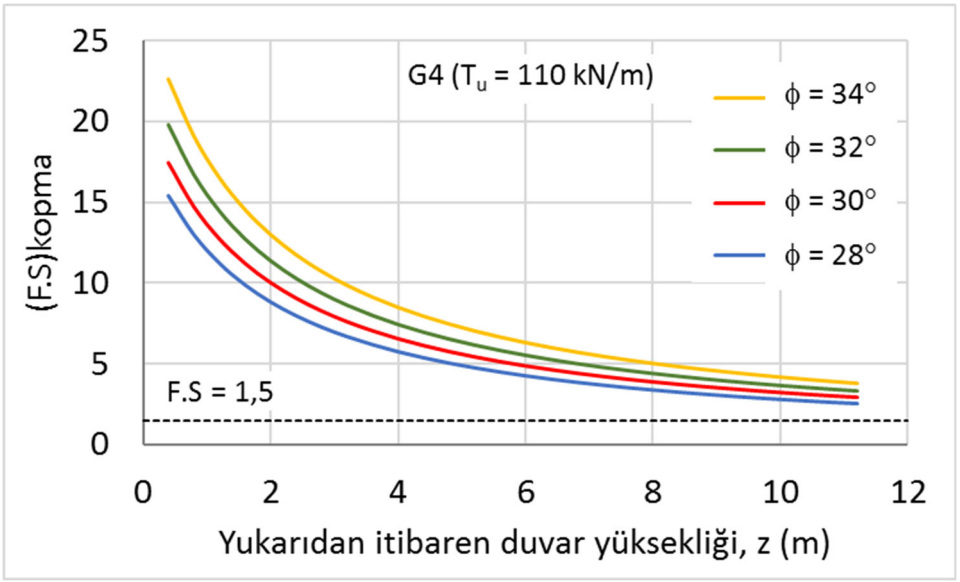


b)

Şekil 6.1. G1, G2, G3 ve G4 için kopmaya karşı güvenlik katsayısının duvar yüksekliğine ve içsel sürtünme açısına bağlı değişimi

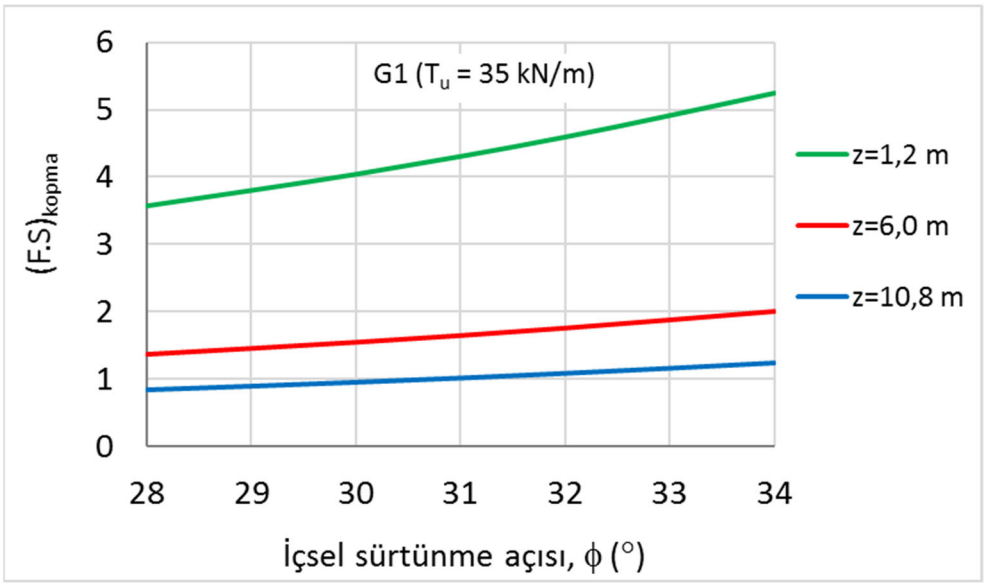


c)

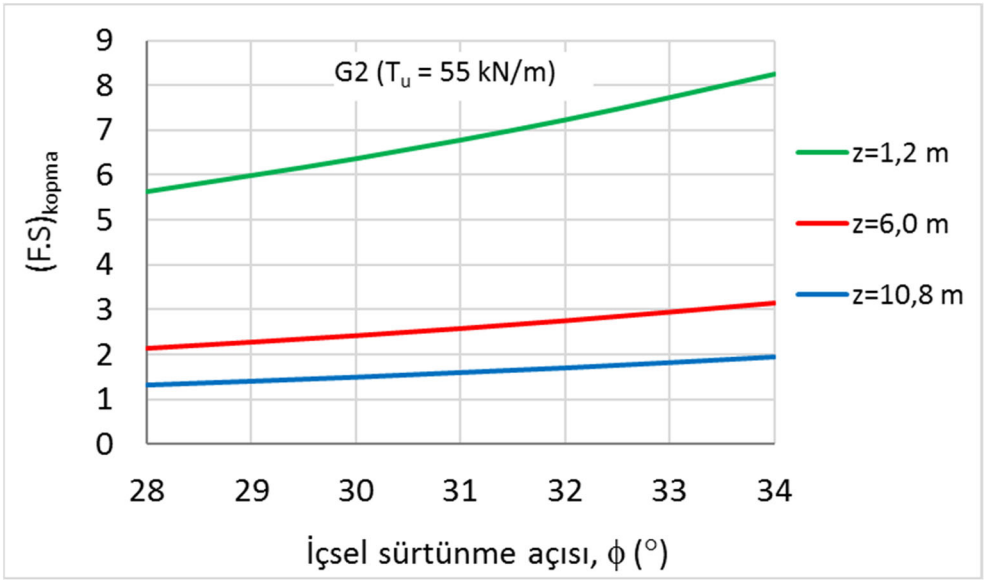


d)

Şekil 6.2. (devam) G1, G2, G3 ve G4 için kopmaya karşı güvenlik katsayısının duvar yüksekliğine ve içsel sürtünme açısına bağlı değişimi

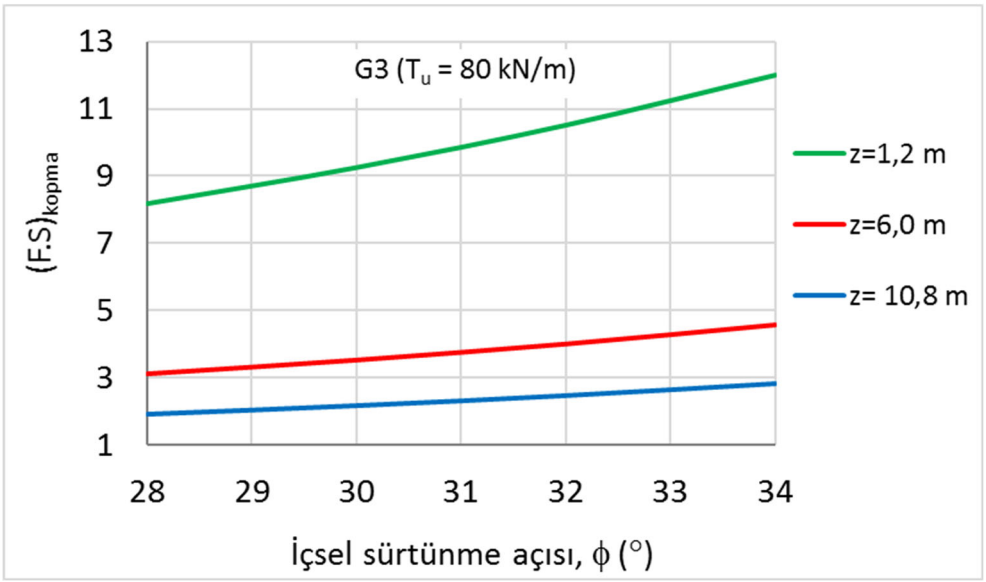


a)

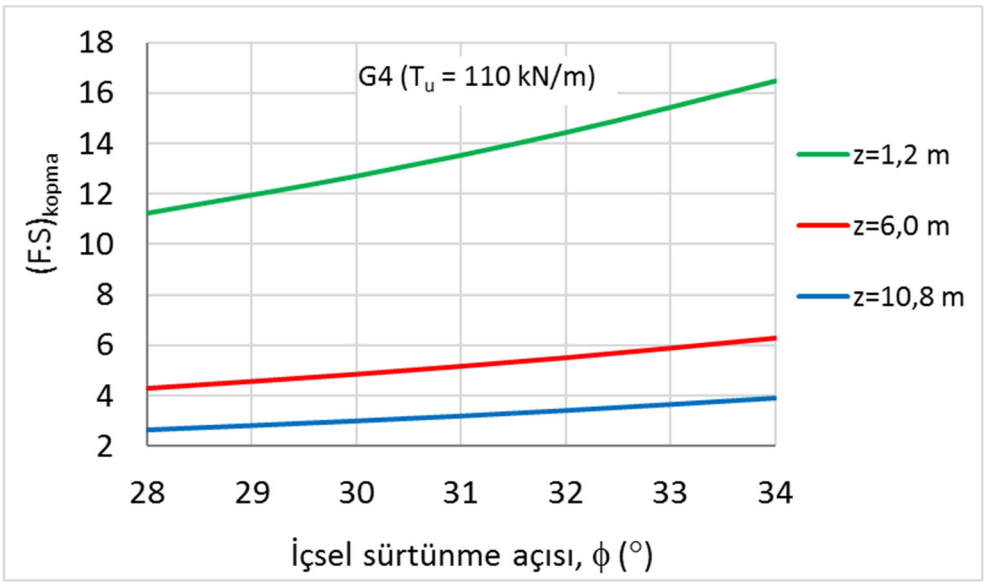


b)

Şekil 6.3. G1, G2, G3 ve G4 için bazı *z* derinlikleri için kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi

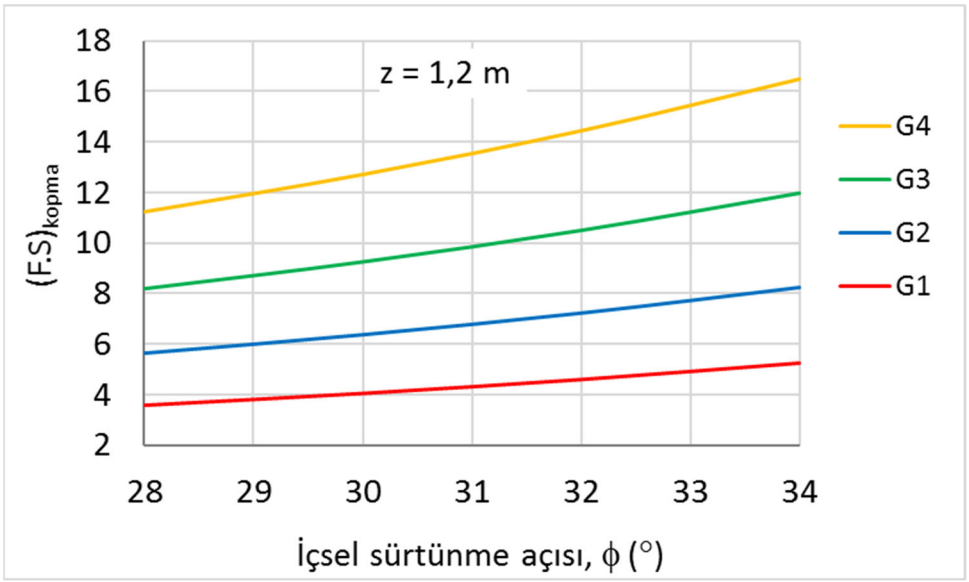


c)

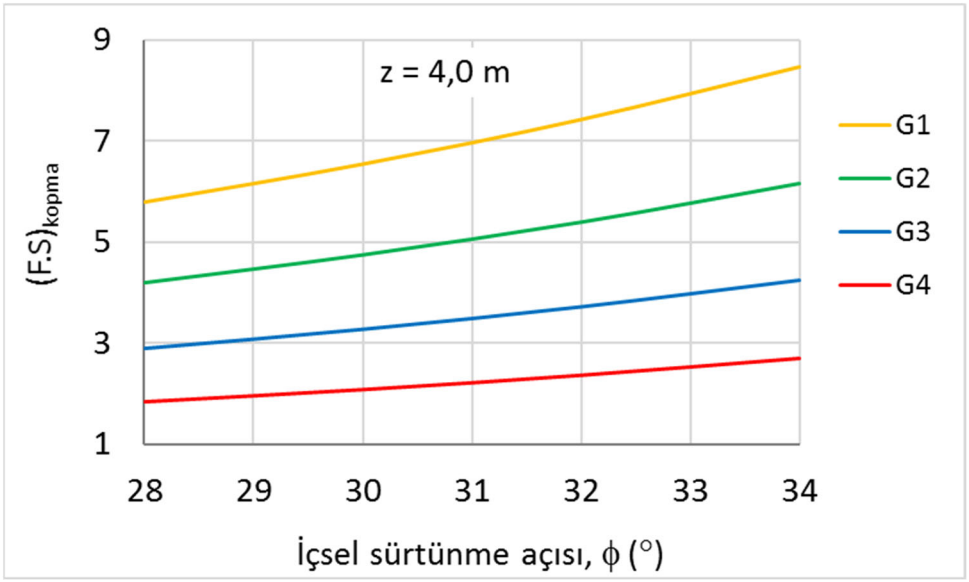


d)

Şekil 6.4. (devam) G1, G2, G3 ve G4 için bazı z derinlikleri için kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi

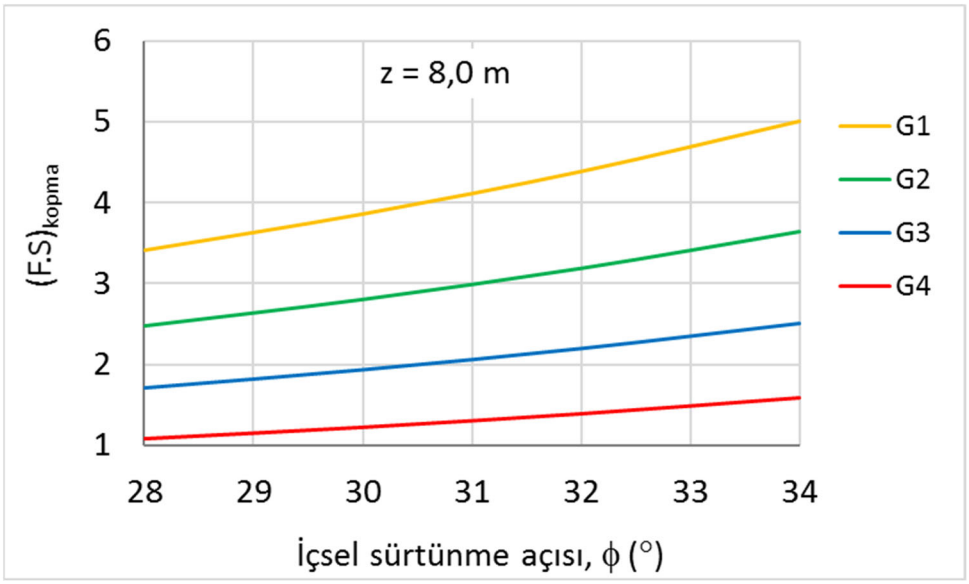


a)

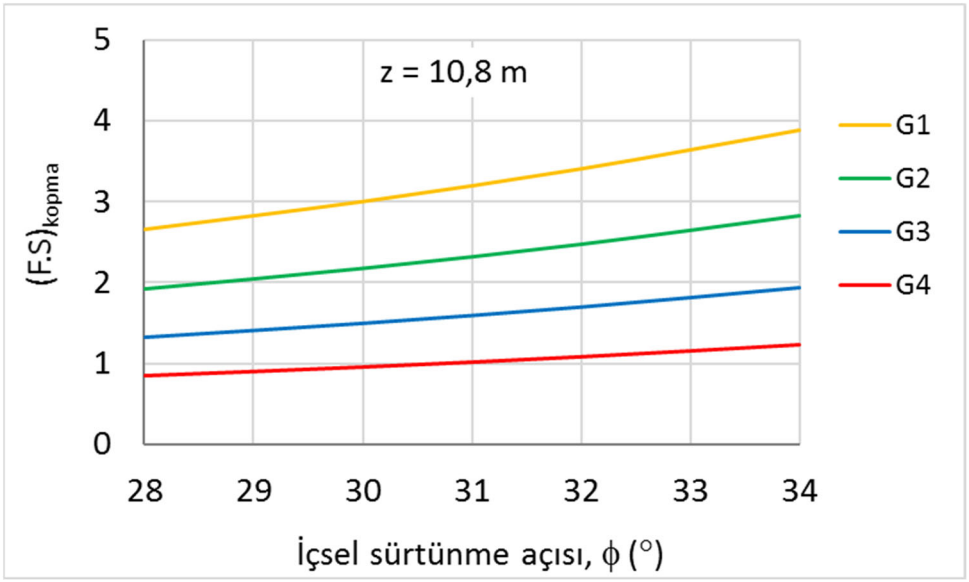


b)

Şekil 6.4. G1, G2, G3 ve G4 geogridlerinin dayanımına göre kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi



c)

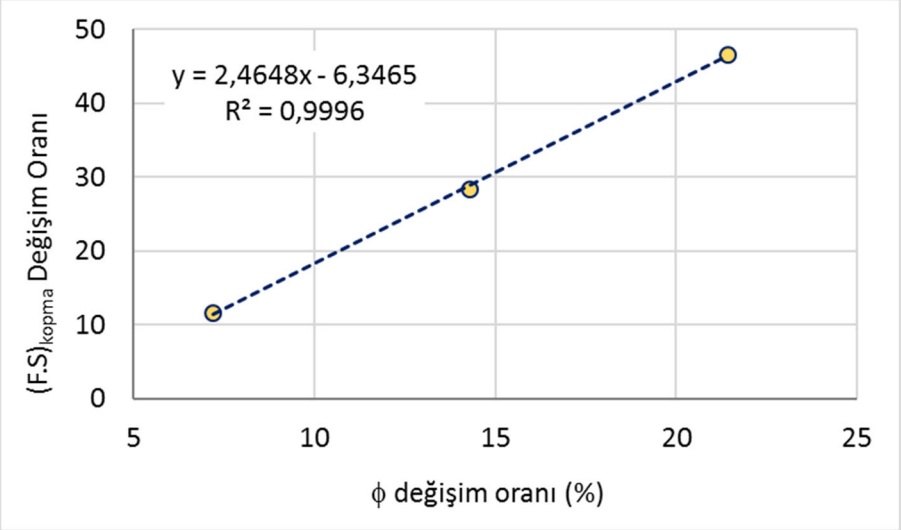


d)

Şekil 6.5. (devam) G1, G2, G3 ve G4 geogridlerinin dayanımına göre kopmaya karşı güvenlik katsayısının içsel sürtünme açısına bağlı değişimi

Duvar yüksekliği boyunca yukarıdan aşağıya doğru hesap derinliği (z mesafesi) arttıkça düşey efektif gerilmeler ve dolayısıyla geogride etki eden yatay çekme kuvvetleri de artmakta, bunun bir sonucu olarak da geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayıları derinlik boyunca azalmaktadır (Çizelge 6.1 ve Çizelge 6.2, Şekil 6.1). Ancak, kopmaya karşı güvenlik katsayıları derinlikle birlikte azalsa da içsel sürtünme açısının güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinin derinlikle birlikte değişmediği görülmüştür (Çizelge 6.1). Örneğin, G1 (T_u=35 kN/m) geogrid için yapılan hesaplamalar dikkate alındığında, z =1,2 m'de içsel

sürtünme açısı 28 dereceden 34 dereceye çıktığında (%21,4'lük bir artış) kopmaya karşı güvenlik katsayısı 3,6'dan 5,2'ye yükselmiştir (artış oranı %46,6). Aynı geogrid için z =10,8 m'de içsel sürtünme açısı %21,4 oranında (28°'den 34°'ye) arttığında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yine %46,6 oranında artarak 0,8'den 1,2'ye yükselmiştir (Çizelge 6.1). Diğer derinlikler için hesap yapıldığında, içsel sürtünme açısındaki %21,4'lük artış için güvenlik katsayısındaki artış oranının yine %46,6 olduğu görülmüştür. İçsel sürtünme açısının %7,2 ve %14,3 oranında artması ise kopmaya karşı güvenlik katsayılarında sırasıyla %11,6 ve %28,5'lik bir artışa neden olduğu görülmüştür (Çizelge 6.1). Çizelge 6.1'de görülen artış oranlarının, çekme dayanımları farklı diğer geogridler için de geçerli olduğu görülmüştür. Bu veriler kullanılarak, içsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasındaki ilişki grafik halinde Şekil 6.7'te sunulmuştur.



