



**GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARI TASARIMINDA ÖN YÜZ EĞİM
AÇISININ GEOGRİDLERİN KOPMAYA VE SIYRILMAYA KARŞI
GÜVENLİK KATSAYILARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

Seray Gül Bersu ÖZEL

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

OCAK 2025

ETİK BEYAN

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

- 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 çalışmada 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.

Seray Gül Bersu ÖZEL

10/01/2025

GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARI TASARIMINDA ÖN YÜZ EĞİM AÇISININ GEOGRİDLERİN KOPMAYA VE SIYRILMAYA KARŞI GÜVENLİK KATSAYILARI ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

(Yüksek Lisans Tezi)

Seray Gül Bersu ÖZEL

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ocak 2025

ÖZET

Bu çalışmada, geogrid donatılı istinat duvarı (GGD duvar) tasarımında duvarın ön yüz eğim açısının (ω) geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla 3 farklı yüksekliğe sahip 9 farklı GGD duvar tasarlanmıştır. Duvar yüksekliği $H=5$ m, 10 m ve 15 m, geogridlerin düşey yerleştirme aralığı ise her bir duvarda $S_v=0,40$ m, 0,50 m ve 0,60 m olarak tasarlanmıştır. $H=10$ m ve $S_v=0,50$ m olarak tasarlanan GGD duvarda kopma dayanımları birbirinden farklı 3 tip geogrid, diğer GGD duvarlarda ise tek tip geogrid kullanılmıştır. Tüm analizlerde geogrid serim uzunluğu (L boyu) GGD duvar yüksekliğine eşit kabul edilmiştir. GGD duvar imalatında kullanılan granüler geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı $\phi=30^\circ$, birim hacim ağırlığı $\gamma=19$ kN/m³, kohezyon değeri $c=0$ olarak kabul edilmiştir. GGD duvarın üzerinde $D=0,97$ m kalınlığında ilave bir dolgunun bulunduğu, bu dolgunun ön yüzünün yatayla $\beta=26^\circ$ açı yaptığı ve üzerinde $q=15$ kN/m² sürşarj yükü bulunduğu kabul edilmiştir. Tüm analizlerde duvarın ön yüz eğim açısı ilk aşamada $\omega=0^\circ$ den 10° ye, daha sonra 5° lik kademeler halinde 45° ye kadar arttırılmıştır. Her bir durum için geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Böylece toplam 102 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, GGD duvarın ön yüz eğim açısı ile geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı arasında istikrarlı bir ilişki bulunduğu görülmüştür. GGD duvarın ön yüz eğim açısı belli bir derece arttırıldığında geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayıları da belli bir oranda artmaktadır. Örneğin ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den $\omega=20^\circ$ ye çıkartıldığında tüm geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayıları %57,13 oranında artmaktadır. Bu artış oranının ϕ açısı değişmediği müddetçe bütün GGD duvarlar için geçerli olduğu görülmüştür. Ön yüz eğim açısı (ω) ile geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı arasında ise istikrarlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Özellikle ön yüz eğim açısı $\omega \leq 20^\circ$ olan GGD duvarların üst ve orta kısımlarında yer alan geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının önce azaldığı daha sonra artmaya başladığı görülmüştür. Bunun nedeninin ω açısı ile ψ açısı arasındaki ilişkiden kaynaklandığı değerlendirilmiştir.

Bilim Kodu : 91105

Anahtar Kelimeler : Geogrid, istinat duvarı, geogrid donatılı duvar, toprakarme duvar

Sayfa Adedi : 183

Danışman : Prof. Dr. Mustafa ÖZER

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF THE FACE BATTER ANGLE ON THE FACTORS OF SAFETY AGAINST BOTH RUPTURE AND PULLOUT OF THE GEOGRIDS IN THE GEOGRID REINFORCED RETAINING WALL DESIGN

(M. Sc. Thesis)

Seray Gül Bersu ÖZEL

GAZI UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

January 2025

ABSTRACT

In this study, the effects of the face batter angle of a geogrid reinforced retaining wall on the factor of safety against geogrid rupture and pullout were investigated. For this purpose, 9 different GGD wall designs with three different wall heights were considered. The wall heights were $H = 5$ m, 10 m and 15 m, the vertical placement spacing of the geogrids in each wall was designed as $S_v = 0,40$ m, 0,50 m, and 0,60 m. In the GGD wall with $H = 10$ m and $S_v = 0,50$ m, three types of geogrids with different rupture strengths were used, while a single type of geogrid was used in the other GGD wall designs. In all analyses, the geogrid length (L) was assumed to be equal to the height of the GGD wall. The granular backfill material used in the GGD WALL construction was assumed to have an internal friction angle of $\phi = 30^\circ$, a unit weight of $\gamma = 19$ kN/m³, and a cohesion value of $c=0$. The GGD wall was assumed to have an additional backfill with a thickness of $D=0,97$ m, the face batter angle of $\beta = 26^\circ$ with the horizontal, and was subjected to a surcharge load of $q = 15$ kN/m². In all analyses, the face batter angle of the wall increased initially from $\omega = 0^\circ$ to 10° , and then in 5° increments up to 45° . For each case, the factor of safety against rupture and pullout of the geogrids were calculated. As a result, a stable relationship was found between the front face slope angle of the GGD wall and the increase in safety factors against rupture of the geogrids. When the face batter angle of the GGD wall was increased by a certain degree, the safety factors against rupture of the geogrids also increased by a certain rate. For example, when the face batter angle increased from $\omega = 0^\circ$ to $\omega = 20^\circ$, the safety factors against rupture of all geogrid layers increased by 57,13%. This rate of increase was found to be valid for all GGD walls as long as the ϕ angle remained unchanged. However, no stable relationship was found between the face batter angle (ω) and the increase in safety factors against pullout of the geogrids. Particularly in GGD walls with a front face slope angle of $\omega \leq 20^\circ$, the safety factors against pullout for the geogrids located in the upper and middle sections initially decreased and then started to increase. It was assessed that this behavior was due to the relationship between the ω angle and the ψ angle.

Science Code : 91105

Key Words : Geogrid, retaining wall, mechanically stabilized earth wall

Page Number : 183

Supervisor : Prof. Dr. Mustafa ÖZER

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmalarım süresince yardımlarını ve katkılarını esirgemeyen, her konuda destek veren, kıymetli tecrübelerinden faydalandığım değerli hocam Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Prof. Dr. Mustafa ÖZER'e sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Lisans eğitimimden başlayarak yüksek lisans eğitimim süresince bilgilerinden ve tecrübelerinden faydalandığım Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü hocalarıma da teşekkürü bir borç bilirim.

Bu süreçte desteklerini esirgemeyen, mensubu olmaktan onur duyduğum, TMC Proje Müşavirlik Mühendislik İnşaat Ticaret Ltd. Şti. ailesine; Sayın İnş. Müh. Talip METE'ye, Sayın İnş. Müh. Muhammed Çağrı ERKEN'e, Sayın İnş. Müh. Samet GİDİŞ'e ve Sayın İnş. Yük. Müh. Anıl ODABAŞ'a her konuda yardımcı oldukları için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her kararına saygı duyan, desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen ve bu hayatta en kıymetli varlığım olan canım aileme; annem Meryem ÖZEL'e, babam Özay ÖZEL'e ve ablam Selinay ÖZEL'e her anımda yanımda oldukları için teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. GEOSENTETİKLER	5
2.1. Geosentetik Türleri.....	5
2.1.1. Geotekstiller	5
2.1.2. Geonetler	7
2.1.3. Geomembranlar	8
2.1.4. Geosentetik kil örtüler.....	9
2.1.5. Geoceller	10
2.1.6. Geofoam.....	11
2.1.7. Geokompozit	12
2.1.8. Geogridler	13
3. GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARI.....	21
3.1. Tanım	21
3.2. Avantaj ve Dezavantajlar	21
3.2.1. Avantajlar.....	21
3.2.2. Dezavantajlar.....	22
3.3. Bir Geogrid donatılı İstinat Duvarı Yapımında Kullanılan Malzemeler.....	22
3.3.1. Dolgu malzemesi.....	23

	Sayfa
3.3.2. Donatı malzemesi.....	23
3.3.3. Prekast yüzey panelleri	24
3.4. Geogrid Donatılı İstinat Duvarı Tasarım Aşamaları	27
3.4.1. İç duraylılık analizleri	28
4. MALZEME VE YÖNTEM	35
4.1. Malzemeler.....	35
4.1.1. Geogrid.....	35
4.1.2. Geri dolgu malzemesi	35
4.2. Yöntem	36
4.2.1. Stabilite analiz yöntemleri.....	36
5. $H=10$ m ve $S_v=0,5$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR	37
5.1. Geogrid – 1 İçin Yapılan Çözümlemeler	37
5.1.1. $\omega=0^\circ$ İçin çözümleme.....	37
5.1.2. $\omega=10^\circ$ İçin çözümleme.....	48
5.1.3. $\omega=15^\circ$ İçin çözümleme.....	54
5.1.4. $\omega=20^\circ$ İçin çözümleme.....	58
5.1.5. $\omega=25^\circ$ İçin çözümleme.....	62
5.1.6. $\omega=30^\circ$ İçin çözümleme.....	66
5.1.7. $\omega=35^\circ$ İçin çözümleme.....	69
5.1.8. $\omega=40^\circ$ İçin çözümleme.....	72
5.1.9. $\omega=45^\circ$ İçin çözümleme.....	75
5.1.10. GGD Duvarın ön yüz eğim açısı (ω°) ile potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ°) arasındaki ilişkinin incelenmesi	79
5.1.11. Geogrid – 1 için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi	80
5.1.13. Geogrid – 1 için elde edilen sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi	86

	Sayfa
5.2. Geogrid – 2 İçin Yapılan Çözümler	92
5.2.1. $\omega=0^\circ$ İçin çözümleme.....	93
5.2.2. $\omega=10^\circ$ İçin çözümleme.....	95
5.2.3. $\omega=15^\circ$ İçin çözümleme.....	97
5.2.4. $\omega=20^\circ$ İçin çözümleme.....	99
5.2.5. $\omega=25^\circ$ İçin çözümleme.....	101
5.2.6. $\omega=30^\circ$ İçin çözümleme.....	103
5.2.7. $\omega=35^\circ$ İçin çözümleme.....	106
5.2.8. $\omega=40^\circ$ İçin çözümleme.....	108
5.2.9. $\omega=45^\circ$ İçin çözümleme.....	110
5.2.10. Geogrid – 2 için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi	112
5.3. Geogrid – 3 İçin Yapılan Çözümler	118
5.3.1. $\omega=0^\circ$ İçin çözümleme.....	118
5.3.2. $\omega=10^\circ$ İçin çözümleme.....	120
5.3.3. $\omega=15^\circ$ İçin çözümleme.....	122
5.3.4. $\omega=20^\circ$ İçin çözümleme.....	124
5.3.5. $\omega=25^\circ$ İçin çözümleme.....	126
5.3.6. $\omega=30^\circ$ İçin çözümleme.....	128
5.3.7. $\omega=35^\circ$ İçin çözümleme.....	130
5.3.8. $\omega=40^\circ$ İçin çözümleme.....	132
5.3.9. $\omega=45^\circ$ İçin çözümleme.....	134
5.3.10. Geogrid – 3 için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi	136
6. $H=10$ m ve $S_v=0,4$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR	143
7. $H=10$ m ve $S_v=0,6$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR	147
8. $H=5$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR	151

	Sayfa
8.1. $S_v=0,4$ m İçin Yapılan Çözümler	151
8.2. $S_v=0,5$ m İçin Yapılan Çözümler	154
8.3. $S_v=0,6$ m İçin Yapılan Çözümler	157
9. $H=15$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR	161
9.1. $S_v=0,4$ m İçin Yapılan Çözümler	161
9.2. $S_v=0,5$ m İçin Yapılan Çözümler	165
9.3. $S_v=0,6$ m İçin Yapılan Çözümler	169
10. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	173
KAYNAKLAR	179
ÖZGEÇMİŞ	183

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Geogridlerin sınıflandırılması	14
Çizelge 2.2. Geosentetikler ve işlevleri.....	19
Çizelge 3.1. Dolgu malzemesi için istenilen malzeme gradasyon sınırları.....	23
Çizelge 4.1. Analiz aşamalarında kullanılan geogridlerin mekanik özellikleri	35
Çizelge 5.1. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları	46
Çizelge 5.2. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları	47
Çizelge 5.3. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları	52
Çizelge 5.4. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları	53
Çizelge 5.5. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları	56
Çizelge 5.6. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları	57
Çizelge 5.7. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları	60
Çizelge 5.8. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları	61
Çizelge 5.9. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları	64
Çizelge 5.10. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları.....	65
Çizelge 5.11. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları.....	67
Çizelge 5.12. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları.....	68
Çizelge 5.13. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları.....	70
Çizelge 5.14. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinın sonuçları.....	71

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.15. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	73
Çizelge 5.16. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları.....	74
Çizelge 5.17. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	77
Çizelge 5.18. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları.....	78
Çizelge 5.19. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	81
Çizelge 5.20. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{kopma}$ değerleri	82
Çizelge 5.21. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları.....	85
Çizelge 5.22. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{sıyırılma}$ arasındaki ilişki	87
Çizelge 5.23. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{sıyırılma}$ değerleri	88
Çizelge 5.24. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $FS_{sıyırılma}$ değerlerindeki % artış oranları.....	90
Çizelge 5.25. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	94
Çizelge 5.26. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	96
Çizelge 5.27. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	98
Çizelge 5.28. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	100
Çizelge 5.29. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	102

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.30. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	105
Çizelge 5.31. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	107
Çizelge 5.32. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	109
Çizelge 5.33. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	111
Çizelge 5.34. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m olarak ve Geogrid – 2 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	113
Çizelge 5.35. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 2 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{kopma}$ değerleri	114
Çizelge 5.36. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 2 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları.....	117
Çizelge 5.37. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	119
Çizelge 5.38. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	121
Çizelge 5.39. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	123
Çizelge 5.40. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	125
Çizelge 5.41. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	127
Çizelge 5.42. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	129
Çizelge 5.43. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	131
Çizelge 5.44. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	133
Çizelge 5.45. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları.....	135

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.46. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 3 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	137
Çizelge 5.47. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m ve Geogrid – 3 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{kopma}$ değerleri.....	138
Çizelge 5.48. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m ve Geogrid – 3 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	141
Çizelge 6.1. $H=10$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	144
Çizelge 6.2. $H=10$ m, $S_v= 0,40$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	145
Çizelge 7.1. $H=10$ m, $S_v= 0,60$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	148
Çizelge 7.2. $H=10$ m, $S_v= 0,60$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	149
Çizelge 8.1. $H=5$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	152
Çizelge 8.2. $H=5$ m, $S_v= 0,40$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	153
Çizelge 8.3. $H=5$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	155
Çizelge 8.4. $H=5$ m, $S_v= 0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	156
Çizelge 8.5. $H=5$ m, $S_v= 0,60$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	158

Çizelge	Sayfa
Çizelge 8.6. $H=5$ m, $S_v= 0,60$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	159
Çizelge 9.1. $H=15$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki (1/2).....	162
Çizelge 9.2. $H=15$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki (2/2).....	163
Çizelge 9.3. $H=15$ m, $S_v= 0,40$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	164
Çizelge 9.4. $H=15$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki (1/2).....	166
Çizelge 9.5. $H=15$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki (2/2).....	167
Çizelge 9.6. $H=15$ m, $S_v= 0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	168
Çizelge 9.7. $H=15$ m, $S_v= 0,60$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki	170
Çizelge 9.8. $H=15$ m, $S_v= 0,60$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları	171

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Örgülü geotekstil örneği	7
Şekil 2.2. Örgüsüz geotekstil örneği	7
Şekil 2.3. Geonet örneği.....	8
Şekil 2.4. Geonet ve geotekstil örneği (Geokompozit).....	8
Şekil 2.5. Geomembran uygulama örneği.....	9
Şekil 2.6. Geosentetik kil örtü örneği	10
Şekil 2.7. Geocell örneği.....	11
Şekil 2.8. Geocell uygulama örneği	11
Şekil 2.9. Geofoam uygulama örneği	12
Şekil 2.10. Geogridin mekanik kenetlemesi	13
Şekil 2.11. Ekstrüde geogrid örneği.....	15
Şekil 2.12. Kaynaklı geogrid örneği	16
Şekil 2.13. Dikişli geogrid örneği	16
Şekil 2.14. Tek yönlü geogrid örneği.....	17
Şekil 2.15. Çift yönlü geogrid.....	18
Şekil 2.16. Üç yönlü geogrid örneği	18
Şekil 3.1. GGD duvar ve yapı elemanları	22
Şekil 3.2. Ön yüz panelleri kullanılarak ve çelik şeritlerle güçlendirilerek yapılan bir köprü yaklaşım dolgusu imalat aşamasından bir görünüm	24
Şekil 3.3. Ön yüz panelleri kullanılarak çelik şeritlerle güçlendirilmiş köprü yaklaşım dolgusu örneği.....	25
Şekil 3.4. Geogridle birlikte kullanılan çeşitli ön yüzey elemanları.....	26
Şekil 3.5. GGD duvar tasarımında kullanılan bazı kavramlar	33
Şekil 5.1. $H=10$ m ve $S_v=0,5$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi	37
Şekil 5.2. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi	38

Şekil	Sayfa
Şekil 5.3. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	48
Şekil 5.4. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	55
Şekil 5.5. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	59
Şekil 5.6. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	63
Şekil 5.7. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	66
Şekil 5.8. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	69
Şekil 5.9. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	72
Şekil 5.10. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	76
Şekil 5.11. $\omega - \psi$ ilişkisi	80
Şekil 5.12. Geogrid – 1 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} ilişkisi.....	82
Şekil 5.13. Geogrid – 1 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	83
Şekil 5.14. Geogrid – 1 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	83
Şekil 5.15. Geogrid – 1 için $z=1,0$ m; $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği.....	85
Şekil 5.16. Geogrid – 1 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve $FS_{sıyırılma}$ grafiği	88
Şekil 5.17. Geogrid – 1 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve $FS_{sıyırılma}$ grafiği	89
Şekil 5.18. Geogrid – 1 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve $FS_{sıyırılma}$ grafiği	89
Şekil 5.19. Geogrid – 1 için $z=1,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{sıyırılma}$ artış oranı grafiği.....	91
Şekil 5.20. Geogrid – 1 için $z=5,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{sıyırılma}$ artış oranı grafiği.....	91
Şekil 5.21. Geogrid – 1 için $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{sıyırılma}$ artış oranı grafiği.....	92

Şekil	Sayfa
Şekil 5.22. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	93
Şekil 5.23. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	95
Şekil 5.24. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	97
Şekil 5.25. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	99
Şekil 5.26. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	101
Şekil 5.27. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	104
Şekil 5.28. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	106
Şekil 5.29. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	108
Şekil 5.30. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	110
Şekil 5.31. Geogrid – 2 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	114
Şekil 5.32. Geogrid – 2 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	115
Şekil 5.33. Geogrid – 2 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	115
Şekil 5.34. Geogrid – 2 için $z=1,0$ m; $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği.....	117
Şekil 5.35. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	118
Şekil 5.36. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	120
Şekil 5.37. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	122
Şekil 5.38. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	124
Şekil 5.39. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	126

Şekil	Sayfa
Şekil 5.40. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	128
Şekil 5.41. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	130
Şekil 5.42. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	132
Şekil 5.43. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	134
Şekil 5.44. Geogrid – 3 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	138
Şekil 5.45. Geogrid – 3 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	139
Şekil 5.46. Geogrid – 3 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği.....	139
Şekil 5.47. Geogrid – 3 için $z=1,0$ m; $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği.....	141
Şekil 6.1. $H=10$ m ve $S_v=0,4$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	143
Şekil 6.2. Geogrid – 1 için $H=10,00$ m ve $S_v=0,40$ m çözümlemesinde $z=0,40$ m; $z=5,20$ m ve $z=10,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği	145
Şekil 7.1. $H=10$ m ve $S_v=0,6$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	147
Şekil 7.2. Geogrid – 1 için $H=10,00$ m ve $S_v=0,60$ m çözümlemesinde $z=0,60$ m; $z=5,40$ m ve $z=10,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği	149
Şekil 8.1. $H=5$ m ve $S_v=0,4$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	151
Şekil 8.2. Geogrid – 1 için $H=5,00$ m ve $S_v=0,40$ m çözümlemesinde $z=0,40$ m; $z=2,40$ m ve $z=5,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği.....	153
Şekil 8.3. $H=5$ m ve $S_v=0,5$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	154
Şekil 8.4. Geogrid – 1 için $H=5,00$ m ve $S_v=0,50$ m çözümlemesinde $z=0,50$ m; $z=2,50$ m ve $z=5,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği.....	156
Şekil 8.5. $H=5$ m ve $S_v=0,6$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi.....	157
Şekil 8.6. Geogrid – 1 için $H=5,00$ m ve $S_v=0,60$ m çözümlemesinde $z=0,60$ m; $z=2,40$ m ve $z=5,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği.....	159

Şekil	Sayfa
Şekil 9.1. $H=15$ m ve $S_v=0,4$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi	161
Şekil 9.2. Geogrid – 1 için $H=15,00$ m ve $S_v=0,40$ m çözümlemesinde $z=0,40$ m; $z=7,60$ m ve $z=15,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği	164
Şekil 9.3. $H=15$ m ve $S_v=0,5$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi	165
Şekil 9.4. Geogrid – 1 için $H=15,00$ m ve $S_v=0,50$ m çözümlemesinde $z=0,50$ m; $z=7,50$ m ve $z=15,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği	168
Şekil 9.5. $H=15$ m ve $S_v=0,6$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi	169
Şekil 9.6. Geogrid – 1 için $H=15,00$ m ve $S_v=0,60$ m çözümlemesinde $z=0,60$ m; $z=7,80$ m ve $z=15,00$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği	171
Şekil 10.1. GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω) ile geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı $\% (FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki.....	175
Şekil 10.2. GGD duvar tasarımında $\omega - \psi$ ilişkisi.....	176

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
c	Dolgu zeminin kohezyonu
cm	Santimetre
D ₁₀	Zeminin elekten %10'unun geçtiği dane çapıdır
D ₅₀	Zeminin elekten %50'sinin geçtiği dane çapıdır
FS _{kopma}	Geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısı
FS _{sıyırılma}	Geogridin sıyırılmaya karşı güvenlik katsayısı
H	Geogrid donatılı duvar yüksekliği
K _s	Sünmeye karşılık azaltma katsayısı
K _y	Yerleşmede oluşabilecek hasar için azaltma katsayısı
K _d	Durabiliteye karşılık azaltma katsayısı
K _a	Aktif toprak basıncı katsayısı
L	Geogrid donatı uzunluğu
L'	Sürşarj yükünün etki ettiği yatay mesafe
l _e	Sıyırılmaya karşı emniyetli geogrid ankraj uzunluğu
l _r	Rankine kamasının içerisinde kalan uzunluk
m	Metre
mm	Milimetre
°	Derece
P	Sıyırılma direnci katsayısı
S _v	Düşey donatı (geogrid) aralığı
T _a	Geogridin izin verilen kopma dayanımı
T _{an}	Tanjant
T _{mak}	Geogride etki eden en büyük kopma kuvveti
T _u	Geogridin fabrika çıkışı kopma dayanımı
T _{ult}	Üretim yönünde geogridin nihai kopma dayanımı
z	Geogrid donatının zemin yüzeyine göre derinliği

Simgeler**Açıklamalar**

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
σ'_{hq}	Sürşarj kuvvetinden kaynaklanan yanıl zemin basıncı
σ'_{hs}	Dolgu ağırlığından kaynaklanan yanıl zemin basıncı
σ'_v	Düşey efektif gerilme
Σ_{Fv}	Duvarın toplam düşey ağırlığı
σ'_H	Toplam yanıl zemin basıncı

Kısaltmalar**Açıklamalar**

ASTM	Amerikan Society of Testing and Materials
IGS	International Geosynthetics Society
MS Excell	Microsoft Excell
PA	Poliamid
PE	Polietilen
PET	Polietilen tereftalat/polyester
PP	Polipropilen
PVC	Polivinil klorür
EPDM	Etilen Propilen Dien Monomer
FS	Güvenlik katsayısı
GGD Duvar	Geogrid donatılı duvar

1. GİRİŞ

İnşaat mühendisliği uygulamalarında güçlendirme, ayırma, süzme (filtrasyon), sızdırmazlık (geçirimsizlik), dolgu, drenaj ve erozyon kontrolü gibi amaçlarla zemin ortamının içinde kullanılan polimerik malzemelerden üretilmiş düzlemsel, şerit veya üç boyutlu endüstriyel ürünlere “geosentetik” adı verilmektedir. Geosentetik kelimesi genel bir terim olup geogrid, geotekstil, geomembran, geosel, geonet, geomat, geofom, geosentetik kil örtü gibi birçok alt türü kapsamaktadır [1,2].

Geosentetikler genellikle Polietilen (PE), Polipropilen (PP), Polyester-Polietilen Teraftalat (PET), Polivinil Klorit (PVC), Poliyamit-Naylon (PA), Polisitiren (PS) ve Etilen Propilen Dien Terpolimer (EPDM) gibi petrol türevi plastik polimerik malzemelerden üretilmektedir [3]. Plastiklerin endüstriyel bir malzeme olarak geliştirilmesi ve endüstride kullanılması 1950’li yıllarda başlamıştır. Buna bağlı olarak da geosentetikler ile ilgili ilk üretimler ve yayınlar 1960’lı yıllarda geosentetiklerin filtre ve donatı olarak kullanımları ile başlamıştır [4].

İnşaat mühendisliği uygulamalarında en çok kullanılan geosentetik türlerinden birisi geogridlerdir. Geogridler, dikdörtgen açıklıklar meydana getirecek şekilde birbirine bağlı çekme elemanlarından oluşan, çekme elemanları birbirine ekstrüzyonla, yapıştırma ile veya geçmeyle tutturulmuş, göz açıklığının boyutları, çekme elemanlarının genişliğinden daha büyük, ağ veya ızgara şeklinde üretilen düzlemsel ürünlerdir [1,2].

Geogridlerin en çok kullanıldığı inşaat mühendisliği uygulamalarından birisi geogrid donatılı istinat duvarı yapımıdır. Mekanik olarak stabilize edilmiş toprak olarak da bilinen donatılı zemin kavramı; ilk olarak Fransız mimar ve mühendis olan Henri Vidal tarafından 1960’lı yılların başlarında ortaya atılmıştır. Henri Vidal zeminin güçlendirilmesi için çelik şeritler kullanmıştır. Metal şeritlerle güçlendirilmiş ilk toprakarme istinat duvarı 1972’de Amerika Birleşik Devletleri’nde Güney Kaliforniya’da inşa edilmiştir [5]. Sonraki yıllarda polimerik ürünlerin geliştirilmesiyle birlikte istinat duvarlarının yapımında ilk önce geotekstiller, sonrasında ise geogridler kullanılmaya başlanmıştır [6]. Geotekstille güçlendirilmiş ilk istinat duvarı 1971 yılında Fransa’da inşa edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri’nde ise geotekstille güçlendirilmiş ilk istinat duvarı 1974 yılında inşa edilmiştir

[7]. Ülkemizde ise ilk geosentetikle güçlendirilmiş istinat duvarı 1997 yılında Altunizade’de Limak İnşaat tarafından yapılmakta olan Altunizade-Ümraniye bağlantı yolu kapsamında inşa edilmiştir [4,8]. 1980’li yıllardan sonra ise dünya genelinde, geotekstil kullanılarak istinat duvarı yapımında önemli bir artış meydana gelmiştir [7]. 1980’li yıllarda geogridlerin ticari bir ürün olarak geliştirilmesinin ardından geosentetik donatılı duvar yapımında geotekstillerin yerini yavaş yavaş geogridler almaya başlamıştır. Geogridle güçlendirilmiş ilk istinat duvarı yapımı 1981’de gerçekleştirilmiştir [7]. Günümüzde artık geosentetikle güçlendirilmiş istinat duvarlarının yapımında yaygın olarak geogrid kullanılmaktadır [9].

Zeminin geogrid kullanılarak güçlendirilmesiyle inşa edilmiş istinat duvarlarına, ülkemizde “geogridle güçlendirilmiş istinat duvarı”, “toprakarme duvar”, donatılı zemin duvar”, “geogrid donatılı istinat duvarı” veya “geoduvvar” gibi isimler verilmektedir. İngilizce kaynaklarda ise bu yapılar “mechanically stabilized earth wall” olarak adlandırılmakta ve kısaca “MSE wall” olarak ifade edilmektedir [6]. Ülkemizde yaygın olarak kullanıldığından bu çalışmada “geogrid donatılı istinat duvarı” terimi benimsenmiştir. Yazım kolaylığı açısından “geogrid donatılı istinat duvarı” terimi bu çalışmada “GGD duvar” olarak kısaltılmıştır.