Şekil 6.6. İçsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasındaki ilişki

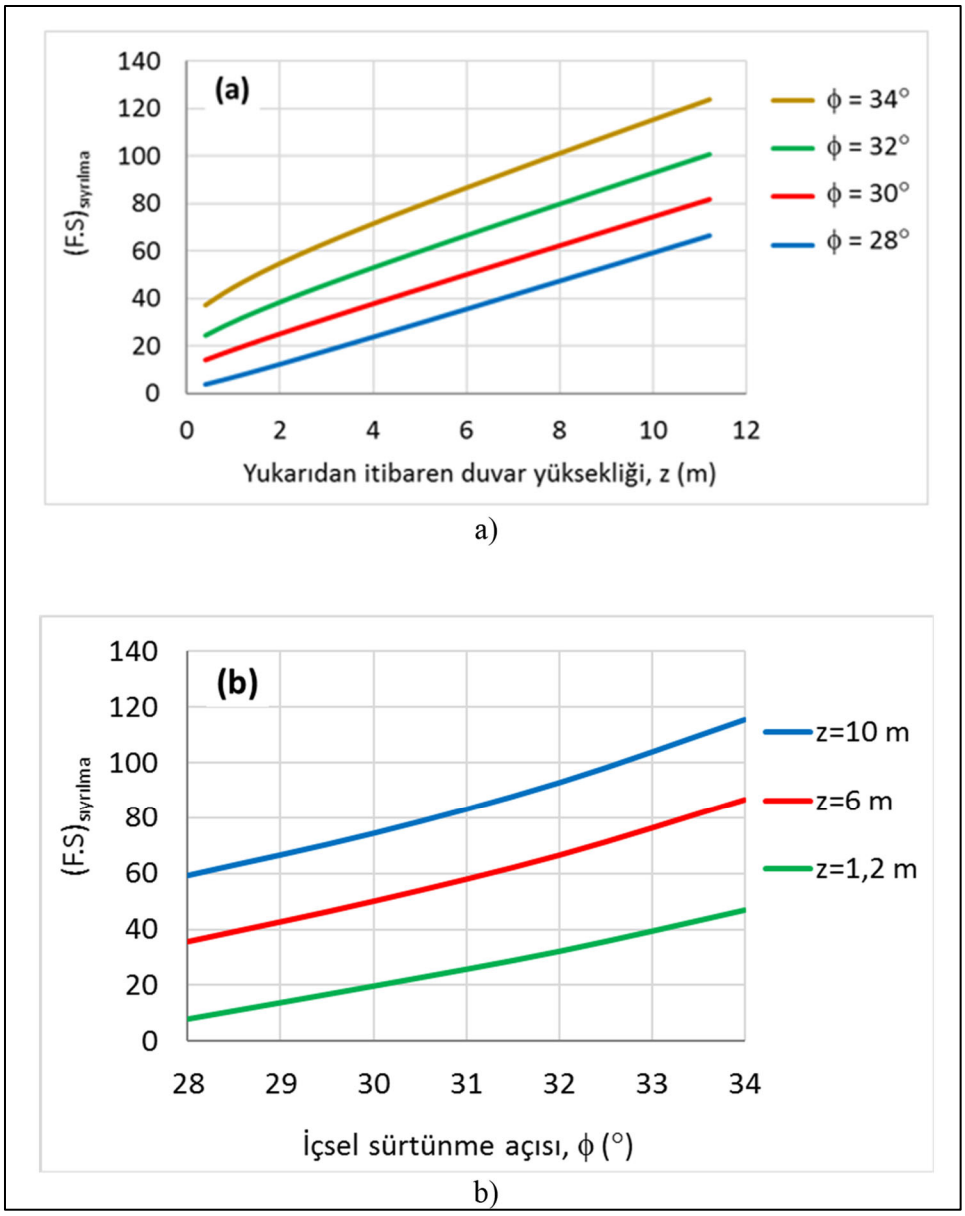
Şekil 6.7'den de görüleceği gibi, ϕ=28 – 34 gibi dar bir aralıkta, içsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasında hemen hemen doğrusal bir ilişki bulunmaktadır. Bu ilişkinin, hesap yapılan derinlik (z) ve tasarımda kullanılan geogridin nihai kopma dayanımından (T_u) bağımsız olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre, kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı içsel sürtünme açısındaki artış oranının yaklaşık 2 katı kadardır. Örneğin içsel sürtünme açısı %15 oranında arttığında kopmaya karşı güvenlik katsayısı %30 oranında artmaktadır (Şekil 6.7).

6.1.2. İçsel sürtünme açısının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki ektisi

İçsel sürtünme açısının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisini belirlemek için, ϕ =28, 30, 32 ve 34° için hesaplanan güvenlik katsayıları Çizelge 6.3'te ve Şekil 6.5'te sunulmuştur. Bu hesaplamalarda γ =19 kN/m^3 olarak alınmıştır. Hesaplamalar 0,4 m aralıklarla yapılmış olup, sunumda fazla yer kaplamaması için Çizelge 6.3'te seyreltilerek (0,8 m aralıklarla) sunulmuştur. Geogridin kopma dayanımının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerinde etkisi olmadığından Çizelge 6.3'te ve Şekil 6.5'te sunulan sonuçlar geogridin kopma dayanımından bağımsız olup, G1, G2, G3 ve G4 geogridlerin hepsi için geçerlidir.

Çizelge 6.3. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısı ile değişim ve değişimi

z (m)	Sıyrılmaya Karşı Güvenlik Katsayısı				Değişim Oranları		
	ϕ = 28°	ϕ = 30°	ϕ = 32°	ϕ = 34°	ϕ = 28°-30° arasında (%7,2)	ϕ = 28°-32° arasında (%14,3)	ϕ = 28°-34° arasında (%21,4)
0,40	4,0	14,1	24,6	37,0	254,1	518,9	831,4
1,20	8,1	19,8	32,2	46,8	144,2	296,6	477,3
2,00	12,5	25,1	3s8,6	54,7	100,7	208,7	337,2
2,80	17,1	30,3	44,6	61,8	77,5	161,5	262,1
3,60	21,7	35,3	50,3	68,3	62,9	132,2	215,3
4,40	26,3	40,3	55,9	74,6	53,0	112,1	183,4
5,20	31,0	45,2	61,3	80,7	45,8	97,5	160,2
6,00	35,7	50,2	66,6	86,7	40,4	86,5	142,5
6,80	40,5	55,1	71,9	92,5	36,1	77,8	128,7
7,60	45,2	59,9	77,2	98,3	32,6	70,8	117,5
8,40	49,9	64,8	82,4	104,1	29,8	65,0	108,4
9,20	54,7	69,7	87,6	109,8	27,4	60,2	100,7
10,00	59,4	74,5	92,8	115,4	25,3	56,1	94,1
10,80	64,2	79,4	98,0	121,1	23,6	52,6	88,5



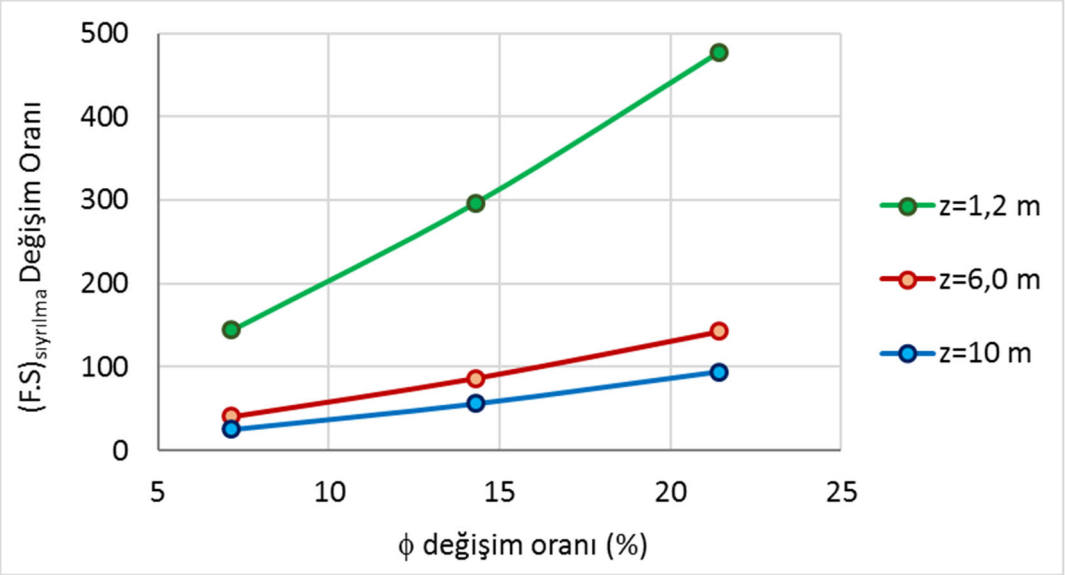
Şekil 6.7. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının; a) duvar yüksekliğine ve b) içsel sürtünme açısına bağlı değişimi

Yukarıdan aşağıya doğru hesap derinliği (z mesafesi) arttıkça geogridi sıkıştıran düşey gerilmeler de arttığı için buna bağlı olarak sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının da arttığı ve duvar tabanına doğru yaklaştıkça çok yüksek mertebelere ulaştığı görülmektedir (Çizelge 6.3, Şekil 6.5a). Örneğin ϕ =28° için yapılan hesaplarda, sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı duvarın en üst noktasında 4 olarak elde edilirken duvarın en alt noktasında ise 64,2 olarak elde edilmiştir (Çizelge 6.3). ϕ =30°, 32° ve 34° için elde edilen güvenlik katsayılarının daha da yüksek olduğu Çizelge 6.3'ten ve Şekil 6.5'ten görülmektedir.

İçsel sürtünme açısının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisini

değerlendirmek için duvar yüksekliği boyunca seçilen bazı *z* mesafeleri için içsel sürtünme açısıyla sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları arasındaki ilişki Şekil 6.5b'de sunulmuştur.

İçsel sürtünme açısına bağlı olarak sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranının derinlikle birlikte değiştiği de gözlenmiştir. Seçilen bazı derinlikler için, içsel sürtünme açısındaki değişim oranının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı üzerindeki etkisini gösteren grafikler Şekil 6.6'da sunulmuştur.



Şekil 6.8. İçsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla geogridin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasındaki ilişki

Şekil 6.6 incelendiğinde duvarın üst kısımlarında, sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının içsel sürtünme açısının değişim oranından daha fazla etkilendiği görülmektedir. Örneğin içsel sürtünme açısında %15'lik bir artış, sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısında, z=1,2 m'de yaklaşık %310, z=10 m'de ise yaklaşık %60'lik bir artışa neden olmuştur (Şekil 6.6).

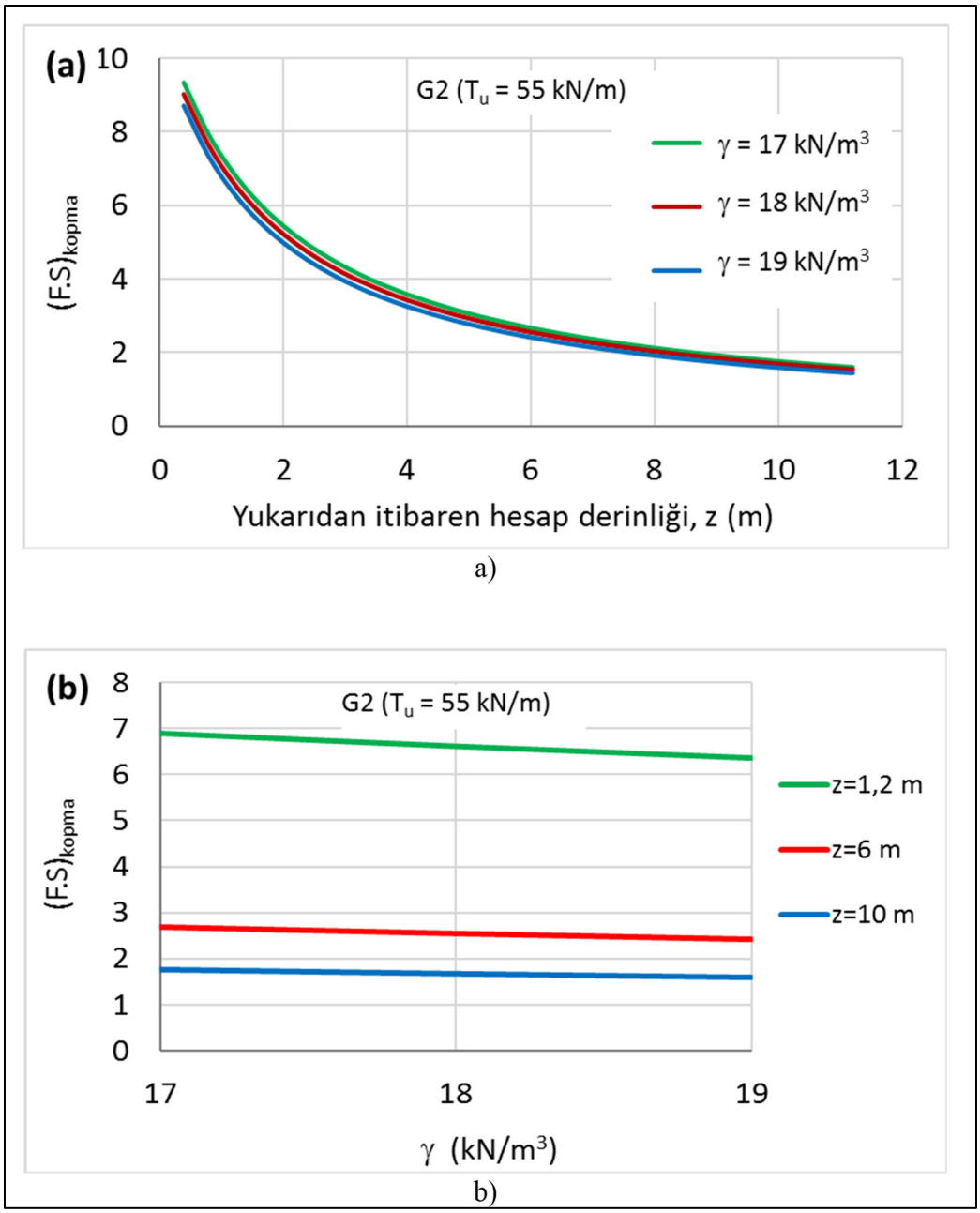
Yapılan analizler sonucunda sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının kopmaya karşı güvenlik katsayılarına kıyasla daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu bakımdan tasarım hesaplarında, kopmaya karşı güvenlik katsayısının daha kritik olduğu ve tasarımı kontrol eden asıl faktörün kopmaya karşı güvenlik katsayısı olduğu sonucuna varılmıştır. O nedenle, her ne kadar içsel sürtünme açısındaki değişimlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisi daha büyük olsa da, kopmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinin daha kritik olduğu değerlendirilmiştir.