Dünyadaki gelişmelere paralel olarak ülkemizde de GGD duvarlarının sayısında hızlı bir artış görülmektedir. Bununla birlikte, GGD duvarlara yönelik saha çalışmalarını kapsayan akademik çalışmalarda da artış görülmektedir. Bu çalışmalardan bazıları şöyledir;

Yıldırım, E. tarafından 2019 yılında gerçekleştirilen çalışmada betonarme konsol duvar ve geogrid donatılı istinat duvarlarının farklı yükseklik, içsel sürtünme açısı ve farklı sürşarj yükleri altındaki maliyet değişimleri incelenmiştir [10].

Yumurtaş vd. tarafından 2022 yılında gerçekleştirilen çalışmada ise dolgu stabilizasyonunu sağlamak amacıyla yapılan betonarme istinat duvarı ile geosentetik (geogrid) donatılı istinat yapısı maliyet, yapım süresi, hizmete açılma süresi, estetiklik ve hizmet ömrü kriterleri dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir [11].

Özer ve Çelebi [6] tarafından GGD duvar imalatında kullanılan geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının ve birim hacim ağırlığının kopmaya karşı güvenlik katsayıları

üzerindeki etkisi araştırılmış ve içsel sürtünme açısı arttıkça kopmaya karşı güvenlik katsayılarının da arttığını, kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranının içsel sürtünme açısındaki artış oranından yaklaşık 2 kat fazla olduğunu bulmuşlardır. Özer ve Çelebi [6], dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığının ise kopmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin fazla olmadığını belirlemişlerdir [6].

Bu çalışmada ise geogrid donatılı istinat duvarlarının ön yüz eğim açısının (ω) geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu amaçla kurgusal olarak tasarlanmış 9 farklı GGD duvar üzerinde iç duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Kurgusal olarak tasarlanmış olan bu duvarlarda, duvar yüksekliği $H=5$, 10 ve 15 m, geogridlerin düşey yerleştirme aralığı ise her bir duvarda $S_v= 0,40$ m, 0,50 m ve 0,60 m olarak alınmıştır. $H=10$ m ve $S_v= 0,50$ m olarak tasarlanan GGD duvarda kopma dayanımları birbirinden farklı 3 tip geogrid kullanılmıştır. Diğer GGD duvar analizlerinde tek tip geogrid kullanılmıştır. GGD duvar imalatında kullanılan geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı $\phi=30^\circ$, birim hacim ağırlığı ise $\gamma=19$ kN/m³ olarak kabul edilmiştir. Geri dolgu malzemesinin iri taneli granüler bir malzeme olması nedeniyle kohezyon değeri $c=0$ (sıfır) olarak alınmıştır. Tüm analizlerde duvarın üzerinde $D=0,97$ m kalınlığında ilave bir dolgunun bulunduğu, dolgunun ön yüzeyinin yatayla $\beta=26^\circ$ açı yaptığı ve bu dolgunun üzerinde $q=15$ kN/m² sürşarj yükü bulunduğu kabul edilmiştir. Tüm analizlerde geogrid serim uzunluğu (L boyu) GGD duvar yüksekliğine eşit kabul edilmiştir. Tüm analizlerde duvarın ön yüz eğim açısı (ω) $0^\circ - 45^\circ$ arasında değiştirilmiştir. Ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ için verilen formüller ön yüz eğim açısı 10° ye kadar geçerli olduğundan ilk etapta ön yüz eğim açısı 0° den 10° ye arttırılmış, daha sonra 5'er derecelik artırımlarla 45° ye kadar çıkartılmıştır. Her bir durum için geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Böylece toplam 102 adet analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde geosentetik literatürüne uygun olarak geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları $FS=1,50$ olarak alınmıştır [7,9].

Tüm hesaplamalar, bu çalışma için hazırlanmış olan bir Excel sayfası kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek GGD duvar tasarımında duvar ön yüz eğim açısının önemi ortaya koyulmaya çalışılmıştır.

2. GEOSENTETİKLER

Günümüzde kullanılan sekiz tür geosentetik bulunmaktadır. Bu geosentetik türleri aşağıda sunulmuştur [12]:

- Geotekstilller
- Geogridler
- Geonetler
- Geomembranlar
- Geosentetik kil örtüler
- Geocell
- Geofoam ve
- Geokompozitler

2.1. Geosentetik Türleri

Bu bölümde geosentetik türleri hakkında kısa bilgiler sunulmuş olup bu tez çalışmasının temelini oluşturan geogridler ise ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

2.1.1. Geotekstilller

American Society for Testing and Materials (ASTM) geotekstilleri; bir inşaat projesi, yapı veya sistemin parçası olarak zemin, toprak, kaya veya diğer geoteknik mühendisliği ile ilgili bir malzemeye beraber kullanılan geçirimli tekstil ürünü olarak tanımlamaktadır. Geotekstilller; esnek bir tabaka halinde, düzlemsel ve geçirgen özelliği bulunan polimerik bir tekstil ürünüdür [13].

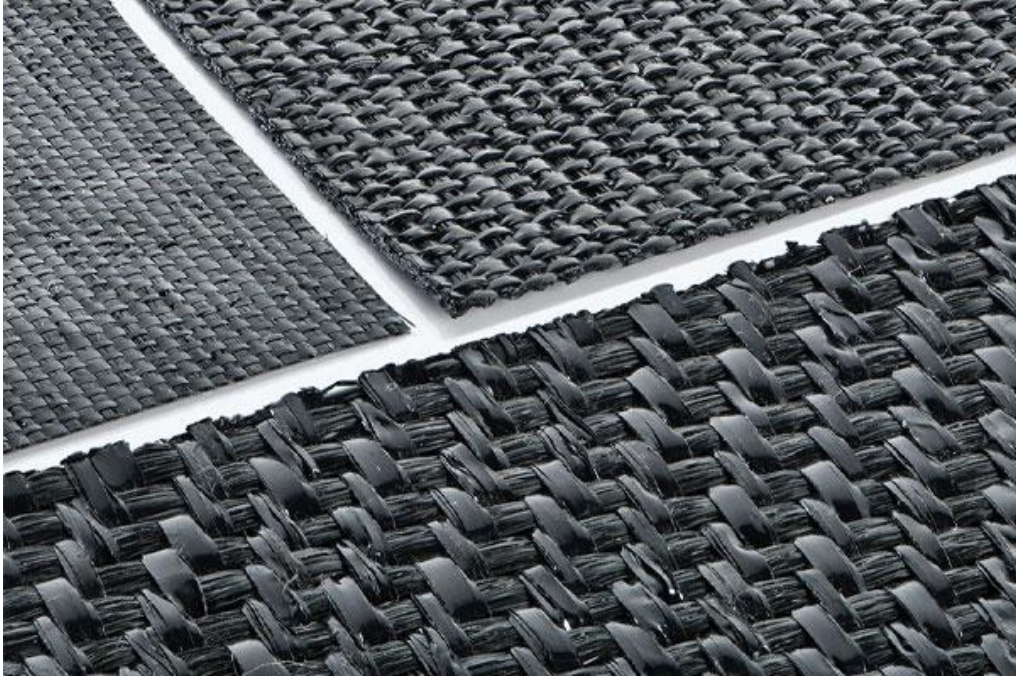
Geotekstilller, üretim sürecine bağlı olarak örgülü ve örgüsüz olmak üzere iki ana kategoriye ayrılmıştır. Örgülü geotekstilller, geleneksel dokuma tezgahlarında üretilirken örgüsüz geotekstilller mekanik, termik ve kimyasal olmak üzere üç farklı üretim methodu ile elde edilebilmektedir. Mekanik üretimde elyafların iğneleme yöntemiyle polimerlerin birbirine karışması sağlanır. Termik üretim yönteminde elyafların birleşim noktaları ısıtılarak noktasal basınç uygulamak suretiyle birbirine kaynatılarak elde edilir. Kimyasal

üretimde ise polimerlerin üzerine akrilik yapıştırıcı püskürtülerek fırınlanması sonucunda elde edilir [14]. Çekme dayanımları bakımından değerlendirildiğinde ise örgülü geotekstiller, örgüsüz geotekstillere kıyasla daha yüksek çekme dayanımlarına sahiptir. Geotekstiller; inşaat mühendisliği uygulamalarında ayırma, süzme, filtrasyon ve koruma gibi pek çok işlevde kullanılmaktadır.

Farklı tane büyüklüğü dağılıma sahip iki zemin tabakasının birbirinden ayrılmasını sağlamanın yanı sıra birbirine karışmasını da engellemek amacıyla kullanılan en uygun geosentetik türü, geotekstillerdir. Örneğin demiryolu veya karayolu uygulamalarında granüler temel malzemesinin, yumuşak taban malzemesinin içine gömülmesi veya yumuşak taban zemininin dinamik yükler etkisi altında granüler malzeme boşluklarına pompalanmasını önlemek gerekmektedir. Çünkü bu iki zemin malzemesinin birbirine karışması, zeminin taşıma gücünü önemli ölçüde azaltmaktadır. Bu aşamada geosentetiklerin ayırma işlevinden yararlanılmaktadır. İğnelenmiş geotekstiller, pompalama ve gömülme sorunlarının üstünden gelmek için oldukça iyi bir çözüm yöntemidir.

Filtrasyon (süzme) işlevini yerine getirebilecek en uygun geosentetik malzeme de geotekstillerdir. Geosentetik ürünler, suyun akış yönüne karşı serildiğinde tıpkı bir filtre gibi davranış göstermektedir. Suyun geçişine izin verirken, ortamda bulunan ince taneli zeminin geçişini engellemekte olup bu sayede de ince zemin taneleri ve suyun birbirine karışmasını engellemiş olmaktadır.

Geotekstillerin ayrıca koruma işlevleri de vardır. Geosentetik bir ürünü söz konusu projedeki başka bir malzemedan koruma prensibine dayanmaktadır. Örneğin granüler malzeme üzerine serilmesi gereken bir geomembranın, granüler malzemedan kaynaklı olarak delinmesi ve yırtılmasının önüne geçilebilmesi amacıyla geomembran ile granüler malzeme arasına geotekstil serilmektedir. Bu sayede geotekstil, agregadan gelen noktasal temas basıncını azaltarak geomembran üzerinde herhangi bir deformasyon olmasını önlemektedir [13].



Şekil 2.1. Örgülü geotekstil örneği [15]



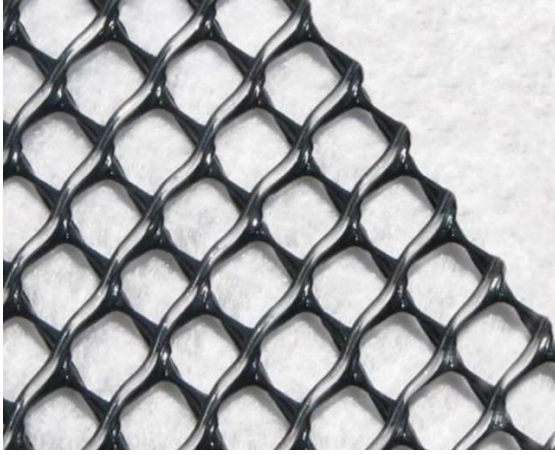
Şekil 2.2. Örgüsüz geotekstil örneği [16]

2.1.2. Geonetler

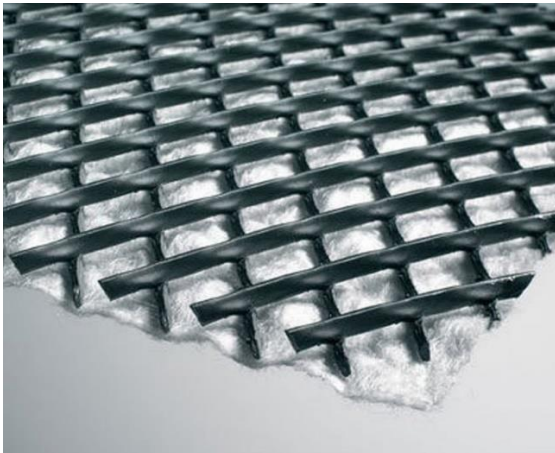
International Geosynthetics Society (IGS); geonetleri, sabit ve dar bir açıda kesişen iki set iri ve paralel ekstrüde polimerik çubuktan oluşan ızgara benzeri malzeme olarak

tanımlamaktadır. İlk bakışta geonetler, geogridlere benzer görünmektedir; ancak geonetler, esas olarak malzeme veya konfigürasyon açısından değil, sıvı veya gazların düzlem içi drenajını gerçekleştirme işlevleri açısından kullanılmaktadır.

Sıvıların ve gazların düzlemsel drenajı amacıyla kullanılan geonetler, projelerde genellikle alt ve üst kısımlarında düzlem içi su iletiminin yanı sıra süzme özelliğine sahip geotekstiller ile birlikte kullanılmaktadır.



Şekil 2.3. Geonet örneği [17]



Şekil 2.4. Geonet ve geotekstil örneği (Geokompozit) [17]

2.1.3. Geomembranlar

American Society for Testing and Materials (ASTM) geomembranları; geoteknik mühendisliği ile ilgili insan yapısı bir proje, yapı ve sistemde sıvı akımını kontrol altına

alabilecek kadar düşük geçirgenlikte asfalt, polimer ve bunların karışımından oluşan sürekli membran tipi kaplama ve izole bariyeri olarak tanımlamaktadır.

Geomembranlar, asıl olarak geçirimsizliğin sağlanması amacıyla kullanılmakta olup kullanım alanları genel olarak;

- Kaya dolgu olarak projelendirilen barajların geçirimsizliğinin sağlanmasında,
- Şişen zeminlerde ve dona karşı hassas zeminlerde zeminlerin kontrolünde,
- Asfalt üst kaplamalarında alt zeminlere sızdırmazlığın sağlanabilmesi amacıyla
- Su kanalları ve sıvı atık depolama rezervuarlarında bir kaplama malzemesi olarak ve
- Tünellerin içinde geçirimsizliği sağlamak amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 2.5. Geomembran uygulama örneği [18]

2.1.4. Geosentetik kil örtüler

Geosentetik Kil Örtüler (GCL), polimer ve doğal toprak malzemelerinin ilginç bir birleşimidir. İki geotekstil veya iki geomembran arasına sodyum bentonit killerinin mekanik olarak birleştirilmesiyle oluşturulan geokompozit ürünlerdir. GCL, çevre ve muhafaza uygulamalarının yanı sıra ulaşım, geoteknik, hidrolik ve çeşitli özel geliştirme

uygulamalarında bir geomembranın altında veya tek başına kompozit bir bileşen olarak kullanılmaktadır [12].

Geosentetik Kil Örtüler, su yalıtımı ve geçirimsizlik istenilen projelerde kullanılır. Bu ürünlerin temel amacı, su geçirgenliğini azaltarak suyun söz konusu yapıya nüfuz etmesini engellemektir. Sodyum bentonit killerin kendi hacmine kıyasla oldukça yüksek miktarda su emme özelliği sayesinde, kil tanelerinin su ile temas ettiği anda şişerek yapı içinde geçirimsiz bir bariyer oluşturur. Bu sayede de suyun geçişini engellemekte olup yapıya bir geçirimsizlik kazandırmaktadır.



Şekil 2.6. Geosentetik kil örtü örneği [19]

2.1.5. Geoceller

International Geosynthetic Society (IGS); geocelleri, polimerik, geçirgen ve üç boyutlu bir petek veya altıgen ağ yapısı şekline sahip olan, geoteknik mühendisliği uygulamalarında diğer geoteknik malzemelerle birlikte temas halinde kullanılan bir geotekstil ürün olarak tanımlamaktadır.

Geoceller, genellikle eğimli yüzeylerde toprak tutarak erozyonu önleme ve yüzey stabilitesini sağlama amacıyla kullanılmaktadır. Geocell uygulama alanına yerleştirildikten sonra hücrelerin içine zayıf zemin hapsedilerek sıkıştırılınca, zeminde direnç yükü artış göstererek zeminin taşıma gücünü arttırmaktadır. Dolayısıyla geoceller, karayolu ve demiryolu projelerinde de kendine uygulama alanı bulmaktadır [12].



Şekil 2.7. Geocell örneği [20]



Şekil 2.8. Geocell uygulama örneği [20]

2.1.6. Geofom

American Society for Testing and Materials (ASTM) tarafından; geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan, düzlemsel veya blok forma sahip olan, rijit hücresel köpüklerden oluşan polimerik malzeme olarak tanımlanan Geofomlar, dolgu malzemesi olarak kullanılan bir geosentetik türüdür.

Geofoamlar, taşıma gücü zayıf olan zeminlerde dolguların meydana getirdiği konsolidasyon oturmasını engellemek amacıyla kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra istinat yapılarına etki eden dinamik ve yanal yükleri azaltmak amacıyla da tercih edilmektedir.



Şekil 2.9. Geofoam uygulama örneği [21]

2.1.7. Geokompozit

Geokompozitler, yukarıda sunulan geosentetik ürünlerin birlikte kullanılmasıyla elde edilen malzemelerdir. Amaca daha uygun malzeme elde etmek amacıyla oluşturulan geokompozitlere ait birkaç örnek şu şekilde sunulabilir.

Geotekstil – Geomembran beraberliğinde; geomembran geçirimsizliği sağlarken, geotekstil de geomembranın zemin tanelerinden dolayı delinmesini engelleyerek geçirimsizliğin daha güvenli bir şekilde sağlanacağı bir sistem oluşturur.

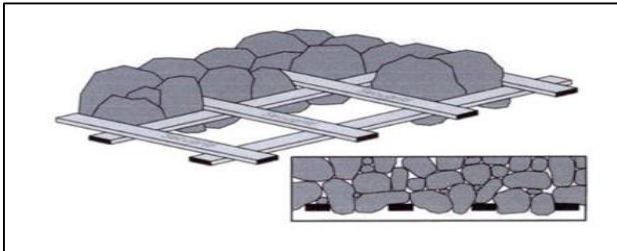
Geotekstil – Geonet beraberliğinde ise drenaj için oldukça etkili bir sistem oluşturulur. Geonet drenaj işlevini yerine getirirken, geotekstil de zemin tanelerinin geonetin içine girmesini önleyerek geonetin tıkanmamasına olanak sağlamaktadır [13].

2.1.8. Geogridler

American Society for Testing and Materials (ASTM) geogridleri; dikdörtgen bir ağ oluşturacak şekilde birbirine bağlı elemanlardan oluşan, kendini çevreleyen zemin, kaya veya diğer malzemeler ile mekanik kenetleme uygulayabilmek için göz açıklıkları 6.35 mm'den daha büyük olan ve temel işlevi güçlendirme olan bir geosentetik ürün olarak tanımlamaktadır. International Geosynthetics Society (IGS) ise geogridleri; dikdörtgen açıklıklar meydana getirecek şekilde birbirine bağlı çekme elemanlarından oluşan; çekme elemanları birbirlerine geçme, yapıştırma veya ekstrüzyon ile tutturulmuş, göz açıklıklarının boyutları, çekme elemanlarının boyutlarından daha büyük, ağ şeklinde düzlemsel polimerik bir malzeme olarak tariflemektedir.

Geogridler, şerit elemanların belirli bir düzen içinde açıklıklar oluşturacak şekilde birbirine tutturulmasıyla elde edilen düzlemsel bir geosentetik üründür. Çekme kuvvetlerine karşı dayanıklılık göstermesi amacıyla üretilen bu geosentetik çeşidini, diğer geosentetiklerden ayıran en belirgin özelliği ise kare ve dikdörtgen şeklinde göz açıklıklarına sahip olmasıdır. Göz açıklıklarının bu şekilde üretilmesindeki amaç, geogridin serildiği zeminin hem altında hem de üzerinde bulunan agrega tanelerinin bu gözlerin içine girmesi, dolayısıyla zemin taneleri arasında bir kenetleme sağlamasıdır.

Geosentetik literatüründe geogridlerin bu özelliğine “mekanik kenetleme” adı verilmektedir. Geogridler, göz açıklığının içine giren daneli (granüler) agrega malzemesini çevrelemek suretiyle yanal hareketini kısıtlamaktadır. Bu sayede çekme dayanımı olmayan zemine çekme dayanımı kazandırarak zeminin kayma (makaslama) dayanımını arttırmakta ve çekme gerilmelerinin hâkim olduğu birçok mühendislik uygulamasında başarıyla kullanılmasına da olanak sağlamaktadır [22].

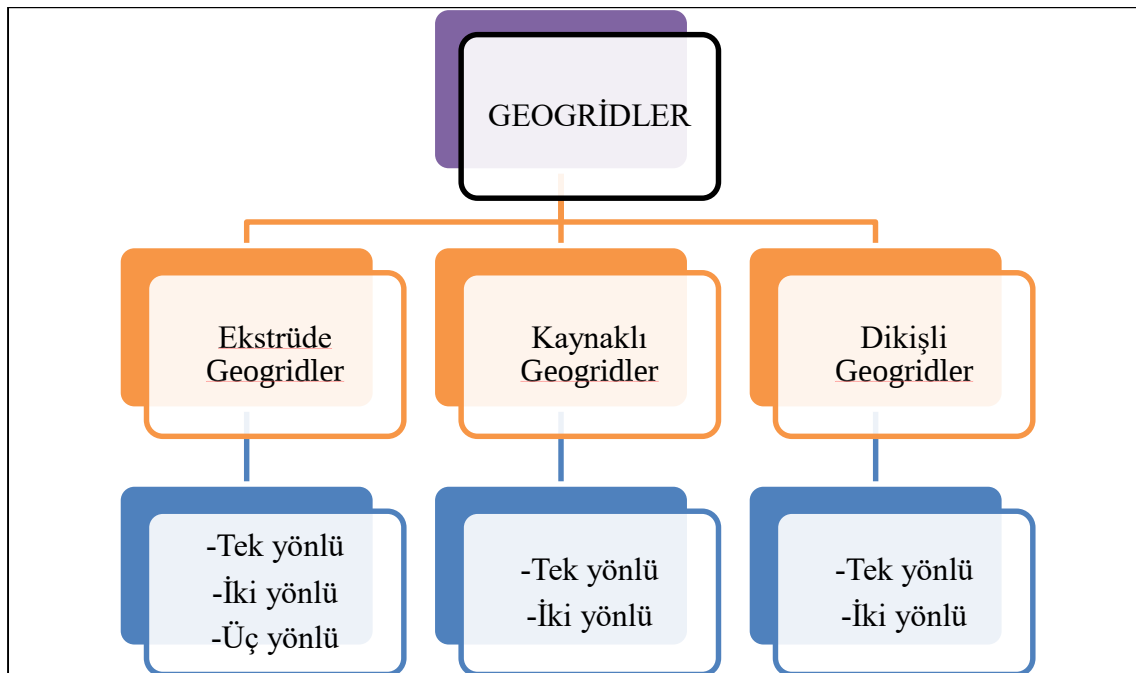


Şekil 2.10. Geogridin mekanik kenetlemesi [23]

Geogridler, istinat duvarlarının, dik yamaçların, barajların, setlerin ve diğer yapısal gövdelerin güçlendirilmesinde kullanılabilir. Ayrıca kaplamasız ve kaplamalı yollarda, demiryollarında, çalışma platformlarında ve trafiğin yoğun olduğu diğer alanlarda granüler malzemelerin stabilizasyonu veya takviyesi için kullanılabilir [24].

Geogridler hem üretim yöntemlerine göre hem de göz açıklıklarının şekillerine göre farklı sınıflara ayrılmaktadır.

Çizelge 2.1. Geogridlerin sınıflandırılması



Üretim yöntemlerine göre geogridler;

- Ekstrüde,
- Kaynaklı ve
- Dikişli olmak üzere üçe ayrılır.

Geogridlerin üretim yöntemleri, bu geosentetik türünün kopma dayanımı etkileyen en önemli etkenlerdendir. Dolayısıyla bir projede geogrid kullanılmadan önce bu farkların ayırt edilmesi oldukça önemlidir.

Bir geogridin nihai kopma dayanımı, onu oluşturan şerit elemanların birleşim noktalarının kopma dayanımı kadardır. Üretim yöntemleri bu yüzden bir geogridin kopma dayanımının ne kadar olacağını konusunda ciddi bir paya sahiptir.

Ekstrüde Geogridler: Genellikle PP ve HDPE malzeme ile kalınlığı yaklaşık 4 – 6 mm olacak şekilde üretilmiş levhalara, bir kalıp yardımıyla düzgün delikler açılır. Ardından bu levhalar, yüksek sıcaklıktaki bir fırın veya suyun içinde geogridin kaç yönlü olarak çalışması isteniyorsa o yönlerde çekilerek, delinen küçük delikler istenilen ebatlara kadar genişletilir. Bu çekme esnasında levhayı oluşturan molekül zincirleri, çekme yönüne paralel şekilde dizilmiş olur. Dolayısıyla da geogridler, çekme yönlerinde yüksek bir dayanıma ulaşır.

Geogridlerin çekme mukavemetleri üzerinde etkili olan diğer etkenler ise ekstrüzyon esnasındaki sıcaklık ve geogridin çekilme hızıdır. Ekstrüde geogridlerin, diğer geogridlere karşı sağladığı en büyük avantaj; bağlantı noktalarının dikiş veya kaynak gibi dış etkenler nedeniyle herhangi bir dayanım kaybına uğramamış olmasıdır. Diğer geogrid türlerine kıyasla ekstrüde geogridlerin, bağlantı noktalarının mukavemeti oldukça yüksektir [3].



Şekil 2.11. Ekstrüde geogrid örneği [25]

Kaynaklı Geogridler: PET veya PP şeritlerin birbirlerine dik doğrultuda, birleşim yerlerinden lazer, ısı veya ultrasonik kaynakla birleştirilmesi sonucunda elde edilirler.

İstenilen göz açıklığında üretim imkanı sağlamasının yanı sıra tek veya çift yönlü olarak üretilmektedir.



Şekil 2.12. Kaynaklı geogrid örneği [26]

Dikişli Geogridler: Dikişli geogridler, yüksek çekme dayanımına sahip olan PET (polyester) iplik demetlerinin birbirlerine dik doğrultuda olacak şekilde dikilmesi veya kenetlenmesiyle elde edilmektedir [12]. Kenetleme işi tamamlandıktan sonra geri dolgu işlemi esnasında birleşim noktalarında herhangi bir problem yaşanmaması adına geogrid kullanımından önce bu birleşim noktaları bitüm veya lateks ile kaplanarak boyutsal kararlılık sağlanmış olmaktadır.



Şekil 2.13. Dikişli geogrid örneği [27]

Göz açıklığı şekillerine göre ise geogridler;

- Tek yönlü,
- Çift yönlü ve
- Üç yönlü geogridler olmak üzere üçe ayrılır.

Geogridlerin farklı geometrik şekillerde üretilmesinin nedeni, farklı çekme dayanımlarının elde edilmesinin amaçlanmasıdır. Bir geogridin göz açıklığının şekli, o geogridin zeminin hangi yönüne çekme dayanımı kazandıracakını belirlemektedir.

Ekstrüde, dikişli ve kaynaklı yöntemlerle hem tek yönlü hem de çift yönlü geogridler üretilirken üç yönlü geogridler sadece ekstrüde yöntemiyle elde edilebilmektedir.

Tek Yönlü Geogridler: Bu geogridlerde göz açıklıkları dikdörtgen şekildedir. Ekstrüde üretimde çekme işlemi tek yönde yapılarak bu geogrid çeşidi elde edilmektedir. Tek yönlü geogridler, genellikle şev duraylılığının sağlanması ve donatılı duvar yapımında kullanılmaktadır. Çünkü bu yapılarda açığa çıkan zemin gerilmeleri tek yönde olup istenilen çekme dayanımları bu tip geogridlerle rahatlıkla sağlanabilmektedir [12].



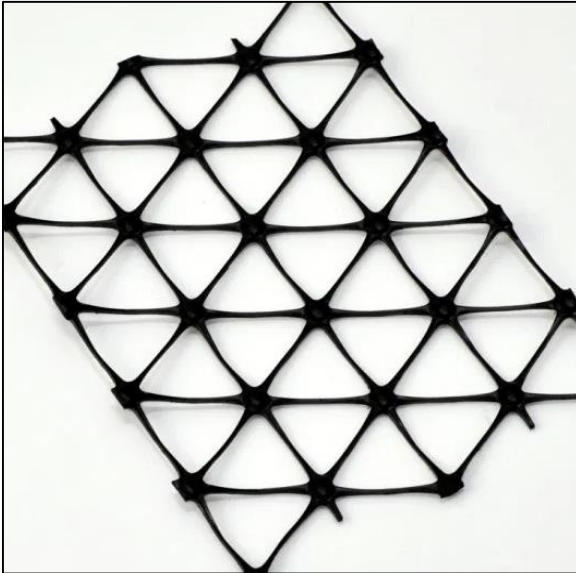
Şekil 2.14. Tek yönlü geogrid örneği [28]

Çift Yönlü Geogridler: Kaynaklı, dikişli ve ekstrüzyon yoluyla üretilmekte olup çekme dayanımları her iki yönde de eşit veya eşite yakın derecededir. Ekstrüzyon işlemi esnasında geogridin çift yönle çekilmesiyle elde edilen bu geogrid türü, esas yükün her iki doğrultuda da dağılım gösterdiği karayolu ve demiryolu gibi altyapılarda, ayrıca temel güçlendirme amacıyla kullanılmaktadır [12].