6.1.3. Dolgunun birim hacim ağırlığının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki ektisi

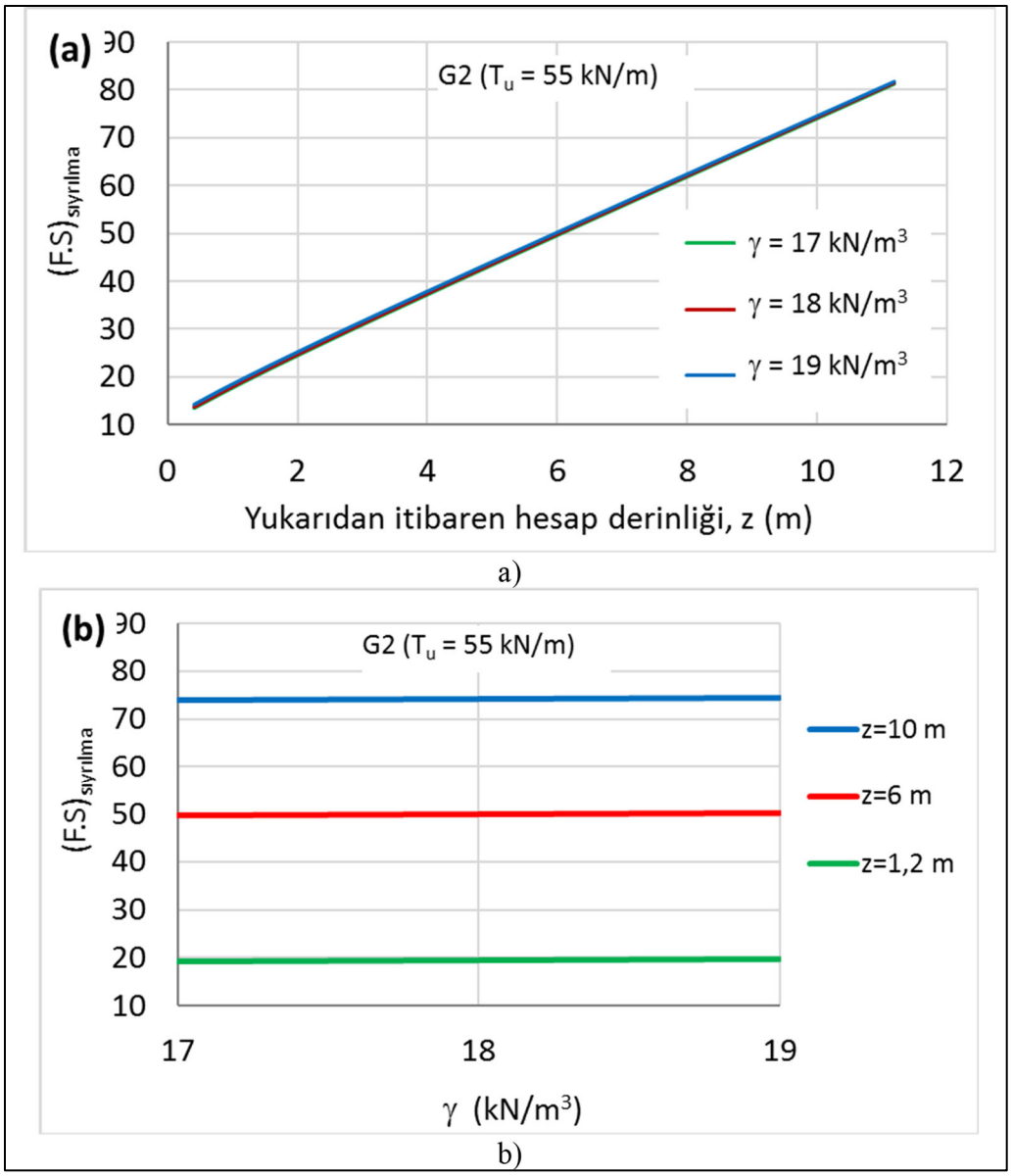
Dolgunun birim hacim ağırlığının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla, T_u = 55 kN/m (G2) ve ϕ=30° değerleri sabit tutularak γ =17, 18 ve 19 kN/m^3 için yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları Çizelge 7'de ve grafikler halinde Şekil 19-20'de sunulmuştur. Hesaplamalar 0,4 m aralıklarla yapılmış olup, sunumda fazla yer kaplamaması için Çizelge 6.4'te seyreltilerek (0,8 m aralıklarla) sunulmuştur.

Çizelge 6.4. G2 geogrid (T_u = 55 kN/m) ve ϕ=30° için hesaplanan kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının birim hacim ağırlık ile değişimi

z (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı			Sıyrılmaya Karşı Güvenlik Katsayısı		
	γ = 17 kN/m^3	γ = 18 kN/m^3	γ = 19 kN/m^3	γ = 17 kN/m^3	γ = 18 kN/m^3	γ = 19 kN/m^3
0,40	9,3	9,0	8,7	13,5	13,8	14,1
1,20	6,9	6,6	6,4	19,2	19,5	19,8
2,00	5,5	5,2	5,0	24,5	24,8	25,1
2,80	4,5	4,3	4,1	29,7	30,0	30,3
3,60	3,9	3,7	3,5	34,7	35,0	35,3
4,40	3,4	3,2	3,1	39,7	40,0	40,3
5,20	3,0	2,8	2,7	44,7	45,0	45,2
6,00	2,7	2,5	2,4	49,6	49,9	50,2
6,80	2,4	2,3	2,2	54,5	54,8	55,1
7,60	2,2	2,1	2,0	59,3	59,7	59,9
8,40	2,1	1,9	1,9	64,2	64,5	64,8
9,20	1,9	1,8	1,7	69,1	69,4	69,7
10,00	1,8	1,7	1,6	73,9	74,2	74,5
10,80	1,7	1,6	1,5	78,8	79,1	79,4



Şekil 6.9. G2 geogrid için hesaplanan kopmaya karşı güvenlik katsayısının; a) yukarıdan itibaren hesap derinliğine ve b) dolgunun birim hacim ağırlığına bağlı değişimi



Şekil 6.10. G2 geogrid için hesaplanan sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının; a) yukarıdan itibaren hesap derinliğine ve b) dolgunun birim hacim ağırlığına bağlı değişimi

Çizelge 6.4, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8'de verilen sonuçlar incelendiğinde, dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının sıyrılmaya ve kopmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin fazla olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte, birim hacim ağırlığın kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin derinlikle birlikte değiştiği ve dolgunun birim hacim ağırlığı arttıkça kopmaya karşı güvenlik katsayılarının az da olsa azaldığı, sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının ise az da olsa arttığı görülmüştür (Şekil 6.7b ve 6.8b, Çizelge 6.4). Örneğin, dolgunun birim hacim ağırlık değerindeki 1 kN/m^3'lük bir artış kopmaya karşı güvenlik katsayısında yaklaşık %4-5'lik bir azalmaya, 2 kN/m^3'lük bir artış ise yaklaşık %8-11'lik bir azalmaya neden olmuştur (Çizelge 6.4). Birim hacim

ağırlık değerinin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, birim hacim ağırlık değerindeki 1 kN/m^3'lük bir artışın sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısında yaklaşık % 0,4-%1,5'lik bir artışa, 2 kN/m^3'lük bir artışın ise yaklaşık % 0,8-%3,5'lik bir artışa neden olduğu görülmüştür (Çizelge 6.4). Elde edilen bu sonuçlara göre, tasarım hesaplarında güvenli tarafta kalmak için dolgunun birim hacim ağırlık değerinin mümkün olduğunca yüksek alınmasında (örneğin γ=19 kN/m^3) fayda olduğu değerlendirilmiştir.

6.2. Sonuç ve Değerlendirme

Bu çalışmada geogrid donatılı istinat duvarı yapımında kullanılan granüler dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının ve birim hacim ağırlığının geogridin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre;

- İçsel sürtünme açısındaki değişim oranıyla geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki değişim oranı arasında hemen hemen doğrusal bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Bu ilişkinin, hesap yapılan derinlikten ve tasarımda kullanılan geogridin nihai kopma dayanımından bağımsız olduğu görülmüştür.
- İçsel sürtünme açısı arttığında kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranının içsel sürtünme açısındaki artış oranından yaklaşık 2 kat daha fazla olduğu bulunmuştur.
- İçsel sürtünme açısındaki değişimlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinin kopmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisine kıyasla daha büyük olduğu görülmüştür.
- Kopmaya karşı güvenlik katsayılarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarına kıyasla daha düşük çıktığı görülmüştür. Bu bakımdan tasarım hesaplarında, kopmaya karşı güvenlik katsayısının daha kritik olduğu ve tasarımı kontrol eden asıl faktörün kopmaya karşı güvenlik katsayısı olduğu sonucuna varılmıştır. O nedenle, her ne kadar içsel sürtünme açısındaki değişimlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisi daha büyük olsa da, kopmaya karşı güvenlik katsayısı üzerindeki etkisinin daha kritik olduğu değerlendirilmiştir.
- Dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının sıyrılmaya ve kopmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin fazla olmadığı bulunmuştur.

KAYNAKLAR

1. Schlosser, F. and Bastick, M. (1991). Reinforced earth. In *Foundation engineering handbook*. Boston, MA: Springer, 778-795

2. Güler, E. (2014). *Geoteknik mühendisliğinde yeni bir devir başlatan malzeme: Geosenettikler.* Zemin mekaniği ve temel mühendisliği 15. Ulusal kongresi 2014, Ankara. 1-35

3. Alkaya D. ve Yeşil B. (2012). *Metal şerit ve Geosentetik Donatı Kullanılarak Oluşturulan Donatılı Zemin (Toprakarme) Yapıların Spreadsheet Kullanarak Analizi.* Uşak: Akademik Bilişim, 22-26.

4. Koerner, R. M. (2005). *Designing with Geosynthetics*, (Fifth Ed.), New Jersey: Prentice-Hall, Inc. 85-92.

5. Shukla, S. K., and Yin, J-H. (2006). *Fundamentals of Geosynthetic Engineering,* London: Taylor & Francis Group, 112-115.

6. İnternet: Amerikan Society of Testing and Materials. (2011). *ASTM D 4439-11*. Web: https://infostore.saiglobal.com/en-us/standards/astm-d-4439-2020-148831_saig_astm_astm_2801908/, Son Erişim Tarihi: 16.03.2023.

7. Özkol, O. (2006). *Geosentetik Donatılı İstinat Yapılarının Tasarımı*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 45-52.

8. İnternet: Lay Field Group. (2022). Web: https://www.layfieldgroup.com/knowledge-center/october-2019/what-is-the-difference-between-a-woven-and-nonwoven-geotextile.aspx, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

9. İnternet: Amerikan Society of Testing and Materials. (2011). *ASTM D 4439-15a,* Web: https://www.scribd.com/document/183861739/ASTM-D-4439-00-Standard-Terminology-for-Geosynthetics, Son Erişim Tarihi: 24.03.2023.

10. İnternet: Titanenviro. (2022). Web: https://titanenviro.com/products/soil-reinforcement-stabilization/base-reinforcement-geogrid/, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

11. Özer, M. (2017). Jeosentetikler ve mühendislik uygulamalarında kullanımları. *Yer Mühendisliği*, 4(8), 16-23.

12. İnternet: İndiamart. (2022). Web: https://www.indiamart.com/proddetail/bonded-geo-grid-17013979291.html, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

13. İnternet: Okorder. (2022). Web: https://www.okorder.com/p/fiberglass-woven-geogrid-for-reforcement_801125.html, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

14. İnternet: Tensarcorp. (2022). Web: https://www.tensarcorp.com/solutions/geogrids/triax, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

15. İnternet: İzofen. (2022). Web: https://www.izofen.com/hdpe-geomembran/, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

16. İnternet: Epsin Dustry. (2022). Web: http://epsindustry.org/other-applications/geofoam, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

17. İnternet: IGS. (2022). Web: https://www.igs.cz/images/zajimave_odkazy/IGS_Symbols.pdf, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

18. İnternet: İndiamart. (2022). Web: https://www.indiamart.com/proddetail/geocell-21554204291.html, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

19. Ergül, E. (2012). *Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Zemin Duvarlarının Statik Yükler Altındaki Davranışının İncelenmesi.* Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 95-102.

20. İnternet: Asphalt Road Systems. (2022). Web: http://www.asphaltroadsystems.com/geokompozitler.html, Son Erişim tarihi: 22.04.2022.

21. IGS (International Geosynthetic Society). (2009). *Recommended Descriptions of Geosynthetics Functions, Geosynthetics Terminology, Mathematical and Graphical Symbols*. (5th Edition). New York: CRC Press, 85-93.

22. Yılmaz, R. ve Eskisar, T. (2007). Geosentetik Ürünlerin Geoteknik Mühendisliği Sorunlarının Çözümünde Kullanımı ve Saglanan Faydalar. *2. Geoteknik Sempozyumu, Bildiriler Kitabı*. Adana: TMMOB, 12-18.

23. Tunç, A. (2002). *Yol Mühendisliginde Geoteknik ve Uygulamaları*. Ankara: Atlas Yayın Dagıtım, 78-82.

24. Shukla, S. K. (2002). *Geosynthetics and Their Applications.* London: Thomas Telford Ltd, 22-32.

25. Yılmaz, H., Eskişar, T. ve Aklık, P. (2005), Donatılı zemin uygulamaları kapsamında donatılı istinat duvarlarının tanıtımı ve sağladığı avantajlar üzerine bir inceleme. *İnşaat Mühendisler Odası, İzmir Şubesi Haber Bülteni*, 20-24.

26. İnternet: FHWA-SA-96-071. (1997). *Mechanically Stabilized Earth Walls Reinforced Soil Slopes Design and Construction Guidelines.* Web: https://ntrl.ntis.gov/NTRL/dashboard/searchResults/titleDetail/PB98106941.xhtml, Son Erişim Tarihi: 28.03.2023.

27. İnternet: FHWA. (2009). *FHWA-NHI-10-024 FHWA GEC 011 – Volume I Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes*. Web: https://vulcanhammernet.files.wordpress.com/2017/01/fhwa-nhi-00-043.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.03.2023.

28. Clayton, C. R. I., Milititsky, J. and Woods, R. I. (1993). *Earth Pressures and Earth Retaining Structures.* (Second Edition), New Zealand: Cbapman & Hall, Glasgow, 12-18.

29. İnternet: Berg, R. R., Christopher, B. R., and Samtani, N. C. (2009). "Design of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I", *FHWA-NHI-10-024*, Web: https://vulcanhammernet.files.wordpress.com/2017/01/fhwa-nhi-00-043.pdf, Son Erişim Tarihi: 18.03.2023.

30. Das, B.M. (2017). *Principles of Foundation Engineering*. (Ninth Edition). Kentucky: Cengage Learning, 45-52.

31. İnternet: Rocscience Inc. (1989-2002). *Slide User's Guide, 2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes.* Web: https://www.rocscience.com/downloads/slide/Slide_TutorialManual.pdf, Son Erişim Tarihi: 17.04.2023.

EKLER

EK-1. A) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G1-M1 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sry}$	1.5

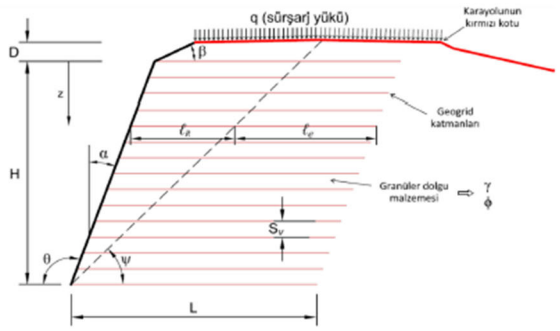
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	35 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	19.31 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	28.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.28
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.24

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.154	1.098 0.140
Yenilme düzleminin açısı	ψ	36 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sry}$
28	0.40	26.0	6.2	15	3.60	9.8	0.40	12.0	10.9	1.1	4.9	3.98
27	0.80	33.6	8.1	15	3.60	11.7	0.40	12.0	10.5	1.5	4.1	5.99
26	1.20	41.2	9.9	15	3.60	13.5	0.40	12.0	10.1	1.9	3.6	8.11
25	1.60	48.8	11.7	15	3.60	15.3	0.40	12.0	9.7	2.3	3.2	10.29
24	2.00	56.4	13.5	15	3.60	17.1	0.40	12.0	9.3	2.7	2.8	12.52
23	2.40	64.0	15.4	15	3.60	19.0	0.40	12.0	8.9	3.1	2.5	14.78
22	2.80	71.6	17.2	15	3.60	20.8	0.40	12.0	8.5	3.5	2.3	17.06
21	3.20	79.2	19.0	15	3.60	22.6	0.40	12.0	8.1	3.9	2.1	19.36
20	3.60	86.8	20.8	15	3.60	24.4	0.40	12.0	7.7	4.3	2.0	21.68
19	4.00	94.4	22.7	15	3.60	26.3	0.40	12.0	7.3	4.7	1.8	24.00
18	4.40	102.0	24.5	15	3.60	28.1	0.40	12.0	6.9	5.1	1.7	26.34
17	4.80	109.6	26.3	15	3.60	29.9	0.40	12.0	6.5	5.5	1.6	28.68
16	5.20	117.2	28.1	15	3.60	31.7	0.40	12.0	6.1	5.9	1.5	31.03
15	5.60	124.8	30.0	15	3.60	33.6	0.40	12.0	5.7	6.3	1.4	33.38
14	6.00	132.4	31.8	15	3.60	35.4	0.40	12.0	5.3	6.7	1.4	35.74
13	6.40	140.0	33.6	15	3.60	37.2	0.40	12.0	4.9	7.1	1.3	38.10
12	6.80	147.6	35.4	15	3.60	39.0	0.40	12.0	4.5	7.5	1.2	40.46
11	7.20	155.2	37.2	15	3.60	40.8	0.40	12.0	4.1	7.9	1.2	42.83
10	7.60	162.8	39.1	15	3.60	42.7	0.40	12.0	3.6	8.4	1.1	45.20
9	8.00	170.4	40.9	15	3.60	44.5	0.40	12.0	3.2	8.8	1.1	47.57
8	8.40	178.0	42.7	15	3.60	46.3	0.40	12.0	2.8	9.2	1.0	49.94
7	8.80	185.6	44.5	15	3.60	48.1	0.40	12.0	2.4	9.6	1.0	52.32
6	9.20	193.2	46.4	15	3.60	50.0	0.40	12.0	2.0	10.0	1.0	54.69
5	9.60	200.8	48.2	15	3.60	51.8	0.40	12.0	1.6	10.4	0.9	57.07
4	10.00	208.4	50.0	15	3.60	53.6	0.40	12.0	1.2	10.8	0.9	59.45
3	10.40	216.0	51.8	15	3.60	55.4	0.40	12.0	0.8	11.2	0.9	61.83
2	10.80	223.6	53.7	15	3.60	57.3	0.40	12.0	0.4	11.6	0.8	64.21
1	11.20	231.2	55.5	15	3.60	59.1	0.40	12.0	0.0	12.0	0.8	66.59

EK-1. (devam) B) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G1-M2 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

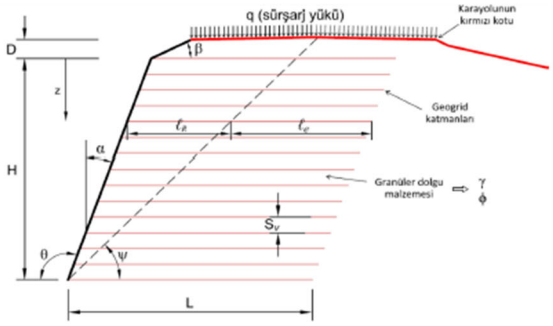
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	35 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	19.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_V	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.0	5.5	15	3.2	8.7	0.40	12.0	8.9	3.1	5.5	14.1
27	0.80	33.6	7.1	15	3.2	10.3	0.40	12.0	8.6	3.4	4.7	17.0
26	1.20	41.2	8.7	15	3.2	11.9	0.40	12.0	8.3	3.7	4.0	19.8
25	1.60	48.8	10.4	15	3.2	13.5	0.40	12.0	7.9	4.1	3.6	22.5
24	2.00	56.4	12.0	15	3.2	15.2	0.40	12.0	7.6	4.4	3.2	25.1
23	2.40	64.0	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	7.3	4.7	2.9	27.7
22	2.80	71.6	15.2	15	3.2	18.4	0.40	12.0	7.0	5.0	2.6	30.3
21	3.20	79.2	16.8	15	3.2	20.0	0.40	12.0	6.6	5.4	2.4	32.8
20	3.60	86.8	18.4	15	3.2	21.6	0.40	12.0	6.3	5.7	2.2	35.3
19	4.00	94.4	20.0	15	3.2	23.2	0.40	12.0	6.0	6.0	2.1	37.8
18	4.40	102.0	21.6	15	3.2	24.8	0.40	12.0	5.6	6.4	1.9	40.3
17	4.80	109.6	23.3	15	3.2	26.4	0.40	12.0	5.3	6.7	1.8	42.8
16	5.20	117.2	24.9	15	3.2	28.1	0.40	12.0	5.0	7.0	1.7	45.2
15	5.60	124.8	26.5	15	3.2	29.7	0.40	12.0	4.6	7.4	1.6	47.7
14	6.00	132.4	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	4.3	7.7	1.5	50.2
13	6.40	140.0	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	4.0	8.0	1.5	52.6
12	6.80	147.6	31.3	15	3.2	34.5	0.40	12.0	3.6	8.4	1.4	55.1
11	7.20	155.2	32.9	15	3.2	36.1	0.40	12.0	3.3	8.7	1.3	57.5
10	7.60	162.8	34.5	15	3.2	37.7	0.40	12.0	3.0	9.0	1.3	59.9
9	8.00	170.4	36.2	15	3.2	39.3	0.40	12.0	2.6	9.4	1.2	62.4
8	8.40	178.0	37.8	15	3.2	40.9	0.40	12.0	2.3	9.7	1.2	64.8
7	8.80	185.6	39.4	15	3.2	42.6	0.40	12.0	2.0	10.0	1.1	67.2
6	9.20	193.2	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	1.7	10.3	1.1	69.7
5	9.60	200.8	42.6	15	3.2	45.8	0.40	12.0	1.3	10.7	1.1	72.1
4	10.00	208.4	44.2	15	3.2	47.4	0.40	12.0	1.0	11.0	1.0	74.5
3	10.40	216.0	45.8	15	3.2	49.0	0.40	12.0	0.7	11.3	1.0	76.9
2	10.80	223.6	47.4	15	3.2	50.6	0.40	12.0	0.3	11.7	1.0	79.4
1	11.20	231.2	49.1	15	3.2	52.2	0.40	12.0	0.0	12.0	0.9	81.8

EK-1. (devam) C) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G1-M3 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

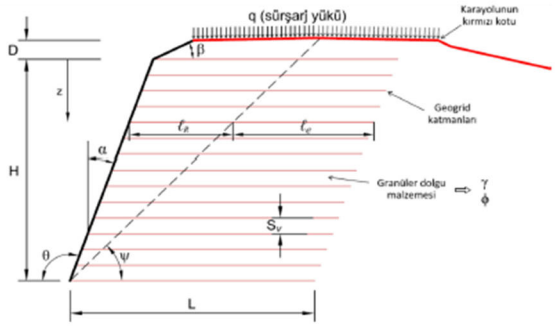
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	$K_{sün}$	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	35 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	19.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	32.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.33
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.19

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.212	1.093 0.194
Yenilme düzleminin açısı	ψ	43 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.0	4.9	15	2.8	7.7	0.40	12.0	7.7	4.3	6.3	24.6
27	0.80	33.6	6.3	15	2.8	9.1	0.40	12.0	7.4	4.6	5.3	28.6
26	1.20	41.2	7.7	15	2.8	10.5	0.40	12.0	7.1	4.9	4.6	32.2
25	1.60	48.8	9.1	15	2.8	11.9	0.40	12.0	6.8	5.2	4.0	35.5
24	2.00	56.4	10.5	15	2.8	13.3	0.40	12.0	6.5	5.5	3.6	38.6
23	2.40	64.0	12.0	15	2.8	14.8	0.40	12.0	6.2	5.8	3.3	41.7
22	2.80	71.6	13.4	15	2.8	16.2	0.40	12.0	6.0	6.0	3.0	44.6
21	3.20	79.2	14.8	15	2.8	17.6	0.40	12.0	5.7	6.3	2.7	47.5
20	3.60	86.8	16.2	15	2.8	19.0	0.40	12.0	5.4	6.6	2.5	50.3
19	4.00	94.4	17.6	15	2.8	20.4	0.40	12.0	5.1	6.9	2.4	53.1
18	4.40	102.0	19.1	15	2.8	21.9	0.40	12.0	4.8	7.2	2.2	55.9
17	4.80	109.6	20.5	15	2.8	23.3	0.40	12.0	4.5	7.5	2.1	58.6
16	5.20	117.2	21.9	15	2.8	24.7	0.40	12.0	4.3	7.7	2.0	61.3
15	5.60	124.8	23.3	15	2.8	26.1	0.40	12.0	4.0	8.0	1.8	64.0
14	6.00	132.4	24.7	15	2.8	27.5	0.40	12.0	3.7	8.3	1.8	66.6
13	6.40	140.0	26.2	15	2.8	29.0	0.40	12.0	3.4	8.6	1.7	69.3
12	6.80	147.6	27.6	15	2.8	30.4	0.40	12.0	3.1	8.9	1.6	71.9
11	7.20	155.2	29.0	15	2.8	31.8	0.40	12.0	2.8	9.2	1.5	74.6
10	7.60	162.8	30.4	15	2.8	33.2	0.40	12.0	2.6	9.4	1.5	77.2
9	8.00	170.4	31.8	15	2.8	34.6	0.40	12.0	2.3	9.7	1.4	79.8
8	8.40	178.0	33.2	15	2.8	36.1	0.40	12.0	2.0	10.0	1.3	82.4
7	8.80	185.6	34.7	15	2.8	37.5	0.40	12.0	1.7	10.3	1.3	85.0
6	9.20	193.2	36.1	15	2.8	38.9	0.40	12.0	1.4	10.6	1.2	87.6
5	9.60	200.8	37.5	15	2.8	40.3	0.40	12.0	1.1	10.9	1.2	90.2
4	10.00	208.4	38.9	15	2.8	41.7	0.40	12.0	0.9	11.1	1.2	92.8
3	10.40	216.0	40.3	15	2.8	43.1	0.40	12.0	0.6	11.4	1.1	95.4
2	10.80	223.6	41.8	15	2.8	44.6	0.40	12.0	0.3	11.7	1.1	98.0
1	11.20	231.2	43.2	15	2.8	46.0	0.40	12.0	0.0	12.0	1.0	100.5

EK-1. (devam) D) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G1-M4 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

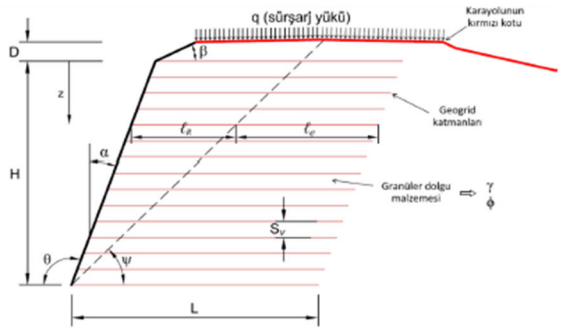
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_n	35 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	19.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	34.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.36
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.16

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ν − ϕ)		0.222	1.091 0.203
Yenilme düzleminin açısı	ψ	45 °	



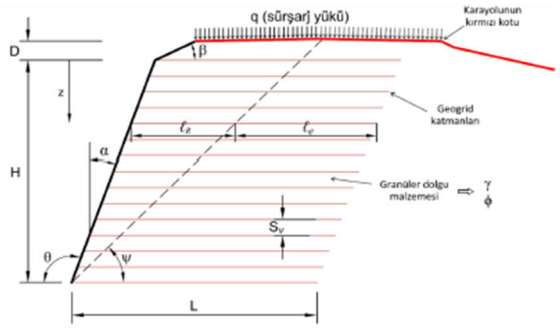
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.4	26.0	4.3	15	2.5	6.7	0.40	12.0	6.7	5.3	7.2	37.0
27	0.8	33.6	5.5	15	2.5	8.0	0.40	12.0	6.4	5.6	6.1	42.3
26	1.2	41.2	6.7	15	2.5	9.2	0.40	12.0	6.2	5.8	5.2	46.8
25	1.6	48.8	8.0	15	2.5	10.4	0.40	12.0	5.9	6.1	4.6	50.9
24	2.0	56.4	9.2	15	2.5	11.7	0.40	12.0	5.7	6.3	4.1	54.7
23	2.4	64.0	10.5	15	2.5	12.9	0.40	12.0	5.5	6.5	3.7	58.3
22	2.8	71.6	11.7	15	2.5	14.2	0.40	12.0	5.2	6.8	3.4	61.8
21	3.2	79.2	13.0	15	2.5	15.4	0.40	12.0	5.0	7.0	3.1	65.1
20	3.6	86.8	14.2	15	2.5	16.7	0.40	12.0	4.7	7.3	2.9	68.3
19	4.0	94.4	15.5	15	2.5	17.9	0.40	12.0	4.5	7.5	2.7	71.5
18	4.4	102.0	16.7	15	2.5	19.2	0.40	12.0	4.2	7.8	2.5	74.6
17	4.8	109.6	17.9	15	2.5	20.4	0.40	12.0	4.0	8.0	2.4	77.7
16	5.2	117.2	19.2	15	2.5	21.6	0.40	12.0	3.7	8.3	2.2	80.7
15	5.6	124.8	20.4	15	2.5	22.9	0.40	12.0	3.5	8.5	2.1	83.7
14	6.0	132.4	21.7	15	2.5	24.1	0.40	12.0	3.2	8.8	2.0	86.7
13	6.4	140.0	22.9	15	2.5	25.4	0.40	12.0	3.0	9.0	1.9	89.6
12	6.8	147.6	24.2	15	2.5	26.6	0.40	12.0	2.7	9.3	1.8	92.5
11	7.2	155.2	25.4	15	2.5	27.9	0.40	12.0	2.5	9.5	1.7	95.4
10	7.6	162.8	26.6	15	2.5	29.1	0.40	12.0	2.2	9.8	1.7	98.3
9	8.0	170.4	27.9	15	2.5	30.3	0.40	12.0	2.0	10.0	1.6	101.2
8	8.4	178.0	29.1	15	2.5	31.6	0.40	12.0	1.7	10.3	1.5	104.1
7	8.8	185.6	30.4	15	2.5	32.8	0.40	12.0	1.5	10.5	1.5	106.9
6	9.2	193.2	31.6	15	2.5	34.1	0.40	12.0	1.2	10.8	1.4	109.8
5	9.6	200.8	32.9	15	2.5	35.3	0.40	12.0	1.0	11.0	1.4	112.6
4	10.0	208.4	34.1	15	2.5	36.6	0.40	12.0	0.7	11.3	1.3	115.4
3	10.4	216.0	35.4	15	2.5	37.8	0.40	12.0	0.5	11.5	1.3	118.2
2	10.8	223.6	36.6	15	2.5	39.1	0.40	12.0	0.2	11.8	1.2	121.1
1	11.2	231.2	37.8	15	2.5	40.3	0.40	12.0	0.0	12.0	1.2	123.9

EK-1. (devam) E) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G1-M5 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	35 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	19.3 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	18 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.193 1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	24.7	5.2	15	3.2	8.4	0.40	12.0	8.9	3.1	5.7	13.8
27	0.80	31.9	6.8	15	3.2	9.9	0.40	12.0	8.6	3.4	4.9	16.7
26	1.20	39.1	8.3	15	3.2	11.5	0.40	12.0	8.3	3.7	4.2	19.5
25	1.60	46.3	9.8	15	3.2	13.0	0.40	12.0	7.9	4.1	3.7	22.2
24	2.00	53.5	11.3	15	3.2	14.5	0.40	12.0	7.6	4.4	3.3	24.8
23	2.40	60.7	12.9	15	3.2	16.1	0.40	12.0	7.3	4.7	3.0	27.4
22	2.80	67.9	14.4	15	3.2	17.6	0.40	12.0	7.0	5.0	2.7	30.0
21	3.20	75.1	15.9	15	3.2	19.1	0.40	12.0	6.6	5.4	2.5	32.5
20	3.60	82.3	17.5	15	3.2	20.6	0.40	12.0	6.3	5.7	2.3	35.0
19	4.00	89.5	19.0	15	3.2	22.2	0.40	12.0	6.0	6.0	2.2	37.5
18	4.40	96.7	20.5	15	3.2	23.7	0.40	12.0	5.6	6.4	2.0	40.0
17	4.80	103.9	22.0	15	3.2	25.2	0.40	12.0	5.3	6.7	1.9	42.5
16	5.20	111.1	23.6	15	3.2	26.7	0.40	12.0	5.0	7.0	1.8	45.0
15	5.60	118.3	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.6	7.4	1.7	47.4
14	6.00	125.5	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	4.3	7.7	1.6	49.9
13	6.40	132.7	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	4.0	8.0	1.5	52.3
12	6.80	139.9	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.6	8.4	1.5	54.8
11	7.20	147.1	31.2	15	3.2	34.4	0.40	12.0	3.3	8.7	1.4	57.2
10	7.60	154.3	32.7	15	3.2	35.9	0.40	12.0	3.0	9.0	1.3	59.7
9	8.00	161.5	34.3	15	3.2	37.4	0.40	12.0	2.6	9.4	1.3	62.1
8	8.40	168.7	35.8	15	3.2	39.0	0.40	12.0	2.3	9.7	1.2	64.5
7	8.80	175.9	37.3	15	3.2	40.5	0.40	12.0	2.0	10.0	1.2	67.0
6	9.20	183.1	38.8	15	3.2	42.0	0.40	12.0	1.7	10.3	1.1	69.4
5	9.60	190.3	40.4	15	3.2	43.5	0.40	12.0	1.3	10.7	1.1	71.8
4	10.00	197.5	41.9	15	3.2	45.1	0.40	12.0	1.0	11.0	1.1	74.2
3	10.40	204.7	43.4	15	3.2	46.6	0.40	12.0	0.7	11.3	1.0	76.7
2	10.80	211.9	44.9	15	3.2	48.1	0.40	12.0	0.3	11.7	1.0	79.1
1	11.20	219.1	46.5	15	3.2	49.7	0.40	12.0	0.0	12.0	1.0	81.5

EK-1. (devam) F) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G1-M6 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

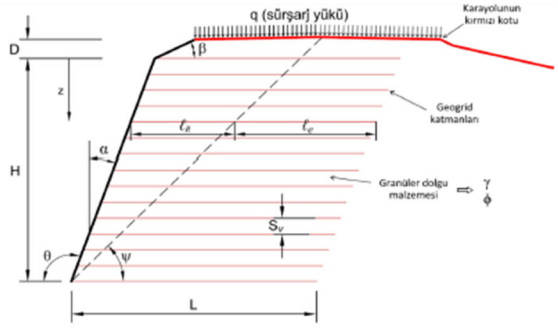
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	$K_{sün}$	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	35 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	19.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	17 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



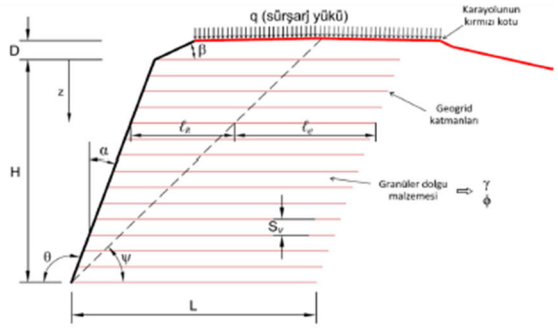
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	23.3	4.9	15	3.2	8.1	0.40	12.0	8.9	3.1	5.9	13.5
27	0.80	30.1	6.4	15	3.2	9.6	0.40	12.0	8.6	3.4	5.0	16.4
26	1.20	36.9	7.8	15	3.2	11.0	0.40	12.0	8.3	3.7	4.4	19.2
25	1.60	43.7	9.3	15	3.2	12.5	0.40	12.0	7.9	4.1	3.9	21.9
24	2.00	50.5	10.7	15	3.2	13.9	0.40	12.0	7.6	4.4	3.5	24.5
23	2.40	57.3	12.2	15	3.2	15.3	0.40	12.0	7.3	4.7	3.1	27.1
22	2.80	64.1	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	7.0	5.0	2.9	29.7
21	3.20	70.9	15.0	15	3.2	18.2	0.40	12.0	6.6	5.4	2.6	32.2
20	3.60	77.7	16.5	15	3.2	19.7	0.40	12.0	6.3	5.7	2.5	34.7
19	4.00	84.5	17.9	15	3.2	21.1	0.40	12.0	6.0	6.0	2.3	37.2
18	4.40	91.3	19.4	15	3.2	22.5	0.40	12.0	5.6	6.4	2.1	39.7
17	4.80	98.1	20.8	15	3.2	24.0	0.40	12.0	5.3	6.7	2.0	42.2
16	5.20	104.9	22.3	15	3.2	25.4	0.40	12.0	5.0	7.0	1.9	44.7
15	5.60	111.7	23.7	15	3.2	26.9	0.40	12.0	4.6	7.4	1.8	47.1
14	6.00	118.5	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.3	7.7	1.7	49.6
13	6.40	125.3	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	4.0	8.0	1.6	52.0
12	6.80	132.1	28.0	15	3.2	31.2	0.40	12.0	3.6	8.4	1.5	54.5
11	7.20	138.9	29.5	15	3.2	32.6	0.40	12.0	3.3	8.7	1.5	56.9
10	7.60	145.7	30.9	15	3.2	34.1	0.40	12.0	3.0	9.0	1.4	59.3
9	8.00	152.5	32.3	15	3.2	35.5	0.40	12.0	2.6	9.4	1.4	61.8
8	8.40	159.3	33.8	15	3.2	37.0	0.40	12.0	2.3	9.7	1.3	64.2
7	8.80	166.1	35.2	15	3.2	38.4	0.40	12.0	2.0	10.0	1.3	66.7
6	9.20	172.9	36.7	15	3.2	39.9	0.40	12.0	1.7	10.3	1.2	69.1
5	9.60	179.7	38.1	15	3.2	41.3	0.40	12.0	1.3	10.7	1.2	71.5
4	10.00	186.5	39.6	15	3.2	42.7	0.40	12.0	1.0	11.0	1.1	73.9
3	10.40	193.3	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	0.7	11.3	1.1	76.4
2	10.80	200.1	42.4	15	3.2	45.6	0.40	12.0	0.3	11.7	1.1	78.8
1	11.20	206.9	43.9	15	3.2	47.1	0.40	12.0	0.0	12.0	1.0	81.2