Şekil 2.15. Çift yönlü geogrid [29]

Üç Yönlü Geogridler: Özellikle son yıllarda iki yönlü geogridlerin performanslarını arttırmak amacıyla geliştirilmiştir. Günümüzde yalnızca TENSAR adlı firma üretmekte olup bu geogridin göz açıklıkları eşkenar üçgenlerden meydana gelmektedir. Geometrileri gereği her üç ekseninde de yük dağıtabilme kapasitesine sahiptirler. Meydana geldiği çekme çubukları, özel bir kalınlığa ve kesite sahiptir. Ekstrüde PP levhaların belirli bir düzende delinerek, üç ekseninde çekilmesi ile oluşur. Yükün her ekseninde eşit miktarda dağıldığı uygulamalarda tercih edilmektedir.



Şekil 2.16. Üç yönlü geogrid örneği [30]

Günümüzde sıklıkla kullanılan geosentetik çeşitleri ve bu geosentetiklerin işlevleri yukarıda bahsedilmiştir. Hangi geosentetik ürünün hangi amaçla kullanılacağına özet çizelgesi ise şu şekilde özetlenebilir [12]:

Çizelge 2.2. Geosentetikler ve işlevleri [12]

Geosentetik Ürün	İşlevler				
	Güçlendirme	Ayırma	Filtrasyon	Drenaj	Koruma
Geotekstil	✓	✓	✓	✓	✓
Geonet				✓	
Geomembran		✓			✓
Geosentetik Kil Örtü (GCL)		✓			
Geocell	✓	✓			
Geofoam	✓	✓			
Geokompozitler	✓	✓	✓	✓	
Geogrid	✓				

3. GEOGRİD DONATILI İSTİNAT DUVARI

3.1. Tanım

GGD duvar, toprak itkisini tutmak amacıyla yapılan bir tür istinat (dayanma) yapısı olup dolgularda açığa çıkan çekme kuvvetlerinin ve gerilmelerin geogrid donatılar vasıtasıyla karşılandığı sistemleri kapsayan genel bir terimdir. Klasik istinat duvarlarından farkı, toprakarme sistemlerin, sıkıştırılmış dolgu malzemesi ve bu dolgu malzemesinin içine serilen geosentetiklerin birlikte çalışması ilkesine dayanmasıdır.

Genellikle betonarme duvarların kullanımıyla benzerlik gösteren bu sistemler, zeminlerin mekanik özelliklerini en ekonomik biçimde değerlendirmek amacı ile geliştirilmiştir [31].

3.2. Avantaj ve Dezavantajlar

Tüm yapılarda olduğu gibi geogrid donatılı istinat duvarlarının da sahip olduğu avantaj ve dezavantajlar bulunmaktadır. Bu özellikler aşağıdaki gibi listelenebilmektedir:

3.2.1. Avantajlar

- Klasik istinat yapılarına göre geogrid donatılı istinat duvarları daha ekonomiktir.
- Depreme karşı klasik istinat duvarlarına kıyasla daha stabil ve dayanıklıdır.
- Kalıp – iskele kurulumu, donatı yerleşimi ve beton döküm işlemleri olmadığı için klasik bir istinat yapısına göre işçiliği kolay olup imalatı da oldukça hızlıdır.
- Taşıma kapasitesi düşük olan zayıf zeminlerde rahatlıkla kullanılabilir [32].
- Daha estetik bir görüntü imkânı sağlayan bu istinat yapılarının, ön yüzleri yeşillendirmeye de uygundur.
- Donatı kullanılarak klasik yollarla kesinlikle yapılamayan (örneğin betonarme) yükseklikteki duvarlar, bu teknikle inşa edilebilmektedir.
- Her iklim koşulunda inşa edilebilir.
- Zemin oturmalarına uyum sağlayabilmesi de bu yapıların sağladığı en büyük avantajlardır.

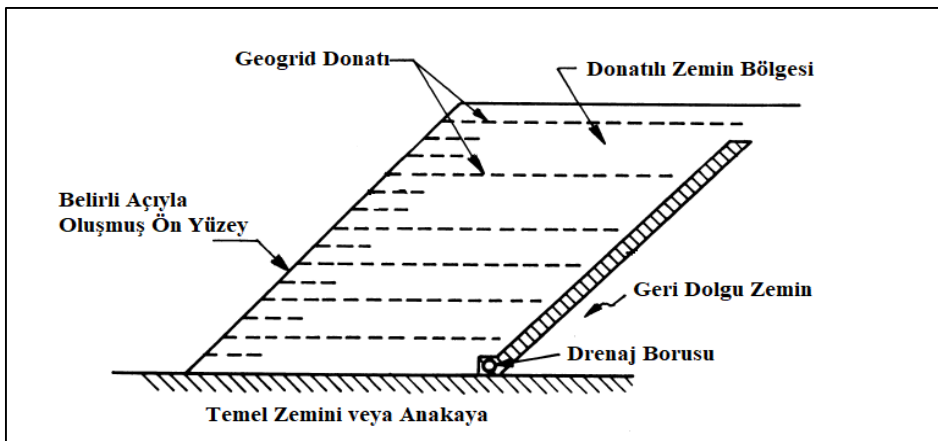
3.2.2. Dezavantajlar

- Geogrid donatılı istinat duvarlarının imalatı aşamasında mutlaka kalifiye elamana ihtiyaç duyulmaktadır. Doğru teknikle, doğru ürün kullanılmadan gerçekleştirilen imalat, beklenen faydayı sağlayamamaktadır.
- Toprakarme duvar imalatında kullanılan geosentetik ürünlerin hammaddeleri polietilen olduğu için güneş ışınlarından korunarak muhafaza edilmesi gerekmektedir. Dışarıda uygunsuz ortamda bekletilen geosentetiklerin dayanımında azalma meydana gelmektedir.
- İmalat esnasında dolgu malzemesinin sıkıştırılırken geosentetik malzeme üzerinde deformasyonlar oluşabilmektedir.
- Donatı elemanı olarak geosentetik ürünler yerine metal şeritlerde kullanılarak toprakarme duvarlar inşa edilebilmektedir. Toprakarme duvar imalatı esnasında bu metal şeritlerin kullanılması halinde, zamanla bu şeritler üzerinde paslanma meydana gelerek çekme dayanımında bir azalma oluşabilir [22].

3.3. Bir Geogrid donatılı İstinat Duvarı Yapımında Kullanılan Malzemeler

Bir GGD duvar genellikle şu 3 temel kısımdan oluşmaktadır:

- Dolgu malzemesi kullanılmaktadır.
- Donatı malzemesi (Genellikle geogrid kullanılmakta olup metal şeritlerde kullanılmaktadır).
- Ön yüzey elemanıdır [31].



Şekil 3.1. GGD duvar ve yapı elemanları [22]

3.3.1. Dolgu malzemesi

GGD duvarın inşasında kullanılacak olan dolgu malzemesinin organik veya diğer zararlı malzemelerden makul ölçüde arındırılmış ve aşağıda sunulan Çizelge 3.1 sınırlara uygun olması gerekmektedir [9].

Çizelge 3.1. Dolgu malzemesi için istenilen malzeme gradasyon sınırları [9]

Elek Boyutu	Geçme Yüzdesi (%)
3/4 inç (19.0 mm)	100
No.40 (0.425 mm)	0 – 60
No.200 (0.075 mm)	0 – 15

Dolgu malzemesinin, iri taneli ve aynı zamanda kohezyonsuz da olması gerekmektedir. Polyester bazlı geosentetiklerle uygulama yapılacak olan zeminlerin pH değerinin 3 – 9 arasında sınırlı olması tavsiye edilmektedir [9].

Sıvılaşma riskinin olduğu bölgelerde inşa edilecek geogrid donatılı istinat duvarlarında ise dolgu malzemesinin granüler yapıda olması ve elek analizleri sonuçlarının şu aralıklarda olması beklenmektedir:

- %50'sinin tane çapı 10 mm'den büyük ($D_{50} > 10$ mm) ve
- %10'unun tane çapı ise 1 mm'den büyük ($D_{10} > 1$ mm) [22]

3.3.2. Donatı malzemesi

Geogrid donatılı bir istinat duvarını meydana getiren temel elemanlardan bir diğeri donatı malzemesidir. Toprakarme duvarlarda donatı malzemesi olarak genellikle geogridler ve metal şeritler kullanılmaktadır. Geogrid çeşitlerinin günümüzde artış göstermesi, bu geosentetik ürünlerin metal şeritlerden daha fazla tercih edilmesine neden olmuştur. Geogridlerin tercih edilmesinin bir başka nedeni ise hafif olmalarıdır. Uygulama yapılacak bölgeye çok rahat taşınabilirken rulolar halinde üretilmesinden dolayı kolay serilme, istenilen boyda kesilip birbiri üzerine oldukça kolay eklenebilme özellikleri sayesinde de sıklıkla tercih edilmektedir [33].



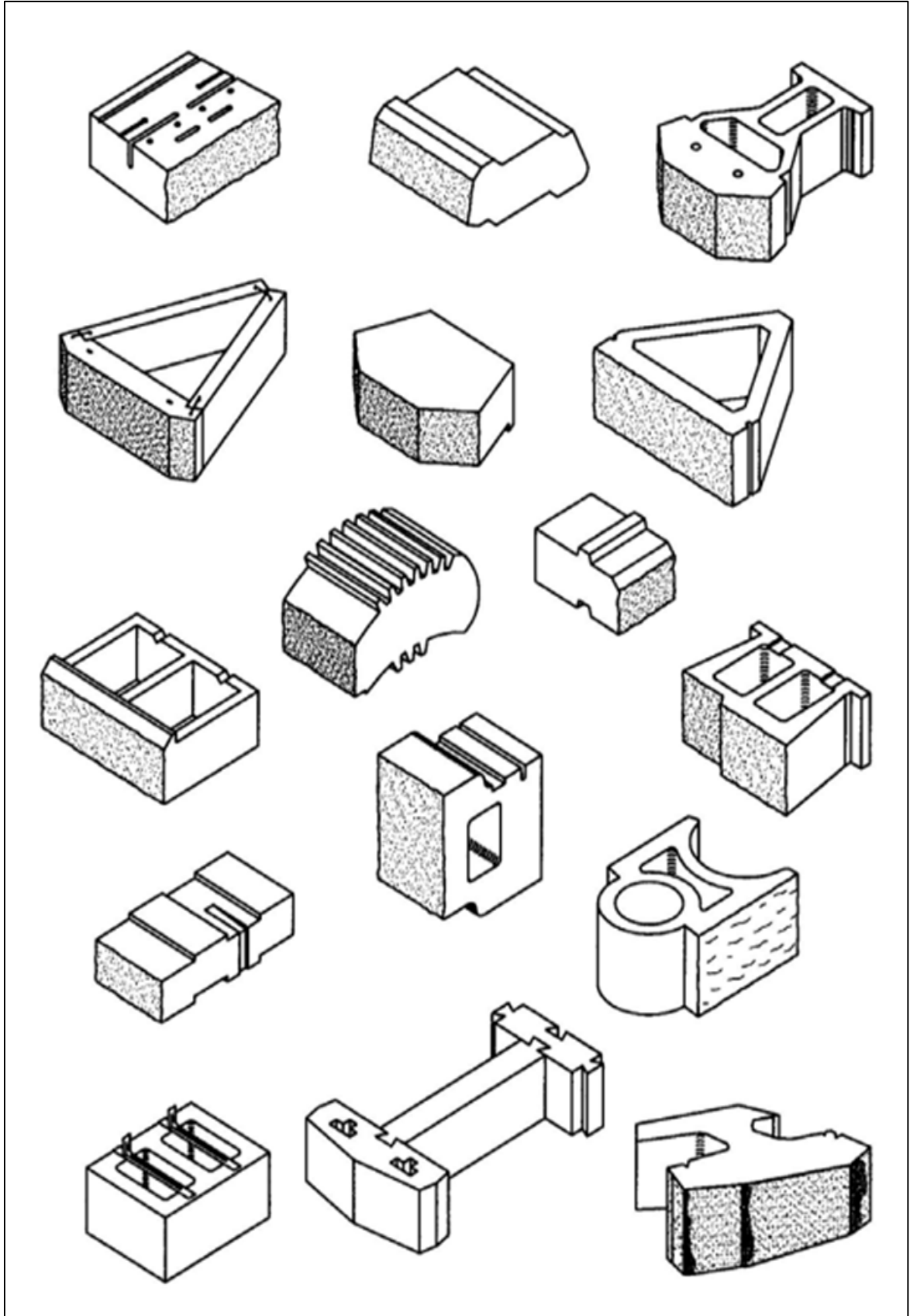
Şekil 3.2. Ön yüz panelleri kullanılarak ve çelik şeritlerle güçlendirilerek yapılan bir köprü yaklaşım dolgusu imalat aşamasından bir görünüm [34]

3.3.3. Prekast yüzey panelleri (Ön Yüzey Elemanı)

Genellikle geogridle birlikte kullanılan ön yüzey elemanları için belli başlı bir standart yoktur. Asıl amacı dolgu malzemesinin zamanla ön cepheden dökülmesini engellemek ve geri dolgu malzemesinin drenajı için bir alan sağlamak olan ön yüzey elemanları, ön cephede estetik bir görünüm imkanı sağlamaktadır [31].



Şekil 3.3. Ön yüz panelleri kullanılarak çelik şeritlerle güçlendirilmiş köprü yaklaşım dolgusu örneği [35]



Şekil 3.4. Geogridle birlikte kullanılan çeşitli ön yüzey elemanları [31]

3.4. Geogrid Donatılı İstinat Duvarı Tasarım Aşamaları

Kesme ve basınç kuvvetlerine karşı, doğal haldeki zemin bir direnç oluşturabilirken, çekme kuvvetleri karşısında herhangi bir direnç meydana getiremez. Bu durumun önüne geçilebilmesi içinse zemin içerisine geogridler yerleştirilerek, çekme kuvvetlerine karşı zemine direnç kazandırılır. Bu noktadaki temel teori ise yük aktarım prensibidir. Zemin, maruz kalmış olduğu yükleri geogridlere aktararak geogridlerin zemin içinde bir donatı görevi görmelerine olanak sağlar.

GGD duvarların geoteknik tasarımında iç duraylılık analizleri ve dış duraylılık analizleri olmak üzere iki tür analiz yapılır. Dış duraylılık analizlerinde klasik istinat duvarlarında olduğu gibi duvarının devrilme, ötelenme (kayma) ve taşıma gücü tahkikleri yapılır. Bunların yanı sıra duvarın arkasından geçen derin kayma düzlemleri için şev duraylılık (toptan göçme) analizleri de yapılır. İç duraylılık analizlerinde ise geogrid donatılarının yatay çekme kuvvetlerine karşı kopma ve sıyrılma tahkikleri yapılır [7, 9].

GGD duvar tasarımında duvarın arkasındaki zemin ortamında düşey gerilmeler derinlikle birlikte artacağından duvara etki eden yatay gerilmeler de aynı şekilde derinlikle birlikte artış gösterir. Duvarın arkasında oluşan bu yatay gerilmeler geogrid ile granüler geri dolgu malzemesi arasındaki mekanik kenetlenme sayesinde geogrid katmanlarına aktarılır. Duvarın arkasında meydana gelen yatay gerilmeler geogrid donatıları hem çekip kopartmaya hem de sıyrıp çıkartmaya çalışırlar. Derinlikle birlikte artan düşey gerilmeler ise geogrid donatıları sıkıştırarak sıyrılıp çıkmasını zorlaştıracı bir etki gösterirler. Buna göre duvarın üst kısımlarından alt kısımlarına doğru ilerledikçe geogride etki eden kopartma kuvvetleri artış gösterirken sıyrılmasını önleyen sıkıştırıcı kuvvetler de artış gösterir. Buna bağlı olarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları duvarın üst kısımlarında daha yüksek, duvarın alt kısımlarında ise daha düşük değerler alırlar. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları ise kopmaya karşı güvenlik katsayılarının aksine duvarın üst kısımlarında daha düşük, duvarın alt kısımlarında ise daha yüksek değerler alırlar.

Geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısını etkileyen faktörler; geogridlerin düşey yerleştirme aralığı (S_v), geogridlerin nihai kopma dayanımı (T_u), geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı (ϕ), geri dolgu malzemesinin birim hacim ağırlığı (γ) ve GGD duvarın ön yüz eğim açısıdır (ω).

Geogrid donatılı istinat duvarlarının stabilite analizleri iç ve dış duraylılık analizleri olmak üzere ikiye ayrılır. İç stabilite analizlerinde, geogrid donatıların zemin tarafından iletilen yükleri sıyrılmadan ve kopmadan taşıyıp taşıyamayacakları tahkik edilir. Dış stabilite analizlerinde ise GGD duvarın ötelenme (kayma), devrilme ve taşıma gücüne karşı duraylı olup olmadığı tahkik edilir.

Tez çalışması kapsamında geogridlerin ön yüz eğim açısının arttırılması karşısında kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının nasıl bir davranış izleyeceği değerlendirildiği için sadece iç duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir.

3.4.1. İç duraylılık analizleri

Geogrid donatılı bir istinat duvarının tasarım aşamasında gerçekleştirilen analizlerden biri iç stabilite analizleridir. İç stabilite analizlerinde, GGD duvarın tasarımında kullanılan geogridlerin, hem zemin tarafından aktarılan çekme gerilmelerini hem de kayma kuvvetlerini kopmadan taşıyabilmesi bunun yanı sıra geogridin de duvar içinden sıyrılmayacak bir bileşimde olması gerekmektedir.

GGD duvarda kullanılacak olan geri dolgu malzemesi ile geogrid arasındaki sürtünme kuvvetlerinin yeterli olup olmadığının belirlenmesi de önemli hususlardan bir tanesidir. Geogridlerin çalışma prensipleri mekanik kenetlemeye bağlı içsel sürtünme kuvvetlerine dayandığı için bu çalışma prensibinin sağlanması, istinat duvarına ait içsel stabilitenin sağlanmasına da olanak sağlamaktadır.

Geogrid donatılı istinat duvarına etki eden düşey gerilmeler, derinlikle birlikte artacağından duvar imalatında kullanılan geogride etki eden yatay gerilmeler de aynı şekilde derinlikle birlikte artış göstermektedir. Yatay gerilmeler, geogridi katmanlar arasından çekip kopartmaya zorlarken, düşey gerilmeler ise geogridi katmanlar arasında sıkıştırarak sıyrılmamasını önlemeye çalışmaktadır. Bu durumdan yola çıkılarak istinat duvarının alt kısımlarında kopmaya karşı olan güvenlik katsayılarının, duvarın daha üst kısımlarında ise sıyrılmaya karşı olan güvenlik katsayılarının daha düşük olacağı kanısına ulaşılmaktadır.

Bir geogrid donatılı istinat duvar tasarımında hem sıyrılmaya hem de kopmaya karşı güvenlik katsayılarının derinlikle birlikte değişiklik göstermesi sebebiyle, duvar tasarım hesaplarında duvarın üstünden başlanarak duvarın temeline doğru her bir geogrid donatı katmanına etki eden düşey gerilmeler, düşey gerilmelere bağlı olarak da yatay gerilmeler hesaplanmaktadır. Elde edilen sonuçlara göre geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları tahkik edilmektedir.

Analizlere ilk olarak aktif toprak basınç katsayısının (K_a) hesaplanması ile başlanmaktadır. Klasik istinat duvarı hesaplarında kullanılan Rankine teorisi, geogrid donatılı istinat duvarı hesaplarında da kullanılmaktadır. Bu teoriye göre aktif toprak basınç katsayısı aşağıdaki bağıntıyla hesaplanmaktadır [7,9,31].

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

Potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ) ise Eşitlik 2 ile hesaplanabilmektedir [7,9,31].

$$\psi = 45 + \frac{\phi}{2} \quad (3.2)$$

Eşitlik 1 ve Eşitlik 2 duvarın ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı (θ) yaklaşık olarak 90° ($\omega \geq 0^\circ$), duvar üzerindeki ilave dolgunun yatayla yaptığı açı (β) ise sıfır (0°) derece olduğu durumlar için geçerlidir [7,9,31].

GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω) 10° veya daha fazla olduğunda ($\omega \leq 10^\circ$), aktif toprak basınç katsayısı Coulomb denkleminin basitleştirilmiş biçimi kullanılarak Eşitlik 3 ile hesaplanabilmektedir [7,9,31].

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

Aynı şartlar altında potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ) ise Eşitlik 4 ile hesaplanabilmektedir [7,9,31].

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

Eşitlik 4'te $\delta = \beta$ olarak alınmaktadır.

Geogrid donatılara etki eden yatay çekme gerilmelerinin hesaplanabilmesi için öncelikle geogrid donatılara etki eden düşey efektif gerilmelerin hesaplanması gerekmektedir. Düşey efektif gerilmeler zemin mekaniğinde olduğu gibi Eşitlik 5 ile hesaplanabilmektedir.

$$\sigma'_v = \gamma \times z \quad (3.5)$$

Düşey efektif gerilmenin, aktif toprak basınç katsayısı ile çarpılması sonucunda ise geogrid donatılara etki eden yatay çekme gerilmeleri hesaplanabilmektedir (Eşitlik 6).

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

GGD duvarın üzerinde ilave sürşarj yükü (q) varsa bu sürşarj yükünden dolayı geogrid donatılara etki eden yatay çekme gerilmeleri klasik zemin mekaniğinden bilindiği gibi Eşitlik 7 ile hesaplanabilmektedir.

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

Şayet varsa GGD duvarın üzerindeki hareketli yüklerin etkisi de (σ'_{hl}) hesaba katılarak geogrid donatılara etki eden toplam yatay çekme gerilmeleri Eşitlik 8 ile hesaplanabilmektedir.

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

Geogridin çekme ve kopma kuvvetlerine karşı güvenlik katsayılarının tahkik edilebilmesi için geogride etki eden yatay çekme kuvvetlerinin hesaplanması gerekmektedir. Eşitlik 8 ile hesaplanan yatay çekme gerilmeleri geogridin etki alanıyla çarpılarak geogride etki eden yatay çekme kuvvetleri hesaplanabilmektedir. Geogridin etki alanı ise yatay geogrid

aralığıyla (S_H) düşey geogrid aralığının (S_v) çarpılmasıyla hesaplanmaktadır. Bu durumda GGD duvarın üst kısımlarından altı kısımlarına doğru herhangi bir derinlikteki geogrid katmanına etki eden ve geogridi kopartmaya veya sıyırmaya çalışan yatay çekme kuvvetleri Eşitlik 9 ile hesaplanabilmektedir.

$$T = \sigma'_H S_H S_v \quad (3.9)$$

Klasik zemin mekaniği hesaplarındaki yaygın bir uygulamaya göre istinat duvarı gibi uzun yapılarda 1 metrelik uzunluk için hesap yapıldığından, hesaplamalarda S_H uzunluğu genellikle 1 m olarak alınmaktadır. Bu durumda, geogride etkiyen yatay çekme kuvvetleri Eşitlik 9'un sadeleştirilmiş biçimi olan Eşitlik 10 ile hesaplanabilmektedir.

$$T = \sigma'_H S_v \quad (3.10)$$

Eşitlik 10 ile bir GGD duvarın üst kısımlarından başlanarak altı kısımlarına doğru bütün geogrid katmanlarına etkiyen yatay çekme kuvvetleri hesaplanabilmektedir. Böylece Eşitlik 10 ile geogridi çekip kopartmaya veya sıyırmaya çalışan yatay kuvvetler hesaplanmış olmaktadır.

Herhangi bir derinlikteki bir geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayısı Eşitlik 11 ile hesaplanabilmektedir.

$$(FS)_{kopma} = \frac{T_a}{T} = \frac{T_a}{\sigma'_H S_v} \quad (3.11)$$

Geogridlerin fabrikada üretildikten sonra laboratuvar ortamında çekme deneyi ile belirlenen bir kopma dayanımı vardır. Bu kopma dayanımına “*nihai kopma dayanımı*” adı verilmekte ve T_u ile gösterilmektedir. Geogridler, fabrikadan çıktıktan sonra yerine yerleştirilip kullanılmaya başlanıncaya kadar ve dahi projenin kullanım ömrü boyunca bazı etmenler nedeniyle çekme dayanımlarında bir miktar azalma meydana gelebilmektedir. Başka bir ifadeyle proje kullanıma açıldıktan sonra geogridin kalan dayanımı fabrikadan çıktıktan sonra laboratuvar da belirlenen dayanımından daha düşük olabilmektedir. Bu nedenle tasarım hesaplarında, geogridin fabrikada üretildikten sonra belirlenen nihai kopma dayanımının kullanılmasına izin verilmez. Geogridin nihai kopma

dayanımı, kullanım ömrü boyunca karşılaşacağı etmenler nedeniyle azalacağından bu etmenleri dikkate alabilmek için bazı katsayılara bölünerek kullanılmaktadır. Geogridin fabrika dayanımını azaltan etmenler geosentetik literatüründe genellikle yerleştirme hasarı, sünme ve yıpranma (durabilite) etkileri olarak kabul edilmektedir [7,9,12]. Bu etmenler nedeniyle geogridin dayanımında ne kadarlık bir azalma meydana geleceği deneylerle belirlenmekte ve üretici tarafından geogridin ürün kataloglarında beyan edilmektedir. Yerleştirme hasarı, sünme ve yıpranma (durabilite) etkilerini hesaba katan katsayılar kullanılarak geogridin üretimden sonra belirlenen nihai kopma dayanımının azaltılmasıyla hesaplanan kopma dayanımına “*izin verilen kopma dayanımı*” adı verilmekte ve T_a simgesiyle gösterilmektedir. Bu durumda geogridin izin verilen kopma dayanımı Eşitlik 12 ile hesaplanmaktadır [7,9,12].

$$T_a = \frac{T_u}{(K_y) \times (K_s) \times (K_d)} \quad (3.12)$$

Geogrid donatılı istinat duvarı tasarım hesaplarında geogridin Eşitlik 12 ile bulunan “*izin verilen kopma dayanımı*, T_a ” kullanılmaktadır.

Geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı ise aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır:

$$(F.S)_{sly} = \frac{F_R}{T} = \frac{2 \times \sigma'_v \times l_e \times P}{\sigma'_H \times S_v} \quad (3.13)$$

Bir geogridin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının hesaplanması için o geogride ait olan ve “ P ” olarak ifade edilen sıyrılmaya direnci katsayısının bilinmesi gerekmektedir. Bir geogride ait sıyrılmaya direnci katsayısı, pullout deneyi ile hesaplanmaktadır. Ancak deneyin yapılamadığı durumlarda güvenli tarafta kalacak şekilde bu katsayı aşağıda verilen eşitlik ile hesaplanmaktadır [7, 9, 31]:

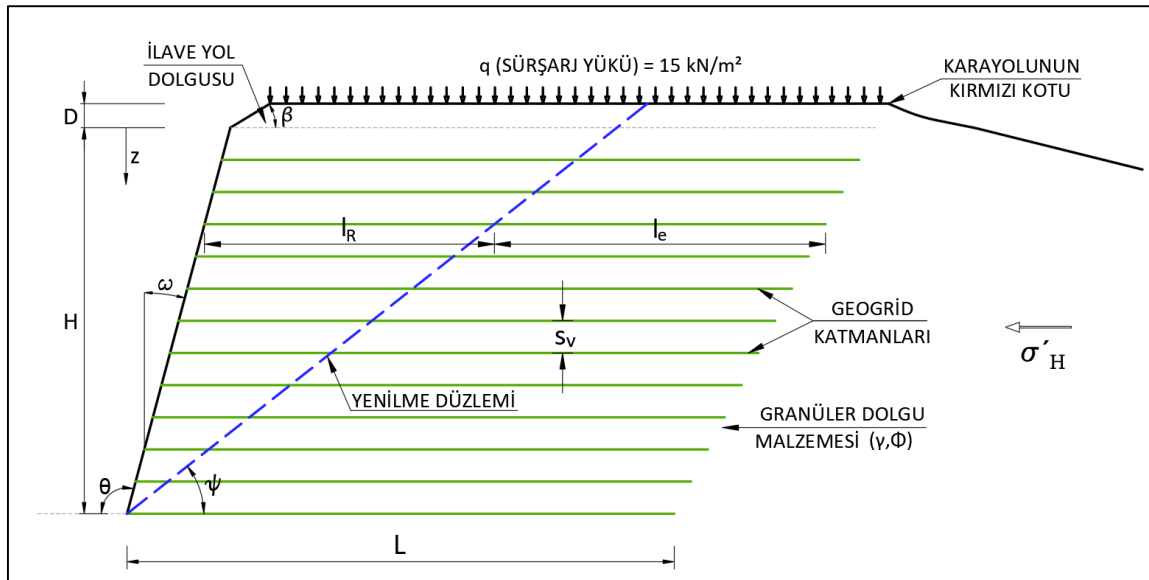
$$P = \left(\frac{2}{3} \times \tan \phi \right) \times \alpha \quad (3.14)$$

Yukarıdaki eşitlikte verilen α katsayısı, boyut etkisini dikkate alan bir katsayı olup

herhangi bir deney verisi bulunmadığı durumda geogridler için bu değer 0,80 olarak alınabilmektedir [31].