EK-1. (devam) G) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G2-M1 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	$K_{sün}$	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	55 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	30.3 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	28.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.28
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.24
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeylnin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.154 1.098 0.140
Yenilme düzleminin açısı	ψ	36 °



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	6.2	15	3.6	9.8	0.40	12.0	10.94	1.06	7.7	4.0
27	0.80	33.63	8.1	15	3.6	11.7	0.40	12.0	10.53	1.47	6.5	6.0
26	1.20	41.23	9.9	15	3.6	13.5	0.40	12.0	10.13	1.87	5.6	8.1
25	1.60	48.83	11.7	15	3.6	15.3	0.40	12.0	9.72	2.28	5.0	10.3
24	2.00	56.43	13.5	15	3.6	17.1	0.40	12.0	9.32	2.68	4.4	12.5
23	2.40	64.03	15.4	15	3.6	19.0	0.40	12.0	8.91	3.09	4.0	14.8
22	2.80	71.63	17.2	15	3.6	20.8	0.40	12.0	8.51	3.49	3.6	17.1
21	3.20	79.23	19.0	15	3.6	22.6	0.40	12.0	8.10	3.90	3.4	19.4
20	3.60	86.83	20.8	15	3.6	24.4	0.40	12.0	7.70	4.30	3.1	21.7
19	4.00	94.43	22.7	15	3.6	26.3	0.40	12.0	7.29	4.71	2.9	24.0
18	4.40	102.03	24.5	15	3.6	28.1	0.40	12.0	6.89	5.11	2.7	26.3
17	4.80	109.63	26.3	15	3.6	29.9	0.40	12.0	6.48	5.52	2.5	28.7
16	5.20	117.23	28.1	15	3.6	31.7	0.40	12.0	6.08	5.92	2.4	31.0
15	5.60	124.83	30.0	15	3.6	33.6	0.40	12.0	5.67	6.33	2.3	33.4
14	6.00	132.43	31.8	15	3.6	35.4	0.40	12.0	5.27	6.73	2.1	35.7
13	6.40	140.03	33.6	15	3.6	37.2	0.40	12.0	4.86	7.14	2.0	38.1
12	6.80	147.63	35.4	15	3.6	39.0	0.40	12.0	4.46	7.54	1.9	40.5
11	7.20	155.23	37.2	15	3.6	40.8	0.40	12.0	4.05	7.95	1.9	42.8
10	7.60	162.83	39.1	15	3.6	42.7	0.40	12.0	3.65	8.35	1.8	45.2
9	8.00	170.43	40.9	15	3.6	44.5	0.40	12.0	3.24	8.76	1.7	47.6
8	8.40	178.03	42.7	15	3.6	46.3	0.40	12.0	2.84	9.16	1.6	49.9
7	8.80	185.63	44.5	15	3.6	48.1	0.40	12.0	2.43	9.57	1.6	52.3
6	9.20	193.23	46.4	15	3.6	50.0	0.40	12.0	2.03	9.97	1.5	54.7
5	9.60	200.83	48.2	15	3.6	51.8	0.40	12.0	1.62	10.38	1.5	57.1
4	10.00	208.43	50.0	15	3.6	53.6	0.40	12.0	1.22	10.78	1.4	59.4
3	10.40	216.03	51.8	15	3.6	55.4	0.40	12.0	0.81	11.19	1.4	61.8
2	10.80	223.63	53.7	15	3.6	57.3	0.40	12.0	0.41	11.59	1.3	64.2
1	11.20	231.23	55.5	15	3.6	59.1	0.40	12.0	0.00	12.00	1.3	66.6

EK-1. (devam) H) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G2-M2 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

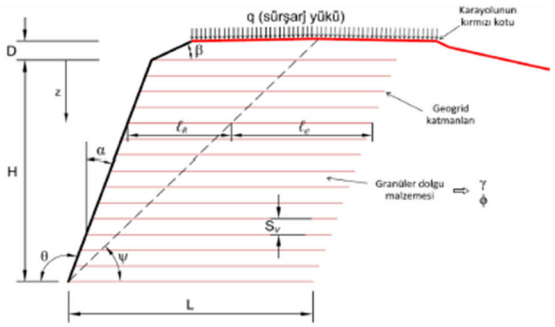
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	55 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	30.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeylinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	5.5	15	3.2	8.7	0.40	12.0	8.94	3.06	8.7	14.1
27	0.80	33.63	7.1	15	3.2	10.3	0.40	12.0	8.61	3.39	7.4	17.0
26	1.20	41.23	8.7	15	3.2	11.9	0.40	12.0	8.28	3.72	6.4	19.8
25	1.60	48.83	10.4	15	3.2	13.5	0.40	12.0	7.95	4.05	5.6	22.5
24	2.00	56.43	12.0	15	3.2	15.2	0.40	12.0	7.62	4.38	5.0	25.1
23	2.40	64.03	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	7.29	4.71	4.5	27.7
22	2.80	71.63	15.2	15	3.2	18.4	0.40	12.0	6.96	5.04	4.1	30.3
21	3.20	79.23	16.8	15	3.2	20.0	0.40	12.0	6.62	5.38	3.8	32.8
20	3.60	86.83	18.4	15	3.2	21.6	0.40	12.0	6.29	5.71	3.5	35.3
19	4.00	94.43	20.0	15	3.2	23.2	0.40	12.0	5.96	6.04	3.3	37.8
18	4.40	102.03	21.6	15	3.2	24.8	0.40	12.0	5.63	6.37	3.1	40.3
17	4.80	109.63	23.3	15	3.2	26.4	0.40	12.0	5.30	6.70	2.9	42.8
16	5.20	117.23	24.9	15	3.2	28.1	0.40	12.0	4.97	7.03	2.7	45.2
15	5.60	124.83	26.5	15	3.2	29.7	0.40	12.0	4.64	7.36	2.6	47.7
14	6.00	132.43	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	4.31	7.69	2.4	50.2
13	6.40	140.03	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.97	8.03	2.3	52.6
12	6.80	147.63	31.3	15	3.2	34.5	0.40	12.0	3.64	8.36	2.2	55.1
11	7.20	155.23	32.9	15	3.2	36.1	0.40	12.0	3.31	8.69	2.1	57.5
10	7.60	162.83	34.5	15	3.2	37.7	0.40	12.0	2.98	9.02	2.0	59.9
9	8.00	170.43	36.2	15	3.2	39.3	0.40	12.0	2.65	9.35	1.9	62.4
8	8.40	178.03	37.8	15	3.2	40.9	0.40	12.0	2.32	9.68	1.9	64.8
7	8.80	185.63	39.4	15	3.2	42.6	0.40	12.0	1.99	10.01	1.8	67.2
6	9.20	193.23	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	1.66	10.34	1.7	69.7
5	9.60	200.83	42.6	15	3.2	45.8	0.40	12.0	1.32	10.68	1.7	72.1
4	10.00	208.43	44.2	15	3.2	47.4	0.40	12.0	0.99	11.01	1.6	74.5
3	10.40	216.03	45.8	15	3.2	49.0	0.40	12.0	0.66	11.34	1.5	76.9
2	10.80	223.63	47.4	15	3.2	50.6	0.40	12.0	0.33	11.67	1.5	79.4
1	11.20	231.23	49.1	15	3.2	52.2	0.40	12.0	0.00	12.00	1.5	81.8

EK-1. (devam) I) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G2-M3 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

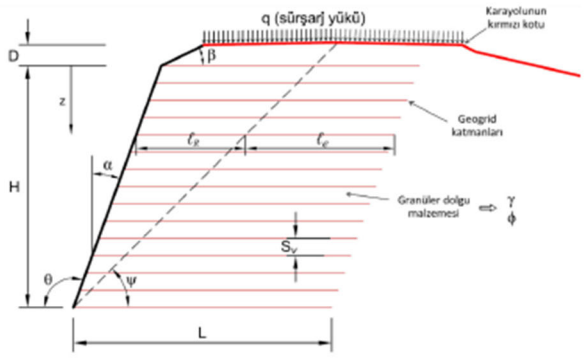
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	55 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	30.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m^3
İçsel sürtünme açısı	ϕ	32.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.33
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.19

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.212	1.093 0.194
Yenilme düzleminin açısı	ψ	43 °	



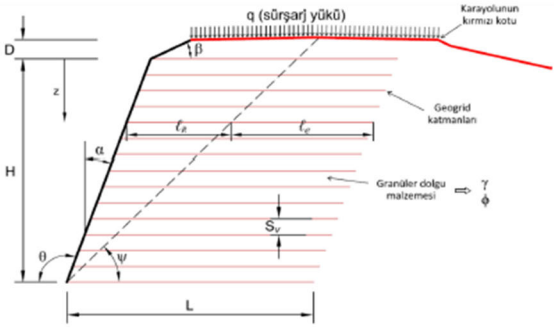
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	4.9	15	2.8	7.7	0.40	12.0	7.65	4.35	9.9	24.6
27	0.80	33.63	6.3	15	2.8	9.1	0.40	12.0	7.37	4.63	8.4	28.6
26	1.20	41.23	7.7	15	2.8	10.5	0.40	12.0	7.09	4.91	7.2	32.2
25	1.60	48.83	9.1	15	2.8	11.9	0.40	12.0	6.80	5.20	6.4	35.5
24	2.00	56.43	10.5	15	2.8	13.3	0.40	12.0	6.52	5.48	5.7	38.6
23	2.40	64.03	12.0	15	2.8	14.8	0.40	12.0	6.24	5.76	5.1	41.7
22	2.80	71.63	13.4	15	2.8	16.2	0.40	12.0	5.95	6.05	4.7	44.6
21	3.20	79.23	14.8	15	2.8	17.6	0.40	12.0	5.67	6.33	4.3	47.5
20	3.60	86.83	16.2	15	2.8	19.0	0.40	12.0	5.39	6.61	4.0	50.3
19	4.00	94.43	17.6	15	2.8	20.4	0.40	12.0	5.10	6.90	3.7	53.1
18	4.40	102.03	19.1	15	2.8	21.9	0.40	12.0	4.82	7.18	3.5	55.9
17	4.80	109.63	20.5	15	2.8	23.3	0.40	12.0	4.53	7.47	3.3	58.6
16	5.20	117.23	21.9	15	2.8	24.7	0.40	12.0	4.25	7.75	3.1	61.3
15	5.60	124.83	23.3	15	2.8	26.1	0.40	12.0	3.97	8.03	2.9	64.0
14	6.00	132.43	24.7	15	2.8	27.5	0.40	12.0	3.68	8.32	2.8	66.6
13	6.40	140.03	26.2	15	2.8	29.0	0.40	12.0	3.40	8.60	2.6	69.3
12	6.80	147.63	27.6	15	2.8	30.4	0.40	12.0	3.12	8.88	2.5	71.9
11	7.20	155.23	29.0	15	2.8	31.8	0.40	12.0	2.83	9.17	2.4	74.6
10	7.60	162.83	30.4	15	2.8	33.2	0.40	12.0	2.55	9.45	2.3	77.2
9	8.00	170.43	31.8	15	2.8	34.6	0.40	12.0	2.27	9.73	2.2	79.8
8	8.40	178.03	33.2	15	2.8	36.1	0.40	12.0	1.98	10.02	2.1	82.4
7	8.80	185.63	34.7	15	2.8	37.5	0.40	12.0	1.70	10.30	2.0	85.0
6	9.20	193.23	36.1	15	2.8	38.9	0.40	12.0	1.42	10.58	2.0	87.6
5	9.60	200.83	37.5	15	2.8	40.3	0.40	12.0	1.13	10.87	1.9	90.2
4	10.00	208.43	38.9	15	2.8	41.7	0.40	12.0	0.85	11.15	1.8	92.8
3	10.40	216.03	40.3	15	2.8	43.1	0.40	12.0	0.57	11.43	1.8	95.4
2	10.80	223.63	41.8	15	2.8	44.6	0.40	12.0	0.28	11.72	1.7	98.0
1	11.20	231.23	43.2	15	2.8	46.0	0.40	12.0	0.00	12.00	1.6	100.5

EK-1. (devam) J) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G2-M4 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	$K_{sün}$	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	55 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	30.3 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	34.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.36
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.16
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.222 1.091 0.203
Yenilme düzleminin açısı	ψ	45 °



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	4.3	15	2.5	6.7	0.40	12.0	6.69	5.31	11.3	37.0
27	0.80	33.63	5.5	15	2.5	8.0	0.40	12.0	6.44	5.56	9.5	42.3
26	1.20	41.23	6.7	15	2.5	9.2	0.40	12.0	6.19	5.81	8.2	46.8
25	1.60	48.83	8.0	15	2.5	10.4	0.40	12.0	5.95	6.05	7.3	50.9
24	2.00	56.43	9.2	15	2.5	11.7	0.40	12.0	5.70	6.30	6.5	54.7
23	2.40	64.03	10.5	15	2.5	12.9	0.40	12.0	5.45	6.55	5.9	58.3
22	2.80	71.63	11.7	15	2.5	14.2	0.40	12.0	5.20	6.80	5.4	61.8
21	3.20	79.23	13.0	15	2.5	15.4	0.40	12.0	4.95	7.05	4.9	65.1
20	3.60	86.83	14.2	15	2.5	16.7	0.40	12.0	4.71	7.29	4.6	68.3
19	4.00	94.43	15.5	15	2.5	17.9	0.40	12.0	4.46	7.54	4.2	71.5
18	4.40	102.03	16.7	15	2.5	19.2	0.40	12.0	4.21	7.79	4.0	74.6
17	4.80	109.63	17.9	15	2.5	20.4	0.40	12.0	3.96	8.04	3.7	77.7
16	5.20	117.23	19.2	15	2.5	21.6	0.40	12.0	3.72	8.28	3.5	80.7
15	5.60	124.83	20.4	15	2.5	22.9	0.40	12.0	3.47	8.53	3.3	83.7
14	6.00	132.43	21.7	15	2.5	24.1	0.40	12.0	3.22	8.78	3.1	86.7
13	6.40	140.03	22.9	15	2.5	25.4	0.40	12.0	2.97	9.03	3.0	89.6
12	6.80	147.63	24.2	15	2.5	26.6	0.40	12.0	2.73	9.27	2.9	92.5
11	7.20	155.23	25.4	15	2.5	27.9	0.40	12.0	2.48	9.52	2.7	95.4
10	7.60	162.83	26.6	15	2.5	29.1	0.40	12.0	2.23	9.77	2.6	98.3
9	8.00	170.43	27.9	15	2.5	30.3	0.40	12.0	1.98	10.02	2.5	101.2
8	8.40	178.03	29.1	15	2.5	31.6	0.40	12.0	1.73	10.27	2.4	104.1
7	8.80	185.63	30.4	15	2.5	32.8	0.40	12.0	1.49	10.51	2.3	106.9
6	9.20	193.23	31.6	15	2.5	34.1	0.40	12.0	1.24	10.76	2.2	109.8
5	9.60	200.83	32.9	15	2.5	35.3	0.40	12.0	0.99	11.01	2.1	112.6
4	10.00	208.43	34.1	15	2.5	36.6	0.40	12.0	0.74	11.26	2.1	115.4
3	10.40	216.03	35.4	15	2.5	37.8	0.40	12.0	0.50	11.50	2.0	118.2
2	10.80	223.63	36.6	15	2.5	39.1	0.40	12.0	0.25	11.75	1.9	121.1
1	11.20	231.23	37.8	15	2.5	40.3	0.40	12.0	0.00	12.00	1.9	123.9

EK-1. (devam) K) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G2-M5 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

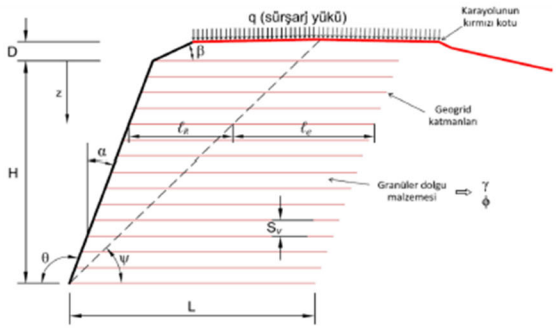
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	55 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	30.3 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	18 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



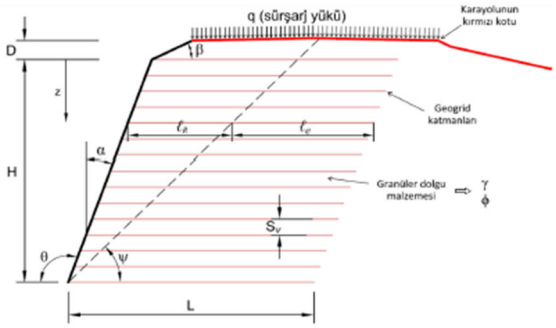
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	24.66	5.2	15	3.2	8.4	0.40	12.0	8.94	3.06	9.0	13.8
27	0.80	31.86	6.8	15	3.2	9.9	0.40	12.0	8.61	3.39	7.6	16.7
26	1.20	39.06	8.3	15	3.2	11.5	0.40	12.0	8.28	3.72	6.6	19.5
25	1.60	46.26	9.8	15	3.2	13.0	0.40	12.0	7.95	4.05	5.8	22.2
24	2.00	53.46	11.3	15	3.2	14.5	0.40	12.0	7.62	4.38	5.2	24.8
23	2.40	60.66	12.9	15	3.2	16.1	0.40	12.0	7.29	4.71	4.7	27.4
22	2.80	67.86	14.4	15	3.2	17.6	0.40	12.0	6.96	5.04	4.3	30.0
21	3.20	75.06	15.9	15	3.2	19.1	0.40	12.0	6.62	5.38	4.0	32.5
20	3.60	82.26	17.5	15	3.2	20.6	0.40	12.0	6.29	5.71	3.7	35.0
19	4.00	89.46	19.0	15	3.2	22.2	0.40	12.0	5.96	6.04	3.4	37.5
18	4.40	96.66	20.5	15	3.2	23.7	0.40	12.0	5.63	6.37	3.2	40.0
17	4.80	103.86	22.0	15	3.2	25.2	0.40	12.0	5.30	6.70	3.0	42.5
16	5.20	111.06	23.6	15	3.2	26.7	0.40	12.0	4.97	7.03	2.8	45.0
15	5.60	118.26	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.64	7.36	2.7	47.4
14	6.00	125.46	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	4.31	7.69	2.5	49.9
13	6.40	132.66	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	3.97	8.03	2.4	52.3
12	6.80	139.86	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.64	8.36	2.3	54.8
11	7.20	147.06	31.2	15	3.2	34.4	0.40	12.0	3.31	8.69	2.2	57.2
10	7.60	154.26	32.7	15	3.2	35.9	0.40	12.0	2.98	9.02	2.1	59.7
9	8.00	161.46	34.3	15	3.2	37.4	0.40	12.0	2.65	9.35	2.0	62.1
8	8.40	168.66	35.8	15	3.2	39.0	0.40	12.0	2.32	9.68	1.9	64.5
7	8.80	175.86	37.3	15	3.2	40.5	0.40	12.0	1.99	10.01	1.9	67.0
6	9.20	183.06	38.8	15	3.2	42.0	0.40	12.0	1.66	10.34	1.8	69.4
5	9.60	190.26	40.4	15	3.2	43.5	0.40	12.0	1.32	10.68	1.7	71.8
4	10.00	197.46	41.9	15	3.2	45.1	0.40	12.0	0.99	11.01	1.7	74.2
3	10.40	204.66	43.4	15	3.2	46.6	0.40	12.0	0.66	11.34	1.6	76.7
2	10.80	211.86	44.9	15	3.2	48.1	0.40	12.0	0.33	11.67	1.6	79.1
1	11.20	219.06	46.5	15	3.2	49.7	0.40	12.0	0.00	12.00	1.5	81.5

EK-1. (devam) L) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G2-M6 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	55 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	30.3 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	17 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeylinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.193 1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_V	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sy}$
28	0.40	23.29	4.9	15	3.2	8.1	0.40	12.0	8.94	3.06	9.3	13.5
27	0.80	30.09	6.4	15	3.2	9.6	0.40	12.0	8.61	3.39	7.9	16.4
26	1.20	36.89	7.8	15	3.2	11.0	0.40	12.0	8.28	3.72	6.9	19.2
25	1.60	43.69	9.3	15	3.2	12.5	0.40	12.0	7.95	4.05	6.1	21.9
24	2.00	50.49	10.7	15	3.2	13.9	0.40	12.0	7.62	4.38	5.5	24.5
23	2.40	57.29	12.2	15	3.2	15.3	0.40	12.0	7.29	4.71	4.9	27.1
22	2.80	64.09	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	6.96	5.04	4.5	29.7
21	3.20	70.89	15.0	15	3.2	18.2	0.40	12.0	6.62	5.38	4.2	32.2
20	3.60	77.69	16.5	15	3.2	19.7	0.40	12.0	6.29	5.71	3.9	34.7
19	4.00	84.49	17.9	15	3.2	21.1	0.40	12.0	5.96	6.04	3.6	37.2
18	4.40	91.29	19.4	15	3.2	22.5	0.40	12.0	5.63	6.37	3.4	39.7
17	4.80	98.09	20.8	15	3.2	24.0	0.40	12.0	5.30	6.70	3.2	42.2
16	5.20	104.89	22.3	15	3.2	25.4	0.40	12.0	4.97	7.03	3.0	44.7
15	5.60	111.69	23.7	15	3.2	26.9	0.40	12.0	4.64	7.36	2.8	47.1
14	6.00	118.49	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.31	7.69	2.7	49.6
13	6.40	125.29	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	3.97	8.03	2.5	52.0
12	6.80	132.09	28.0	15	3.2	31.2	0.40	12.0	3.64	8.36	2.4	54.5
11	7.20	138.89	29.5	15	3.2	32.6	0.40	12.0	3.31	8.69	2.3	56.9
10	7.60	145.69	30.9	15	3.2	34.1	0.40	12.0	2.98	9.02	2.2	59.3
9	8.00	152.49	32.3	15	3.2	35.5	0.40	12.0	2.65	9.35	2.1	61.8
8	8.40	159.29	33.8	15	3.2	37.0	0.40	12.0	2.32	9.68	2.1	64.2
7	8.80	166.09	35.2	15	3.2	38.4	0.40	12.0	1.99	10.01	2.0	66.7
6	9.20	172.89	36.7	15	3.2	39.9	0.40	12.0	1.66	10.34	1.9	69.1
5	9.60	179.69	38.1	15	3.2	41.3	0.40	12.0	1.32	10.68	1.8	71.5
4	10.00	186.49	39.6	15	3.2	42.7	0.40	12.0	0.99	11.01	1.8	73.9
3	10.40	193.29	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	0.66	11.34	1.7	76.4
2	10.80	200.09	42.4	15	3.2	45.6	0.40	12.0	0.33	11.67	1.7	78.8
1	11.20	206.89	43.9	15	3.2	47.1	0.40	12.0	0.00	12.00	1.6	81.2

EK-1. (devam) M) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G3-M1 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

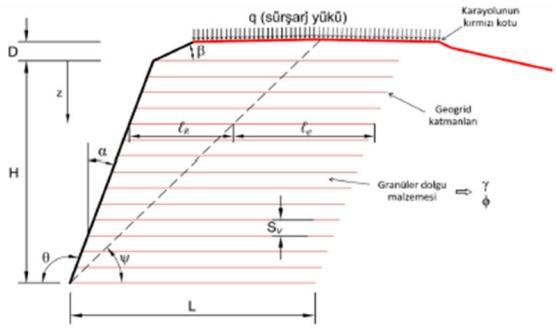
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	80 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	44.1 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	28.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.28
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.24

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.154	1.098 0.140
Yenilme düzleminin açısı	ψ	36 °	



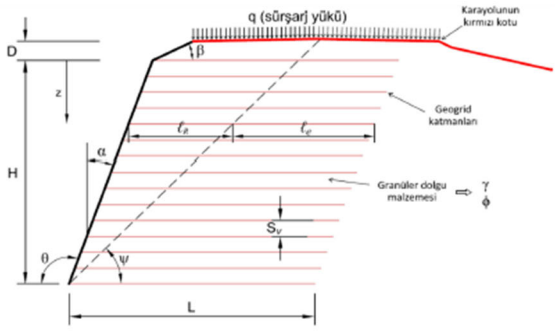
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	6.2	15	3.6	9.8	0.40	12.0	10.94	1.06	11.2	4.0
27	0.80	33.63	8.1	15	3.6	11.7	0.40	12.0	10.53	1.47	9.5	6.0
26	1.20	41.23	9.9	15	3.6	13.5	0.40	12.0	10.13	1.87	8.2	8.1
25	1.60	48.83	11.7	15	3.6	15.3	0.40	12.0	9.72	2.28	7.2	10.3
24	2.00	56.43	13.5	15	3.6	17.1	0.40	12.0	9.32	2.68	6.4	12.5
23	2.40	64.03	15.4	15	3.6	19.0	0.40	12.0	8.91	3.09	5.8	14.8
22	2.80	71.63	17.2	15	3.6	20.8	0.40	12.0	8.51	3.49	5.3	17.1
21	3.20	79.23	19.0	15	3.6	22.6	0.40	12.0	8.10	3.90	4.9	19.4
20	3.60	86.83	20.8	15	3.6	24.4	0.40	12.0	7.70	4.30	4.5	21.7
19	4.00	94.43	22.7	15	3.6	26.3	0.40	12.0	7.29	4.71	4.2	24.0
18	4.40	102.03	24.5	15	3.6	28.1	0.40	12.0	6.89	5.11	3.9	26.3
17	4.80	109.63	26.3	15	3.6	29.9	0.40	12.0	6.48	5.52	3.7	28.7
16	5.20	117.23	28.1	15	3.6	31.7	0.40	12.0	6.08	5.92	3.5	31.0
15	5.60	124.83	30.0	15	3.6	33.6	0.40	12.0	5.67	6.33	3.3	33.4
14	6.00	132.43	31.8	15	3.6	35.4	0.40	12.0	5.27	6.73	3.1	35.7
13	6.40	140.03	33.6	15	3.6	37.2	0.40	12.0	4.86	7.14	3.0	38.1
12	6.80	147.63	35.4	15	3.6	39.0	0.40	12.0	4.46	7.54	2.8	40.5
11	7.20	155.23	37.2	15	3.6	40.8	0.40	12.0	4.05	7.95	2.7	42.8
10	7.60	162.83	39.1	15	3.6	42.7	0.40	12.0	3.65	8.35	2.6	45.2
9	8.00	170.43	40.9	15	3.6	44.5	0.40	12.0	3.24	8.76	2.5	47.6
8	8.40	178.03	42.7	15	3.6	46.3	0.40	12.0	2.84	9.16	2.4	49.9
7	8.80	185.63	44.5	15	3.6	48.1	0.40	12.0	2.43	9.57	2.3	52.3
6	9.20	193.23	46.4	15	3.6	50.0	0.40	12.0	2.03	9.97	2.2	54.7
5	9.60	200.83	48.2	15	3.6	51.8	0.40	12.0	1.62	10.38	2.1	57.1
4	10.00	208.43	50.0	15	3.6	53.6	0.40	12.0	1.22	10.78	2.1	59.4
3	10.40	216.03	51.8	15	3.6	55.4	0.40	12.0	0.81	11.19	2.0	61.8
2	10.80	223.63	53.7	15	3.6	57.3	0.40	12.0	0.41	11.59	1.9	64.2
1	11.20	231.23	55.5	15	3.6	59.1	0.40	12.0	0.00	12.00	1.9	66.6

EK-1. (devam) N) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G3-M2 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	80 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	44.1 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.193 1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °



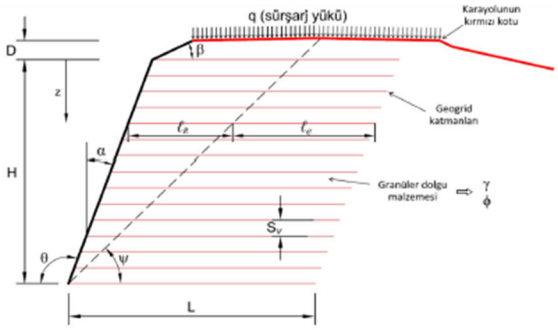
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	5.5	15	3.2	8.7	0.40	12.0	8.94	3.06	12.7	14.1
27	0.80	33.63	7.1	15	3.2	10.3	0.40	12.0	8.61	3.39	10.7	17.0
26	1.20	41.23	8.7	15	3.2	11.9	0.40	12.0	8.28	3.72	9.3	19.8
25	1.60	48.83	10.4	15	3.2	13.5	0.40	12.0	7.95	4.05	8.1	22.5
24	2.00	56.43	12.0	15	3.2	15.2	0.40	12.0	7.62	4.38	7.3	25.1
23	2.40	64.03	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	7.29	4.71	6.6	27.7
22	2.80	71.63	15.2	15	3.2	18.4	0.40	12.0	6.96	5.04	6.0	30.3
21	3.20	79.23	16.8	15	3.2	20.0	0.40	12.0	6.62	5.38	5.5	32.8
20	3.60	86.83	18.4	15	3.2	21.6	0.40	12.0	6.29	5.71	5.1	35.3
19	4.00	94.43	20.0	15	3.2	23.2	0.40	12.0	5.96	6.04	4.8	37.8
18	4.40	102.03	21.6	15	3.2	24.8	0.40	12.0	5.63	6.37	4.4	40.3
17	4.80	109.63	23.3	15	3.2	26.4	0.40	12.0	5.30	6.70	4.2	42.8
16	5.20	117.23	24.9	15	3.2	28.1	0.40	12.0	4.97	7.03	3.9	45.2
15	5.60	124.83	26.5	15	3.2	29.7	0.40	12.0	4.64	7.36	3.7	47.7
14	6.00	132.43	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	4.31	7.69	3.5	50.2
13	6.40	140.03	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.97	8.03	3.4	52.6
12	6.80	147.63	31.3	15	3.2	34.5	0.40	12.0	3.64	8.36	3.2	55.1
11	7.20	155.23	32.9	15	3.2	36.1	0.40	12.0	3.31	8.69	3.1	57.5
10	7.60	162.83	34.5	15	3.2	37.7	0.40	12.0	2.98	9.02	2.9	59.9
9	8.00	170.43	36.2	15	3.2	39.3	0.40	12.0	2.65	9.35	2.8	62.4
8	8.40	178.03	37.8	15	3.2	40.9	0.40	12.0	2.32	9.68	2.7	64.8
7	8.80	185.63	39.4	15	3.2	42.6	0.40	12.0	1.99	10.01	2.6	67.2
6	9.20	193.23	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	1.66	10.34	2.5	69.7
5	9.60	200.83	42.6	15	3.2	45.8	0.40	12.0	1.32	10.68	2.4	72.1
4	10.00	208.43	44.2	15	3.2	47.4	0.40	12.0	0.99	11.01	2.3	74.5
3	10.40	216.03	45.8	15	3.2	49.0	0.40	12.0	0.66	11.34	2.3	76.9
2	10.80	223.63	47.4	15	3.2	50.6	0.40	12.0	0.33	11.67	2.2	79.4
1	11.20	231.23	49.1	15	3.2	52.2	0.40	12.0	0.00	12.00	2.1	81.8

EK-1. (devam) O) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G3-M3 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	80 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	44.1 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	32.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.33
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.19
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.212 1.093 0.194
Yenilme düzleminin açısı	ψ	43 °



Katman No	z	$\sigma_{v\ (dolgu)}$	$\sigma_{H\ (dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\ (toplam)}$	S_v	L	f_R	f_c	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	4.9	15	2.8	7.7	0.40	12.0	7.65	4.35	14.4	24.6
27	0.80	33.63	6.3	15	2.8	9.1	0.40	12.0	7.37	4.63	12.1	28.6
26	1.20	41.23	7.7	15	2.8	10.5	0.40	12.0	7.09	4.91	10.5	32.2
25	1.60	48.83	9.1	15	2.8	11.9	0.40	12.0	6.80	5.20	9.3	35.5
24	2.00	56.43	10.5	15	2.8	13.3	0.40	12.0	6.52	5.48	8.3	38.6
23	2.40	64.03	12.0	15	2.8	14.8	0.40	12.0	6.24	5.76	7.5	41.7
22	2.80	71.63	13.4	15	2.8	16.2	0.40	12.0	5.95	6.05	6.8	44.6
21	3.20	79.23	14.8	15	2.8	17.6	0.40	12.0	5.67	6.33	6.3	47.5
20	3.60	86.83	16.2	15	2.8	19.0	0.40	12.0	5.39	6.61	5.8	50.3
19	4.00	94.43	17.6	15	2.8	20.4	0.40	12.0	5.10	6.90	5.4	53.1
18	4.40	102.03	19.1	15	2.8	21.9	0.40	12.0	4.82	7.18	5.0	55.9
17	4.80	109.63	20.5	15	2.8	23.3	0.40	12.0	4.53	7.47	4.7	58.6
16	5.20	117.23	21.9	15	2.8	24.7	0.40	12.0	4.25	7.75	4.5	61.3
15	5.60	124.83	23.3	15	2.8	26.1	0.40	12.0	3.97	8.03	4.2	64.0
14	6.00	132.43	24.7	15	2.8	27.5	0.40	12.0	3.68	8.32	4.0	66.6
13	6.40	140.03	26.2	15	2.8	29.0	0.40	12.0	3.40	8.60	3.8	69.3
12	6.80	147.63	27.6	15	2.8	30.4	0.40	12.0	3.12	8.88	3.6	71.9
11	7.20	155.23	29.0	15	2.8	31.8	0.40	12.0	2.83	9.17	3.5	74.6
10	7.60	162.83	30.4	15	2.8	33.2	0.40	12.0	2.55	9.45	3.3	77.2
9	8.00	170.43	31.8	15	2.8	34.6	0.40	12.0	2.27	9.73	3.2	79.8
8	8.40	178.03	33.2	15	2.8	36.1	0.40	12.0	1.98	10.02	3.1	82.4
7	8.80	185.63	34.7	15	2.8	37.5	0.40	12.0	1.70	10.30	2.9	85.0
6	9.20	193.23	36.1	15	2.8	38.9	0.40	12.0	1.42	10.58	2.8	87.6
5	9.60	200.83	37.5	15	2.8	40.3	0.40	12.0	1.13	10.87	2.7	90.2
4	10.00	208.43	38.9	15	2.8	41.7	0.40	12.0	0.85	11.15	2.6	92.8
3	10.40	216.03	40.3	15	2.8	43.1	0.40	12.0	0.57	11.43	2.6	95.4
2	10.80	223.63	41.8	15	2.8	44.6	0.40	12.0	0.28	11.72	2.5	98.0
1	11.20	231.23	43.2	15	2.8	46.0	0.40	12.0	0.00	12.00	2.4	100.5

EK-1. (devam) P) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G3-M4 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

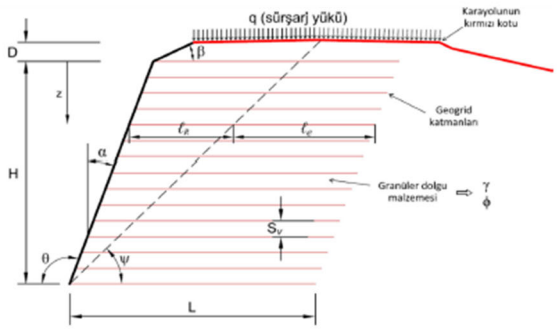
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	80 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	44.1 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	34.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.36
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.16