Sıyırılma direnci katsayısı bu şartlar altında şu şekilde hesaplanabilmektedir:

$$P = \left(\frac{2}{3} \times \tan \phi \right) \times 0,80 \quad (3.15)$$



Şekil 3.5. GGD duvar tasarımında kullanılan bazı kavramlar

Bir geogridin, yenilme düzleminin dışında kalan ve sıyırılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e), bir geogridin sıyırılmaya karşı güvenlik katsayı denkleminin yeniden düzenlenmesi ile elde edilen aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilmektedir:

$$l_e \geq \frac{T \times (F.S)_{sty}}{2 \times \sigma'_v \times \tan(\delta)} \quad (3.16)$$

Bir geogridin, yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R) ise istinat duvarının ön yüzeyinin eğim durumuna göre geometri kurallarından faydalanılarak hesaplanmaktadır. İstinat duvarının ön yüzü yaklaşık olarak dik olduğunda l_R Eşitlik 17 ile hesaplanmaktadır [12]:

$$l_R = \frac{H - z}{\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)} \quad (3.17)$$

GGD duvarın ön yüzeyinin eğimli olması ($\omega \geq 10^\circ$) halinde geogridin yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R), istinat duvarının ön yüzeyinin eğim açısına bağlı olarak değişmektedir. Bu durumda, ön yüzü eğimli GGD duvarlarda l_R uzunluğu ω ve ψ açısına bağlı olarak Özer [36] tarafından geliştirilen aşağıdaki bağıntıyla hesaplanabilmektedir.

$$l_R = \frac{H - z}{\tan \psi} - (H - z) \times \tan \omega \quad (3.18)$$

Geogridin toplam uzunluğu ise;

$$L = l_e + l_R \quad (3.19)$$

Eşitliği ile hesaplanmaktadır.

4. MALZEME VE YÖNTEM

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

4.1. Malzemeler

Geogrid donatılı istinat duvarların imalatında kullanılan dolgu malzemesi ve geogridlere ait mühendislik özellikleri aşağıda verilmiştir.

4.1.1. Geogrid

Geogrid donatılı istinat duvar tasarımında farklı kopma dayanımlarına sahip 3 tip geogrid kullanılmıştır. Bu geogridler, TENSAR firması tarafından üretilen geogridler olup mekanik özellikleri GEO5-MSE Wall isimli bilgisayar programından alınmıştır [37]. Bu geogridler analizlerde Geogrid – 1, Geogrid – 2 ve Geogrid – 3 olarak adlandırılmış olup mekanik özellikleri Çizelge 4.1’de sunulmuştur.

Çizelge 4.1. Analiz aşamalarında kullanılan geogridlerin mekanik özellikleri [37]

Geogrid Tipi	Geogridin ticari adı	Nihai Kopma Dayanımı (T_u)	Dayanım Azaltma Katsayıları		
			Yerleştirme Hasarı için (K_y)	Durabilite için (K_d)	Sünme için (K_s)
Geogrid – 1	Tensar 40RE	52,50 kN/m	1,07	1,00	2,47
Geogrid – 2	Tensar 80RE	88,00 kN/m	1,07	1,00	2,55
Geogrid – 3	Tensar 160RE	173,00 kN/m	1,00	1,00	2,80

4.1.2. Geri dolgu malzemesi

Geogrid donatılı istinat duvarlarının imalatında dolgu malzemesi olarak, organik madde veya başka herhangi bir zararlı madde içermeyen ve belli gradasyon sınırlarını sağlayan kohezyonsuz, iri taneli, granüler malzemeler tercih edilmektedir [7,9]. Bu malzemelerin içsel sürtünme açısının deney yapılarak bulunması en doğru seçenektir. Ancak malzemenin iri taneli olmasından dolayı zemin mekaniği laboratuvarında kullanılan

standart ölçülerdeki deney aletleriyle bu deneylerin yapılması genellikle mümkün olamamaktadır. Bu nedenle, projeye özgü deney yapılamadığı durumlarda, içsel sürtünme açısı için 28° ile 34° arasında bir değer alınabilmektedir [7,9,31].

Bu çalışmada geogrid donatılı istinat duvarı imalatında kullanılan geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısının $\phi=30^\circ$, birim hacim ağırlığının ise $\gamma=19.00 \text{ kN/m}^3$ olduğu kabul edilmiştir. Geri dolgu malzemesinin iri taneli granüler bir malzeme olması nedeniyle kohezyon değeri $c=0$ (sıfır) olarak alınmıştır.

4.2. Yöntem

4.2.1. Stabilité analiz yöntemleri

Geogrid donatılı istinat duvarı hesaplama aşamalarına iç stabilité analizleri ile başlanmıştır. Geogrid donatıların yatay yükler etkisi altında kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları tahkiki yapılmıştır. Hesaplarda kolaylık sağlaması amacıyla önceki bölümlerde sunulmuş olan formüller kullanılarak Microsoft Excel çalışma sayfaları oluşturulmuş ve hesaplamalar bu çalışma sayfaları kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

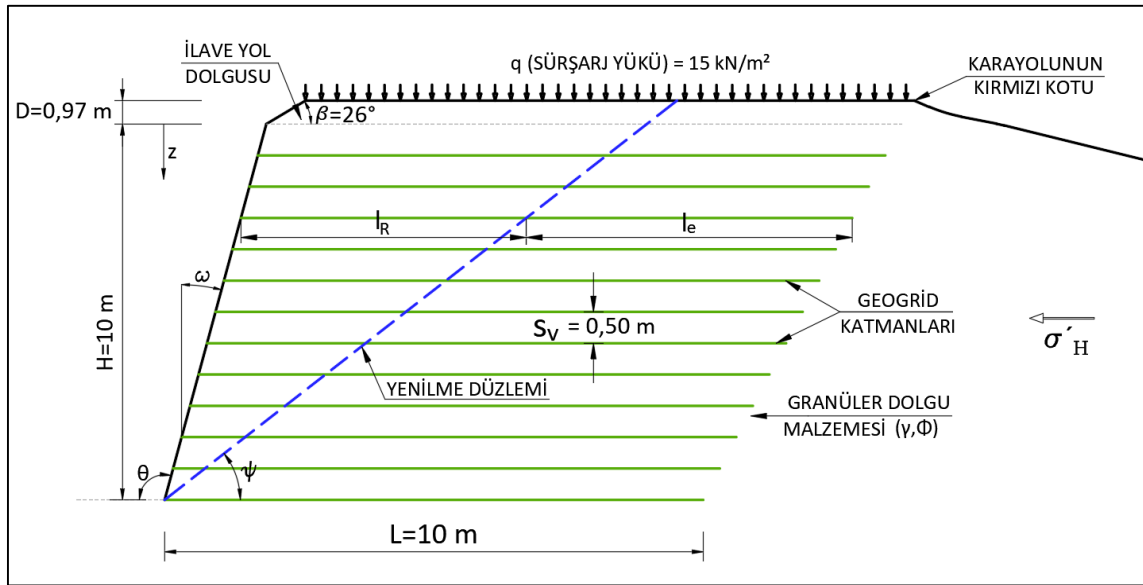
Öncelikle dik açılı GGD duvar ($\omega=0^\circ$) için hesap yapılmış, daha sonra duvarın ön yüzü düşeyle 10° eğim yapacak şekilde ($\omega=10^\circ$) yatırılmıştır. Sonrasında ise ön yüz eğim açısı 5° 'er derecelik artımlarla 45° ye kadar yatırılmıştır. Her bir durum için geogridin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Geosentetik literatürüne uygun olarak analizlerde her bir geogrid katmanı için kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları $FS=1,50$ olarak alınmıştır [7,9].

$H=10 \text{ m}$, $S_v= 0,50 \text{ m}$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvar için yapılan hesaplama adımları ayrıntılı olarak verilmiş, diğer değişkenlerle tasarlanan duvarlar için yapılan hesap adımları benzer olduğu için verilmemiş, sadece elde edilen sonuçlar verilmiştir.

5. $H=10$ m ve $S_v=0,5$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR

Bu analizlerde GGD duvarın yüksekliği $H=10$ m, geogridlerin düşey yerleştirme aralığı $S_v=0,5$ m, geogrid serim uzunluğu $L=10$ m, duvar üzerindeki sürşarj yükü $q=15,00$ kN/m², duvarın üstündeki ilave dolgunun yüksekliği $D=0,97$ m ve duvar üzerindeki ilave dolgunun yatayla yaptığı açı $\beta=26^\circ$ olarak sabit tutulmuş, tek değişken olarak duvarın ön yüz eğim açısı (ω) $0^\circ - 45^\circ$ arasında değiştirilmiştir.



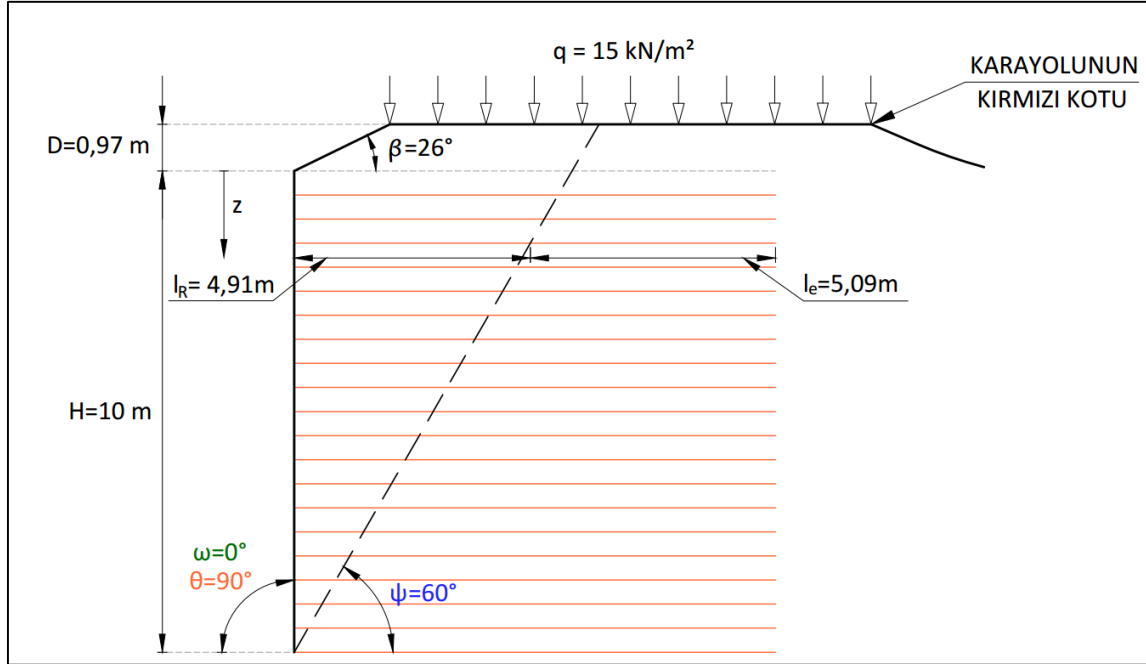
Şekil 5.1. $H=10$ m ve $S_v=0,5$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

5.1. Geogrid – 1 İçin Yapılan Çözümlemeler

Geogrid – 1 (Tensar40RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den 45° ye kadar olan GGD duvarlar için yapılan çözümlemeler ve bulunan sonuçlar aşağıda ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

5.1.1. $\omega=0^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 1 için gerçekleştirilen ilk çözümlemede; yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan sabit değişkenler kullanılmış olup duvar ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ kabul edilmiştir.



Şekil 5.2. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Hesaplamalara ilk olarak aktif toprak basıncı katsayısının bulunması ile başlanmıştır. GGD duvarın ön yüzeyinin yatayla yaptığı açı 90° olduğu için aktif toprak basınç katsayısı (K_a), Eşitlik 1'de verilen Rankine bağıntısı ile hesaplanmıştır.

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

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{30}{2} \right)$$

$$K_a = 0,33$$

GGD duvarın potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

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

$$\psi = 45 + \frac{30}{2}$$

$$\psi = 60^\circ$$

Geogrid donatılara etki eden yatay çekme gerilmelerinin hesaplanabilmesi için öncelikle

geogrid donatılara etki eden düşey efektif gerilmeler hesaplanmıştır. Duvarın üzerinde bulunan $D=0,97$ m kalınlığındaki ilave yol dolgusu düşey efektif gerilme hesaplarına dahil edilmiştir.

$z=0,50$ m derinlikteki geogrid katmanına etki eden düşey efektif gerilme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\sigma'_v = \gamma \times z$$

$$\sigma'_v = 19 \times (0,50 + 0,97)$$

$$\sigma'_v = 27,93 \text{ kN/m}^2$$

$z=1,00$ m derinlikteki geogrid katmanına etki eden düşey efektif gerilme aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\sigma'_v = \gamma \times z$$

$$\sigma'_v = 19 \times (1,00 + 0,97)$$

$$\sigma'_v = 37,43 \text{ kN/m}^2$$

$z=0,50$ metreden başlayarak $0,5$ m aralıklarla $z=10$ m'ye kadar bütün geogrid katmanlarına etki eden düşey efektif gerilmeler yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Düşey efektif gerilmenin, aktif toprak basınç katsayısı ile çarpılması sonucunda geogrid donatılara etki eden yatay çekme gerilmeleri hesaplanmıştır.