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ν − ϕ)		0.222	1.091 0.203
Yenilme düzleminin açısı	ψ	45 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\ (dolgu)}$	$\sigma_{H\ (dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\ (toplam)}$	S_V	L	f_R	f_c	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	4.3	15	2.5	6.7	0.40	12.0	6.69	5.31	16.4	37.0
27	0.80	33.63	5.5	15	2.5	8.0	0.40	12.0	6.44	5.56	13.9	42.3
26	1.20	41.23	6.7	15	2.5	9.2	0.40	12.0	6.19	5.81	12.0	46.8
25	1.60	48.83	8.0	15	2.5	10.4	0.40	12.0	5.95	6.05	10.6	50.9
24	2.00	56.43	9.2	15	2.5	11.7	0.40	12.0	5.70	6.30	9.4	54.7
23	2.40	64.03	10.5	15	2.5	12.9	0.40	12.0	5.45	6.55	8.5	58.3
22	2.80	71.63	11.7	15	2.5	14.2	0.40	12.0	5.20	6.80	7.8	61.8
21	3.20	79.23	13.0	15	2.5	15.4	0.40	12.0	4.95	7.05	7.2	65.1
20	3.60	86.83	14.2	15	2.5	16.7	0.40	12.0	4.71	7.29	6.6	68.3
19	4.00	94.43	15.5	15	2.5	17.9	0.40	12.0	4.46	7.54	6.2	71.5
18	4.40	102.03	16.7	15	2.5	19.2	0.40	12.0	4.21	7.79	5.8	74.6
17	4.80	109.63	17.9	15	2.5	20.4	0.40	12.0	3.96	8.04	5.4	77.7
16	5.20	117.23	19.2	15	2.5	21.6	0.40	12.0	3.72	8.28	5.1	80.7
15	5.60	124.83	20.4	15	2.5	22.9	0.40	12.0	3.47	8.53	4.8	83.7
14	6.00	132.43	21.7	15	2.5	24.1	0.40	12.0	3.22	8.78	4.6	86.7
13	6.40	140.03	22.9	15	2.5	25.4	0.40	12.0	2.97	9.03	4.3	89.6
12	6.80	147.63	24.2	15	2.5	26.6	0.40	12.0	2.73	9.27	4.1	92.5
11	7.20	155.23	25.4	15	2.5	27.9	0.40	12.0	2.48	9.52	4.0	95.4
10	7.60	162.83	26.6	15	2.5	29.1	0.40	12.0	2.23	9.77	3.8	98.3
9	8.00	170.43	27.9	15	2.5	30.3	0.40	12.0	1.98	10.02	3.6	101.2
8	8.40	178.03	29.1	15	2.5	31.6	0.40	12.0	1.73	10.27	3.5	104.1
7	8.80	185.63	30.4	15	2.5	32.8	0.40	12.0	1.49	10.51	3.4	106.9
6	9.20	193.23	31.6	15	2.5	34.1	0.40	12.0	1.24	10.76	3.2	109.8
5	9.60	200.83	32.9	15	2.5	35.3	0.40	12.0	0.99	11.01	3.1	112.6
4	10.00	208.43	34.1	15	2.5	36.6	0.40	12.0	0.74	11.26	3.0	115.4
3	10.40	216.03	35.4	15	2.5	37.8	0.40	12.0	0.50	11.50	2.9	118.2
2	10.80	223.63	36.6	15	2.5	39.1	0.40	12.0	0.25	11.75	2.8	121.1
1	11.20	231.23	37.8	15	2.5	40.3	0.40	12.0	0.00	12.00	2.7	123.9

EK-1. (devam) R) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G3-M5 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{suy}$	1.5

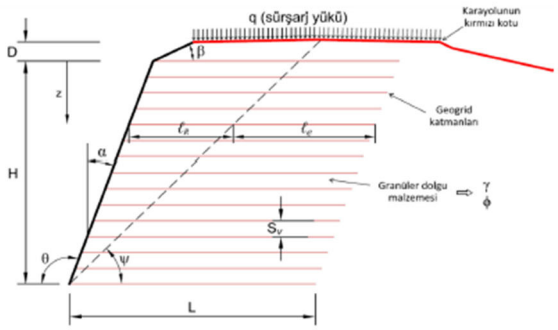
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	80 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	44.1 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	18 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeylnin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{suy}$
28	0.40	24.66	5.2	15	3.2	8.4	0.40	12.0	8.94	3.06	13.1	13.8
27	0.80	31.86	6.8	15	3.2	9.9	0.40	12.0	8.61	3.39	11.1	16.7
26	1.20	39.06	8.3	15	3.2	11.5	0.40	12.0	8.28	3.72	9.6	19.5
25	1.60	46.26	9.8	15	3.2	13.0	0.40	12.0	7.95	4.05	8.5	22.2
24	2.00	53.46	11.3	15	3.2	14.5	0.40	12.0	7.62	4.38	7.6	24.8
23	2.40	60.66	12.9	15	3.2	16.1	0.40	12.0	7.29	4.71	6.9	27.4
22	2.80	67.86	14.4	15	3.2	17.6	0.40	12.0	6.96	5.04	6.3	30.0
21	3.20	75.06	15.9	15	3.2	19.1	0.40	12.0	6.62	5.38	5.8	32.5
20	3.60	82.26	17.5	15	3.2	20.6	0.40	12.0	6.29	5.71	5.3	35.0
19	4.00	89.46	19.0	15	3.2	22.2	0.40	12.0	5.96	6.04	5.0	37.5
18	4.40	96.66	20.5	15	3.2	23.7	0.40	12.0	5.63	6.37	4.7	40.0
17	4.80	103.86	22.0	15	3.2	25.2	0.40	12.0	5.30	6.70	4.4	42.5
16	5.20	111.06	23.6	15	3.2	26.7	0.40	12.0	4.97	7.03	4.1	45.0
15	5.60	118.26	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.64	7.36	3.9	47.4
14	6.00	125.46	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	4.31	7.69	3.7	49.9
13	6.40	132.66	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	3.97	8.03	3.5	52.3
12	6.80	139.86	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.64	8.36	3.4	54.8
11	7.20	147.06	31.2	15	3.2	34.4	0.40	12.0	3.31	8.69	3.2	57.2
10	7.60	154.26	32.7	15	3.2	35.9	0.40	12.0	2.98	9.02	3.1	59.7
9	8.00	161.46	34.3	15	3.2	37.4	0.40	12.0	2.65	9.35	2.9	62.1
8	8.40	168.66	35.8	15	3.2	39.0	0.40	12.0	2.32	9.68	2.8	64.5
7	8.80	175.86	37.3	15	3.2	40.5	0.40	12.0	1.99	10.01	2.7	67.0
6	9.20	183.06	38.8	15	3.2	42.0	0.40	12.0	1.66	10.34	2.6	69.4
5	9.60	190.26	40.4	15	3.2	43.5	0.40	12.0	1.32	10.68	2.5	71.8
4	10.00	197.46	41.9	15	3.2	45.1	0.40	12.0	0.99	11.01	2.4	74.2
3	10.40	204.66	43.4	15	3.2	46.6	0.40	12.0	0.66	11.34	2.4	76.7
2	10.80	211.86	44.9	15	3.2	48.1	0.40	12.0	0.33	11.67	2.3	79.1
1	11.20	219.06	46.5	15	3.2	49.7	0.40	12.0	0.00	12.00	2.2	81.5

EK-1. (devam) S) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G3-M6 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

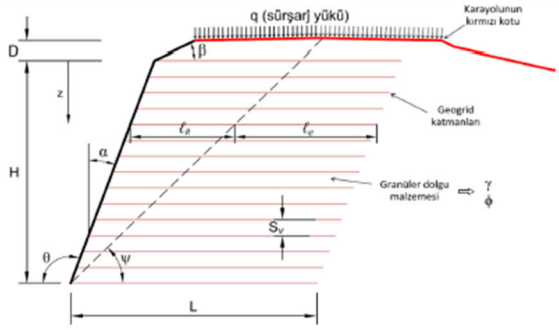
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	80 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	44.1 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	17 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



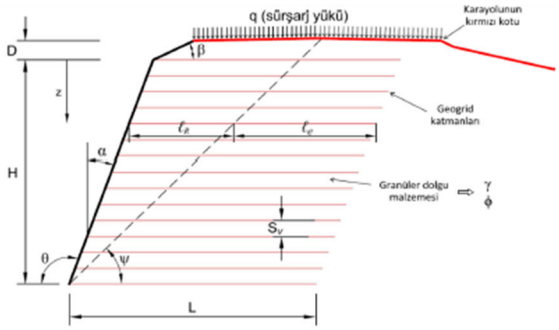
Katman No	z	$\sigma_{v\ (dolgu)}$	$\sigma_{H\ (dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\ (toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	23.29	4.9	15	3.2	8.1	0.40	12.0	8.94	3.06	13.6	13.5
27	0.80	30.09	6.4	15	3.2	9.6	0.40	12.0	8.61	3.39	11.5	16.4
26	1.20	36.89	7.8	15	3.2	11.0	0.40	12.0	8.28	3.72	10.0	19.2
25	1.60	43.69	9.3	15	3.2	12.5	0.40	12.0	7.95	4.05	8.9	21.9
24	2.00	50.49	10.7	15	3.2	13.9	0.40	12.0	7.62	4.38	7.9	24.5
23	2.40	57.29	12.2	15	3.2	15.3	0.40	12.0	7.29	4.71	7.2	27.1
22	2.80	64.09	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	6.96	5.04	6.6	29.7
21	3.20	70.89	15.0	15	3.2	18.2	0.40	12.0	6.62	5.38	6.1	32.2
20	3.60	77.69	16.5	15	3.2	19.7	0.40	12.0	6.29	5.71	5.6	34.7
19	4.00	84.49	17.9	15	3.2	21.1	0.40	12.0	5.96	6.04	5.2	37.2
18	4.40	91.29	19.4	15	3.2	22.5	0.40	12.0	5.63	6.37	4.9	39.7
17	4.80	98.09	20.8	15	3.2	24.0	0.40	12.0	5.30	6.70	4.6	42.2
16	5.20	104.89	22.3	15	3.2	25.4	0.40	12.0	4.97	7.03	4.3	44.7
15	5.60	111.69	23.7	15	3.2	26.9	0.40	12.0	4.64	7.36	4.1	47.1
14	6.00	118.49	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.31	7.69	3.9	49.6
13	6.40	125.29	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	3.97	8.03	3.7	52.0
12	6.80	132.09	28.0	15	3.2	31.2	0.40	12.0	3.64	8.36	3.5	54.5
11	7.20	138.89	29.5	15	3.2	32.6	0.40	12.0	3.31	8.69	3.4	56.9
10	7.60	145.69	30.9	15	3.2	34.1	0.40	12.0	2.98	9.02	3.2	59.3
9	8.00	152.49	32.3	15	3.2	35.5	0.40	12.0	2.65	9.35	3.1	61.8
8	8.40	159.29	33.8	15	3.2	37.0	0.40	12.0	2.32	9.68	3.0	64.2
7	8.80	166.09	35.2	15	3.2	38.4	0.40	12.0	1.99	10.01	2.9	66.7
6	9.20	172.89	36.7	15	3.2	39.9	0.40	12.0	1.66	10.34	2.8	69.1
5	9.60	179.69	38.1	15	3.2	41.3	0.40	12.0	1.32	10.68	2.7	71.5
4	10.00	186.49	39.6	15	3.2	42.7	0.40	12.0	0.99	11.01	2.6	73.9
3	10.40	193.29	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	0.66	11.34	2.5	76.4
2	10.80	200.09	42.4	15	3.2	45.6	0.40	12.0	0.33	11.67	2.4	78.8
1	11.20	206.89	43.9	15	3.2	47.1	0.40	12.0	0.00	12.00	2.3	81.2

EK-1. (devam) T) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G4-M1 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	110 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	60.7 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	28.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.28
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.24
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.154 1.098 0.140
Yenilme düzleminin açısı	ψ	36 °



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	6.2	15	3.6	9.8	0.40	12.0	10.94	1.06	15.4	4.0
27	0.80	33.63	8.1	15	3.6	11.7	0.40	12.0	10.53	1.47	13.0	6.0
26	1.20	41.23	9.9	15	3.6	13.5	0.40	12.0	10.13	1.87	11.2	8.1
25	1.60	48.83	11.7	15	3.6	15.3	0.40	12.0	9.72	2.28	9.9	10.3
24	2.00	56.43	13.5	15	3.6	17.1	0.40	12.0	9.32	2.68	8.9	12.5
23	2.40	64.03	15.4	15	3.6	19.0	0.40	12.0	8.91	3.09	8.0	14.8
22	2.80	71.63	17.2	15	3.6	20.8	0.40	12.0	8.51	3.49	7.3	17.1
21	3.20	79.23	19.0	15	3.6	22.6	0.40	12.0	8.10	3.90	6.7	19.4
20	3.60	86.83	20.8	15	3.6	24.4	0.40	12.0	7.70	4.30	6.2	21.7
19	4.00	94.43	22.7	15	3.6	26.3	0.40	12.0	7.29	4.71	5.8	24.0
18	4.40	102.03	24.5	15	3.6	28.1	0.40	12.0	6.89	5.11	5.4	26.3
17	4.80	109.63	26.3	15	3.6	29.9	0.40	12.0	6.48	5.52	5.1	28.7
16	5.20	117.23	28.1	15	3.6	31.7	0.40	12.0	6.08	5.92	4.8	31.0
15	5.60	124.83	30.0	15	3.6	33.6	0.40	12.0	5.67	6.33	4.5	33.4
14	6.00	132.43	31.8	15	3.6	35.4	0.40	12.0	5.27	6.73	4.3	35.7
13	6.40	140.03	33.6	15	3.6	37.2	0.40	12.0	4.86	7.14	4.1	38.1
12	6.80	147.63	35.4	15	3.6	39.0	0.40	12.0	4.46	7.54	3.9	40.5
11	7.20	155.23	37.2	15	3.6	40.8	0.40	12.0	4.05	7.95	3.7	42.8
10	7.60	162.83	39.1	15	3.6	42.7	0.40	12.0	3.65	8.35	3.6	45.2
9	8.00	170.43	40.9	15	3.6	44.5	0.40	12.0	3.24	8.76	3.4	47.6
8	8.40	178.03	42.7	15	3.6	46.3	0.40	12.0	2.84	9.16	3.3	49.9
7	8.80	185.63	44.5	15	3.6	48.1	0.40	12.0	2.43	9.57	3.2	52.3
6	9.20	193.23	46.4	15	3.6	50.0	0.40	12.0	2.03	9.97	3.0	54.7
5	9.60	200.83	48.2	15	3.6	51.8	0.40	12.0	1.62	10.38	2.9	57.1
4	10.00	208.43	50.0	15	3.6	53.6	0.40	12.0	1.22	10.78	2.8	59.4
3	10.40	216.03	51.8	15	3.6	55.4	0.40	12.0	0.81	11.19	2.7	61.8
2	10.80	223.63	53.7	15	3.6	57.3	0.40	12.0	0.41	11.59	2.6	64.2
1	11.20	231.23	55.5	15	3.6	59.1	0.40	12.0	0.00	12.00	2.6	66.6

EK-1. (devam) U) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G4-M2 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sy}$	1.5

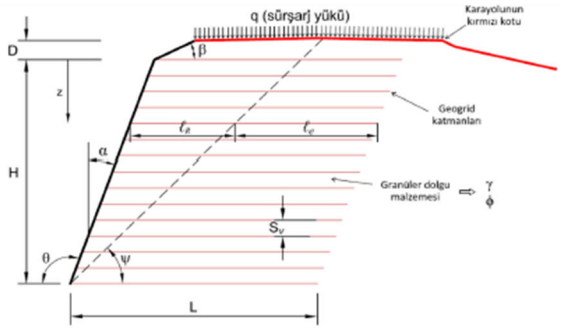
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	110 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	60.7 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeylnin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ν − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_V	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sy}$
28	0.40	26.03	5.5	15	3.2	8.7	0.40	12.0	8.94	3.06	17.4	14.1
27	0.80	33.63	7.1	15	3.2	10.3	0.40	12.0	8.61	3.39	14.7	17.0
26	1.20	41.23	8.7	15	3.2	11.9	0.40	12.0	8.28	3.72	12.7	19.8
25	1.60	48.83	10.4	15	3.2	13.5	0.40	12.0	7.95	4.05	11.2	22.5
24	2.00	56.43	12.0	15	3.2	15.2	0.40	12.0	7.62	4.38	10.0	25.1
23	2.40	64.03	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	7.29	4.71	9.0	27.7
22	2.80	71.63	15.2	15	3.2	18.4	0.40	12.0	6.96	5.04	8.3	30.3
21	3.20	79.23	16.8	15	3.2	20.0	0.40	12.0	6.62	5.38	7.6	32.8
20	3.60	86.83	18.4	15	3.2	21.6	0.40	12.0	6.29	5.71	7.0	35.3
19	4.00	94.43	20.0	15	3.2	23.2	0.40	12.0	5.96	6.04	6.5	37.8
18	4.40	102.03	21.6	15	3.2	24.8	0.40	12.0	5.63	6.37	6.1	40.3
17	4.80	109.63	23.3	15	3.2	26.4	0.40	12.0	5.30	6.70	5.7	42.8
16	5.20	117.23	24.9	15	3.2	28.1	0.40	12.0	4.97	7.03	5.4	45.2
15	5.60	124.83	26.5	15	3.2	29.7	0.40	12.0	4.64	7.36	5.1	47.7
14	6.00	132.43	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	4.31	7.69	4.9	50.2
13	6.40	140.03	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.97	8.03	4.6	52.6
12	6.80	147.63	31.3	15	3.2	34.5	0.40	12.0	3.64	8.36	4.4	55.1
11	7.20	155.23	32.9	15	3.2	36.1	0.40	12.0	3.31	8.69	4.2	57.5
10	7.60	162.83	34.5	15	3.2	37.7	0.40	12.0	2.98	9.02	4.0	59.9
9	8.00	170.43	36.2	15	3.2	39.3	0.40	12.0	2.65	9.35	3.9	62.4
8	8.40	178.03	37.8	15	3.2	40.9	0.40	12.0	2.32	9.68	3.7	64.8
7	8.80	185.63	39.4	15	3.2	42.6	0.40	12.0	1.99	10.01	3.6	67.2
6	9.20	193.23	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	1.66	10.34	3.4	69.7
5	9.60	200.83	42.6	15	3.2	45.8	0.40	12.0	1.32	10.68	3.3	72.1
4	10.00	208.43	44.2	15	3.2	47.4	0.40	12.0	0.99	11.01	3.2	74.5
3	10.40	216.03	45.8	15	3.2	49.0	0.40	12.0	0.66	11.34	3.1	76.9
2	10.80	223.63	47.4	15	3.2	50.6	0.40	12.0	0.33	11.67	3.0	79.4
1	11.20	231.23	49.1	15	3.2	52.2	0.40	12.0	0.00	12.00	2.9	81.8

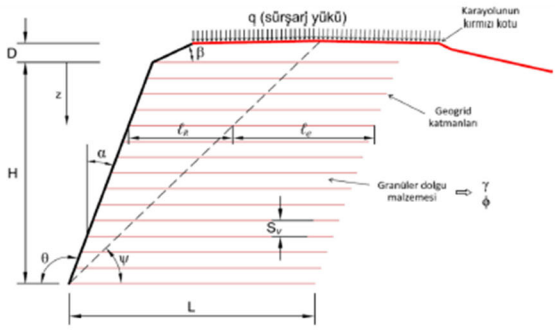
EK-1. (devam) V) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G4-M3 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	110 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	60.7 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	32.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.33
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.19

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.212	1.093 0.194
Yenilme düzleminin açısı	ψ	43 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\ (dolgu)}$	$\sigma_{H\ (dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\ (toplam)}$	S_v	L	l_R	l_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	4.9	15	2.8	7.7	0.40	12.0	7.65	4.35	19.8	24.6
27	0.80	33.63	6.3	15	2.8	9.1	0.40	12.0	7.37	4.63	16.7	28.6
26	1.20	41.23	7.7	15	2.8	10.5	0.40	12.0	7.09	4.91	14.4	32.2
25	1.60	48.83	9.1	15	2.8	11.9	0.40	12.0	6.80	5.20	12.7	35.5
24	2.00	56.43	10.5	15	2.8	13.3	0.40	12.0	6.52	5.48	11.4	38.6
23	2.40	64.03	12.0	15	2.8	14.8	0.40	12.0	6.24	5.76	10.3	41.7
22	2.80	71.63	13.4	15	2.8	16.2	0.40	12.0	5.95	6.05	9.4	44.6
21	3.20	79.23	14.8	15	2.8	17.6	0.40	12.0	5.67	6.33	8.6	47.5
20	3.60	86.83	16.2	15	2.8	19.0	0.40	12.0	5.39	6.61	8.0	50.3
19	4.00	94.43	17.6	15	2.8	20.4	0.40	12.0	5.10	6.90	7.4	53.1
18	4.40	102.03	19.1	15	2.8	21.9	0.40	12.0	4.82	7.18	6.9	55.9
17	4.80	109.63	20.5	15	2.8	23.3	0.40	12.0	4.53	7.47	6.5	58.6
16	5.20	117.23	21.9	15	2.8	24.7	0.40	12.0	4.25	7.75	6.1	61.3
15	5.60	124.83	23.3	15	2.8	26.1	0.40	12.0	3.97	8.03	5.8	64.0
14	6.00	132.43	24.7	15	2.8	27.5	0.40	12.0	3.68	8.32	5.5	66.6
13	6.40	140.03	26.2	15	2.8	29.0	0.40	12.0	3.40	8.60	5.2	69.3
12	6.80	147.63	27.6	15	2.8	30.4	0.40	12.0	3.12	8.88	5.0	71.9
11	7.20	155.23	29.0	15	2.8	31.8	0.40	12.0	2.83	9.17	4.8	74.6
10	7.60	162.83	30.4	15	2.8	33.2	0.40	12.0	2.55	9.45	4.6	77.2
9	8.00	170.43	31.8	15	2.8	34.6	0.40	12.0	2.27	9.73	4.4	79.8
8	8.40	178.03	33.2	15	2.8	36.1	0.40	12.0	1.98	10.02	4.2	82.4
7	8.80	185.63	34.7	15	2.8	37.5	0.40	12.0	1.70	10.30	4.0	85.0
6	9.20	193.23	36.1	15	2.8	38.9	0.40	12.0	1.42	10.58	3.9	87.6
5	9.60	200.83	37.5	15	2.8	40.3	0.40	12.0	1.13	10.87	3.8	90.2
4	10.00	208.43	38.9	15	2.8	41.7	0.40	12.0	0.85	11.15	3.6	92.8
3	10.40	216.03	40.3	15	2.8	43.1	0.40	12.0	0.57	11.43	3.5	95.4
2	10.80	223.63	41.8	15	2.8	44.6	0.40	12.0	0.28	11.72	3.4	98.0
1	11.20	231.23	43.2	15	2.8	46.0	0.40	12.0	0.00	12.00	3.3	100.5

EK-1. (devam) X) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G4-M4 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

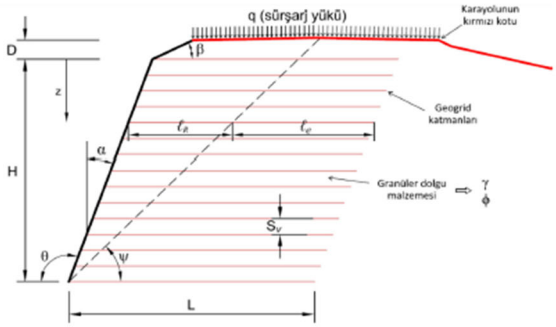
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	110 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	60.7 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_t	19 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	34.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.36
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.16

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeylnin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.222	1.091 0.203
Yenilme düzleminin açısı	ψ	45 °	



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	26.03	4.3	15	2.5	6.7	0.40	12.0	6.69	5.31	22.6	37.0
27	0.80	33.63	5.5	15	2.5	8.0	0.40	12.0	6.44	5.56	19.1	42.3
26	1.20	41.23	6.7	15	2.5	9.2	0.40	12.0	6.19	5.81	16.5	46.8
25	1.60	48.83	8.0	15	2.5	10.4	0.40	12.0	5.95	6.05	14.5	50.9
24	2.00	56.43	9.2	15	2.5	11.7	0.40	12.0	5.70	6.30	13.0	54.7
23	2.40	64.03	10.5	15	2.5	12.9	0.40	12.0	5.45	6.55	11.7	58.3
22	2.80	71.63	11.7	15	2.5	14.2	0.40	12.0	5.20	6.80	10.7	61.8
21	3.20	79.23	13.0	15	2.5	15.4	0.40	12.0	4.95	7.05	9.8	65.1
20	3.60	86.83	14.2	15	2.5	16.7	0.40	12.0	4.71	7.29	9.1	68.3
19	4.00	94.43	15.5	15	2.5	17.9	0.40	12.0	4.46	7.54	8.5	71.5
18	4.40	102.03	16.7	15	2.5	19.2	0.40	12.0	4.21	7.79	7.9	74.6
17	4.80	109.63	17.9	15	2.5	20.4	0.40	12.0	3.96	8.04	7.4	77.7
16	5.20	117.23	19.2	15	2.5	21.6	0.40	12.0	3.72	8.28	7.0	80.7
15	5.60	124.83	20.4	15	2.5	22.9	0.40	12.0	3.47	8.53	6.6	83.7
14	6.00	132.43	21.7	15	2.5	24.1	0.40	12.0	3.22	8.78	6.3	86.7
13	6.40	140.03	22.9	15	2.5	25.4	0.40	12.0	2.97	9.03	6.0	89.6
12	6.80	147.63	24.2	15	2.5	26.6	0.40	12.0	2.73	9.27	5.7	92.5
11	7.20	155.23	25.4	15	2.5	27.9	0.40	12.0	2.48	9.52	5.4	95.4
10	7.60	162.83	26.6	15	2.5	29.1	0.40	12.0	2.23	9.77	5.2	98.3
9	8.00	170.43	27.9	15	2.5	30.3	0.40	12.0	1.98	10.02	5.0	101.2
8	8.40	178.03	29.1	15	2.5	31.6	0.40	12.0	1.73	10.27	4.8	104.1
7	8.80	185.63	30.4	15	2.5	32.8	0.40	12.0	1.49	10.51	4.6	106.9
6	9.20	193.23	31.6	15	2.5	34.1	0.40	12.0	1.24	10.76	4.5	109.8
5	9.60	200.83	32.9	15	2.5	35.3	0.40	12.0	0.99	11.01	4.3	112.6
4	10.00	208.43	34.1	15	2.5	36.6	0.40	12.0	0.74	11.26	4.1	115.4
3	10.40	216.03	35.4	15	2.5	37.8	0.40	12.0	0.50	11.50	4.0	118.2
2	10.80	223.63	36.6	15	2.5	39.1	0.40	12.0	0.25	11.75	3.9	121.1
1	11.20	231.23	37.8	15	2.5	40.3	0.40	12.0	0.00	12.00	3.8	123.9

EK-1. (devam) Y) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G4-M5 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5

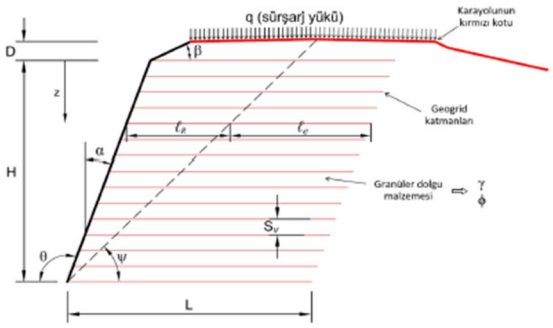
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5

Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15

Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	110 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	60.7 kN/m

Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	18 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21

Duvara Ait Parametreler			
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m	
Duvar yüksekliği	H	11.2 m	
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °	
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °	
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °	
tan (ψ − ϕ)		0.193	1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °	



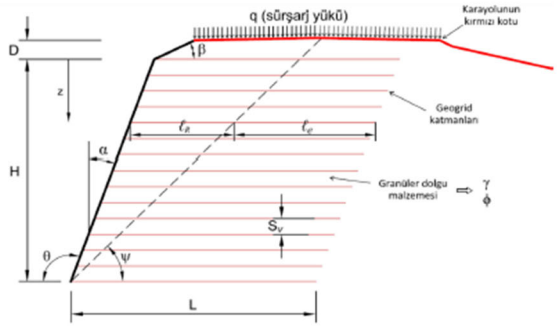
Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_v	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	24.66	5.2	15	3.2	8.4	0.40	12.0	8.94	3.06	18.0	13.8
27	0.80	31.86	6.8	15	3.2	9.9	0.40	12.0	8.61	3.39	15.3	16.7
26	1.20	39.06	8.3	15	3.2	11.5	0.40	12.0	8.28	3.72	13.2	19.5
25	1.60	46.26	9.8	15	3.2	13.0	0.40	12.0	7.95	4.05	11.7	22.2
24	2.00	53.46	11.3	15	3.2	14.5	0.40	12.0	7.62	4.38	10.4	24.8
23	2.40	60.66	12.9	15	3.2	16.1	0.40	12.0	7.29	4.71	9.5	27.4
22	2.80	67.86	14.4	15	3.2	17.6	0.40	12.0	6.96	5.04	8.6	30.0
21	3.20	75.06	15.9	15	3.2	19.1	0.40	12.0	6.62	5.38	7.9	32.5
20	3.60	82.26	17.5	15	3.2	20.6	0.40	12.0	6.29	5.71	7.4	35.0
19	4.00	89.46	19.0	15	3.2	22.2	0.40	12.0	5.96	6.04	6.8	37.5
18	4.40	96.66	20.5	15	3.2	23.7	0.40	12.0	5.63	6.37	6.4	40.0
17	4.80	103.86	22.0	15	3.2	25.2	0.40	12.0	5.30	6.70	6.0	42.5
16	5.20	111.06	23.6	15	3.2	26.7	0.40	12.0	4.97	7.03	5.7	45.0
15	5.60	118.26	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.64	7.36	5.4	47.4
14	6.00	125.46	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	4.31	7.69	5.1	49.9
13	6.40	132.66	28.1	15	3.2	31.3	0.40	12.0	3.97	8.03	4.8	52.3
12	6.80	139.86	29.7	15	3.2	32.9	0.40	12.0	3.64	8.36	4.6	54.8
11	7.20	147.06	31.2	15	3.2	34.4	0.40	12.0	3.31	8.69	4.4	57.2
10	7.60	154.26	32.7	15	3.2	35.9	0.40	12.0	2.98	9.02	4.2	59.7
9	8.00	161.46	34.3	15	3.2	37.4	0.40	12.0	2.65	9.35	4.1	62.1
8	8.40	168.66	35.8	15	3.2	39.0	0.40	12.0	2.32	9.68	3.9	64.5
7	8.80	175.86	37.3	15	3.2	40.5	0.40	12.0	1.99	10.01	3.7	67.0
6	9.20	183.06	38.8	15	3.2	42.0	0.40	12.0	1.66	10.34	3.6	69.4
5	9.60	190.26	40.4	15	3.2	43.5	0.40	12.0	1.32	10.68	3.5	71.8
4	10.00	197.46	41.9	15	3.2	45.1	0.40	12.0	0.99	11.01	3.4	74.2
3	10.40	204.66	43.4	15	3.2	46.6	0.40	12.0	0.66	11.34	3.3	76.7
2	10.80	211.86	44.9	15	3.2	48.1	0.40	12.0	0.33	11.67	3.2	79.1
1	11.20	219.06	46.5	15	3.2	49.7	0.40	12.0	0.00	12.00	3.1	81.5

EK-1. (devam) Z) Geogrid donatılı duvar tasarımı hesap sayfası (G4-M6 için yapılan hesaplar)

GEOGRİD DONATILI DUVAR TASARIMI HESAP SAYFASI

Ön Yüz Eğimli (α ≥ 10°)

İç Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Kopmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{kop}$	1.5
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı	$(F.S)_{sıy}$	1.5
Dış Tahkik Güvenlik Katsayıları		
Devrilmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{devrilme}$	2.5
Ötelenmeye karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{ötelenme}$	1.5
Taşıma gücüne karşı güvenlik katsayısı	$(FS)_{taşıma}$	2.5
Geogrid Dayanım Azaltma Katsayıları		
Sünmeye karşı	K_{sn}	1.42
Yerleştirme hasarına karşı	K_{yr}	1.11
Yıpranmaya karşı	K_{yp}	1.15
Geogrid Kopma Dayanımı		
Nihai kopma dayanımı	T_u	110 kN/m
Tasarım kopma dayanımı	T_a	60.7 kN/m
Dolgu Malzemesine Ait Parametreler		
Birim hacim ağırlık	γ_1	17 kN/m³
İçsel sürtünme açısı	ϕ	30.0 °
Ara yüzey sıyrılma direnci katsayısı	P	0.31
Aktif yanal zemin basınç katsayısı	K_a	0.21
Duvara Ait Parametreler		
Duvarın üstündeki dolgunun eşdeğer kalınlığı	D	0.97 m
Duvar yüksekliği	H	11.2 m
Duvarın üstündeki dolgunun yatayla yaptığı açı	β	26 °
Ön yüz eğim açısı (düşeyden sapma açısı)	α	20 °
Ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı	θ	110 °
tan (ψ − ϕ)		0.193 1.096 0.176
Yenilme düzleminin açısı	ψ	40 °



Katman No	z	$\sigma_{v\,(dolgu)}$	$\sigma_{H\,(dolgu)}$	q	σ_{Hq}	$\sigma_{H\,(toplam)}$	S_V	L	ℓ_R	ℓ_e	$(F.S)_{kop}$	$(F.S)_{sıy}$
28	0.40	23.29	4.9	15	3.2	8.1	0.40	12.0	8.94	3.06	18.7	13.5
27	0.80	30.09	6.4	15	3.2	9.6	0.40	12.0	8.61	3.39	15.9	16.4
26	1.20	36.89	7.8	15	3.2	11.0	0.40	12.0	8.28	3.72	13.8	19.2
25	1.60	43.69	9.3	15	3.2	12.5	0.40	12.0	7.95	4.05	12.2	21.9
24	2.00	50.49	10.7	15	3.2	13.9	0.40	12.0	7.62	4.38	10.9	24.5
23	2.40	57.29	12.2	15	3.2	15.3	0.40	12.0	7.29	4.71	9.9	27.1
22	2.80	64.09	13.6	15	3.2	16.8	0.40	12.0	6.96	5.04	9.0	29.7
21	3.20	70.89	15.0	15	3.2	18.2	0.40	12.0	6.62	5.38	8.3	32.2
20	3.60	77.69	16.5	15	3.2	19.7	0.40	12.0	6.29	5.71	7.7	34.7
19	4.00	84.49	17.9	15	3.2	21.1	0.40	12.0	5.96	6.04	7.2	37.2
18	4.40	91.29	19.4	15	3.2	22.5	0.40	12.0	5.63	6.37	6.7	39.7
17	4.80	98.09	20.8	15	3.2	24.0	0.40	12.0	5.30	6.70	6.3	42.2
16	5.20	104.89	22.3	15	3.2	25.4	0.40	12.0	4.97	7.03	6.0	44.7
15	5.60	111.69	23.7	15	3.2	26.9	0.40	12.0	4.64	7.36	5.6	47.1
14	6.00	118.49	25.1	15	3.2	28.3	0.40	12.0	4.31	7.69	5.4	49.6
13	6.40	125.29	26.6	15	3.2	29.8	0.40	12.0	3.97	8.03	5.1	52.0
12	6.80	132.09	28.0	15	3.2	31.2	0.40	12.0	3.64	8.36	4.9	54.5
11	7.20	138.89	29.5	15	3.2	32.6	0.40	12.0	3.31	8.69	4.6	56.9
10	7.60	145.69	30.9	15	3.2	34.1	0.40	12.0	2.98	9.02	4.5	59.3
9	8.00	152.49	32.3	15	3.2	35.5	0.40	12.0	2.65	9.35	4.3	61.8
8	8.40	159.29	33.8	15	3.2	37.0	0.40	12.0	2.32	9.68	4.1	64.2
7	8.80	166.09	35.2	15	3.2	38.4	0.40	12.0	1.99	10.01	3.9	66.7
6	9.20	172.89	36.7	15	3.2	39.9	0.40	12.0	1.66	10.34	3.8	69.1
5	9.60	179.69	38.1	15	3.2	41.3	0.40	12.0	1.32	10.68	3.7	71.5
4	10.00	186.49	39.6	15	3.2	42.7	0.40	12.0	0.99	11.01	3.5	73.9
3	10.40	193.29	41.0	15	3.2	44.2	0.40	12.0	0.66	11.34	3.4	76.4
2	10.80	200.09	42.4	15	3.2	45.6	0.40	12.0	0.33	11.67	3.3	78.8
1	11.20	206.89	43.9	15	3.2	47.1	0.40	12.0	0.00	12.00	3.2	81.2

Gazili olmak ayrıcalıktır…