$z=0,50$ m derinlikteki geogrid katmanına etki eden yatay çekme gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\sigma'_{hs} = \sigma'_v \times K_a$$

$$\sigma'_{hs} = 27,93 \times 0,33$$

$$\sigma'_{hs} = 9,31 \text{ kN/m}^2$$

$z=1,00$ m derinlikteki geogrid katmanına etki eden yatay çekme gerilmesi aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$\sigma'_{hs} = \sigma'_v \times K_a$$

$$\sigma'_{hs} = 37,43 \times 0,33$$

$$\sigma'_{hs} = 12,48 \text{ kN/m}^2$$

$z=0,50$ metreden başlayarak $0,5$ m aralıklarla $z=10$ m'ye kadar bütün geogrid katmanlarına etki eden yatay çekme gerilmeleri yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

GGD duvarın üzerinde bulunduğu kabul edilen $q=15$ kPa sürşarj yükünden dolayı geogrid donatılara etkiyen yatay çekme gerilmeleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\sigma'_{hq} = q \times K_a$$

$$\sigma'_{hq} = 15 \times 0,33$$

$$\sigma'_{hq} = 5,00 \text{ kN/m}^2$$

Sürşarj yükünden kaynaklanan yatay çekme gerilmeleri, derinlik değerinden bağımsız olduğu için her geogrid katmanına aynı değerle etki etmektedir.

Geogridin çekme ve kopma kuvvetlerine karşı güvenlik katsayılarının tahkik edilebilmesi için geogride etki eden tüm yatay çekme gerilmeleri toplanıp geogridin etki alanıyla çarpılarak geogride etkiyen yatay çekme kuvvetleri hesaplanmıştır. Geogridin etki alanı ise yatay geogrid aralığı ve düşey geogrid aralığının çarpılmasıyla hesaplanmıştır. İstinat duvarı gibi uzun yapılarda klasik zemin mekaniğinde olduğu gibi 1 metrelik uzunluk için hesap yapıldığından, hesaplamalarda yatay geogrid aralığı genellikle 1 m olarak alınmıştır.

Bu durumda, geogride etkiyen yatay çekme kuvvetleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$z=0,50$ m derinlikteki geogrid katmanına etki eden yatay çekme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$T = \sigma'_H S_v$$

$$T = (\sigma'_{hs} + \sigma'_{hq}) \times S_v$$

$$T = (9,31 + 5,00) \times 0,50$$

$$T = 14,31 \times 0,50$$

$$T = 7,16 \text{ kN/m}$$

z=1,00 m derinlikteki geogrid katmanına etki eden yatay çekme kuvveti aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$T = \sigma'_H S_v$$

$$T = (\sigma'_{hs} + \sigma'_{hq}) \times S_v$$

$$T = (12,48 + 5,00) \times 0,50$$

$$T = 17,48 \times 0,50$$

$$T = 8,74 \text{ kN/m}$$

z=0,50 metreden başlayarak 0,5 m aralıklarla z=10 m'ye kadar bütün geogrid katmanlarına etki eden yatay çekme kuvvetleri yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1'de verilen dayanım azaltma katsayıları kullanılarak Geogrid – 1'in (Tensar40RE) “izin verilen kopma dayanımı” “ T_a ” aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$T_a = \frac{T_u}{(K_{yerleştirme}) \times (K_{sünme}) \times (K_{yıpıranma(durabilite)})}$$

$$T_a = \frac{52,50}{1,07 \times 2,47 \times 1,00}$$

$$T_a = 19,86 \text{ kN/m} \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

z=0,50 m derinlikteki geogrid katmanının kopmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$(FS)_{kopma} = \frac{T_a}{T} = \frac{T_a}{\sigma'_H S_v}$$

$$(FS)_{kopma} = \frac{T_a}{\sigma'_H S_v} = \frac{19,86 \text{ kN/m}}{7,16 \text{ kN/m}}$$

$$(FS)_{kopma} = 2,78$$

$z=1,00$ m derinlikteki geogrid katmanının kopmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$(FS)_{kopma} = \frac{T_a}{T} = \frac{T_a}{\sigma'_H S_v}$$

$$(FS)_{kopma} = \frac{T_a}{\sigma'_H S_v} = \frac{19,86 \text{ kN/m}}{8,74 \text{ kN/m}}$$

$$(FS)_{kopma} = 2,27$$

$z=0,50$ metreden başlayarak $0,5$ m aralıklarla $z=10$ m'ye kadar bütün geogrid katmanının kopmaya karşı güvenlik katsayısı yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Böylece geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayılarının hesaplanma işlemi tamamlanmıştır. Bundan sonra sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının hesaplanmasına geçilmiştir.

Bu çalışma kurgusal veriler üzerinden yürütüldüğü için sıyrılmaya direnci katsayısının bulunması için deney yapılamamıştır. Bu nedenle sıyrılmaya direnci katsayısı, Amerika Birleşik Devletleri Ulaştırma Bakanlığı Federal Karayolu İdaresi tarafından yayınlanan “*Mekanik Olarak Stabilize Edilmiş Toprak Duvarlar ve Güçlendirilmiş Zemin Şevleri Tasarım ve İnşaat Kuralları*” önerisine uygun olarak $\alpha = 0,80$ alınarak güvenli tarafta kalacak şekilde aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [38]:

$$P = \left(\frac{2}{3} \times \tan(\phi) \right) \times \alpha$$

$$P = \left(\frac{2}{3} \times \tan 30 \right) \times 0,80$$

$$P = 0,31 \text{ olarak hesaplanmıştır.}$$

$z=0,50$ m derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$l_R = \frac{H - z}{\tan \left(45 + \frac{\phi}{2} \right)}$$

$$l_R = \frac{10 - 0,50}{\tan\left(45 + \frac{30}{2}\right)}$$

$l_R = 5,48 \text{ m}$ olarak bulunur.

$z=1,00 \text{ m}$ derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R) aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$l_R = \frac{H - z}{\tan\left(45 + \frac{\phi}{2}\right)}$$

$$l_R = \frac{10 - 1}{\tan\left(45 + \frac{30}{2}\right)}$$

$l_R = 5,20 \text{ m}$ olarak bulunur.

$z=0,50 \text{ m}$ metreden başlayarak $0,5 \text{ m}$ aralıklarla $z=10 \text{ m}$ 'ye kadar bütün geogrid katmanlarının yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R) yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında her geogrid katmanının serim boyu $L=10 \text{ m}$ olarak kabul edilmiş olup $z=0,50 \text{ m}$ derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e) ise şu şekilde hesaplanmıştır.

$$L = l_e + l_R$$

$$10 = l_e + 5,48$$

$$l_e = 10 - 5,48$$

$$l_e = 4,52 \text{ m}$$

$z=1,00 \text{ m}$ derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e) ise şu şekilde hesaplanmıştır.

$$L = l_e + l_R$$

$$10 = l_e + 5,20$$

$$l_e = 10 - 5,20$$

$$l_e = 4,80 \text{ m}$$

z=0,50 metreden başlayarak 0,5 m aralıklarla z=10 m'ye kadar bütün geogrid katmanlarının dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e) yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

z=0,50 m derinlikteki geogrid katmanının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$(F.S)_{sty} = \frac{F_R}{T} = \frac{2 \times \sigma'_v \times l_e \times P}{\sigma'_H \times S_v}$$

$$(F.S)_{sty} = \frac{2 \times 27,93 \times 4,52 \times 0,31}{14,31 \times 0,50}$$

$$(F.S)_{sty} = 10,85$$

z=1,00 m derinlikteki geogrid katmanının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$(F.S)_{sty} = \frac{F_R}{T} = \frac{2 \times \sigma'_v \times l_e \times P}{\sigma'_H \times S_v}$$

$$(F.S)_{sty} = \frac{2 \times 37,43 \times 4,80 \times 0,31}{17,48 \times 0,50}$$

$$(F.S)_{sty} = 12,67$$

z=0,50 metreden başlayarak 0,5 m aralıklarla z=10 m'ye kadar bütün geogrid katmanlarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

H=10 m yüksekliğindeki geogrid donatılı istinat duvarı için z=0,50 metreden başlayarak

0,5 m aralıklarla $z=10$ m'ye kadar toplam 20 geogrid katmanı için yukarıda örnekleri verilen yöntemlerle güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar Microsoft Excel kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu hesaplamaların sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları $FS=1,5$ değeri ile karşılaştırılarak geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarını sağlayıp sağlamadığı tahkik edilmiştir. Güvenlik katsayısını sağlayan katmanlarda Microsoft Excel çalışma sayfası “Güvenli” yanıtını oluştururken, gerekli güvenlik katsayısı sağlayamayan katmanlarda ise “Yeniden Değerlendirilmeli” uyarısı vermektedir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.1 ve 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS_{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	9,31	15,00	5,00	14,31	0,50	2,78	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	12,48	15,00	5,00	17,48	0,50	2,27	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	15,64	15,00	5,00	20,64	0,50	1,92	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	18,81	15,00	5,00	23,81	0,50	1,67	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	21,98	15,00	5,00	26,98	0,50	1,47	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
6	3,00	75,43	25,14	15,00	5,00	30,14	0,50	1,32	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
7	3,50	84,93	28,31	15,00	5,00	33,31	0,50	1,19	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
8	4,00	94,43	31,48	15,00	5,00	36,48	0,50	1,09	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
9	4,50	103,93	34,64	15,00	5,00	39,64	0,50	1,00	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
10	5,00	113,43	37,81	15,00	5,00	42,81	0,50	0,93	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
11	5,50	122,93	40,98	15,00	5,00	45,98	0,50	0,86	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
12	6,00	132,43	44,14	15,00	5,00	49,14	0,50	0,81	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
13	6,50	141,93	47,31	15,00	5,00	52,31	0,50	0,76	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
14	7,00	151,43	50,48	15,00	5,00	55,48	0,50	0,72	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	53,64	15,00	5,00	58,64	0,50	0,68	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	56,81	15,00	5,00	61,81	0,50	0,64	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	59,98	15,00	5,00	64,98	0,50	0,61	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	63,14	15,00	5,00	68,14	0,50	0,58	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	66,31	15,00	5,00	71,31	0,50	0,56	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	69,48	15,00	5,00	74,48	0,50	0,53	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Çizelge 5.2. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinin sonuçları

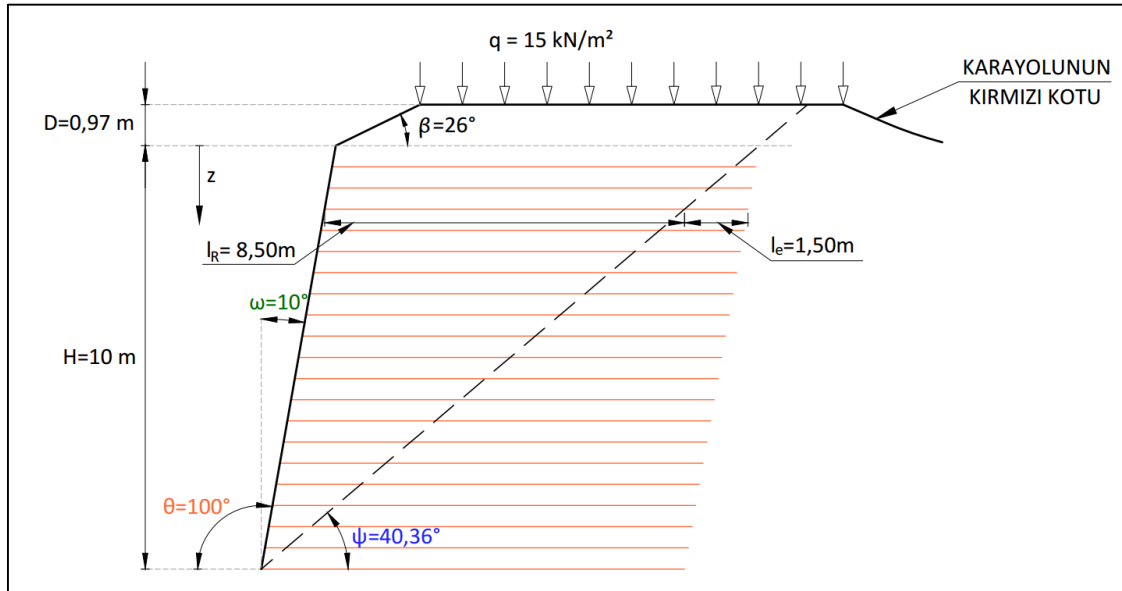
Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürçari) (kN/m)	σ_H (q) (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_k Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($FS_{sıyrılma}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	9,31	15,00	5,00	14,31	0,50	10,00	5,48	4,52	10,85	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	12,48	15,00	5,00	17,48	0,50	10,00	5,20	4,80	12,67	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	15,64	15,00	5,00	20,64	0,50	10,00	4,91	5,09	14,26	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	18,81	15,00	5,00	23,81	0,50	10,00	4,62	5,38	15,71	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	21,98	15,00	5,00	26,98	0,50	10,00	4,33	5,67	17,07	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	25,14	15,00	5,00	30,14	0,50	10,00	4,04	5,96	18,37	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	28,31	15,00	5,00	33,31	0,50	10,00	3,75	6,25	19,62	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	31,48	15,00	5,00	36,48	0,50	10,00	3,46	6,54	20,84	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	34,64	15,00	5,00	39,64	0,50	10,00	3,18	6,82	22,04	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	37,81	15,00	5,00	42,81	0,50	10,00	2,89	7,11	23,21	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	40,98	15,00	5,00	45,98	0,50	10,00	2,60	7,40	24,38	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	44,14	15,00	5,00	49,14	0,50	10,00	2,31	7,69	25,53	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	47,31	15,00	5,00	52,31	0,50	10,00	2,02	7,98	26,67	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	50,48	15,00	5,00	55,48	0,50	10,00	1,73	8,27	27,80	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	53,64	15,00	5,00	58,64	0,50	10,00	1,44	8,56	28,92	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	56,81	15,00	5,00	61,81	0,50	10,00	1,15	8,85	30,04	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	59,98	15,00	5,00	64,98	0,50	10,00	0,87	9,13	31,15	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	63,14	15,00	5,00	68,14	0,50	10,00	0,58	9,42	32,26	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	66,31	15,00	5,00	71,31	0,50	10,00	0,29	9,71	33,37	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	69,48	15,00	5,00	74,48	0,50	10,00	0,00	10,00	34,47	GÜVENLİ

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı dik ($\omega=0^\circ$) olarak tasarlanan GGD duvarda, yukarıdan itibaren sadece ilk 4 katmanın kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkmış, diğer katmanların ise yetersiz çıkmıştır. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları ise tüm geogrid katmanlarında yeterli çıkmıştır. Bu sonuçlara göre, Özer ve Çelebi [6] tarafından daha önce de belirlendiği gibi, tasarımı kontrol eden asıl faktörün kopmaya karşı güvenlik katsayısı olduğu bir kez daha anlaşılmıştır.

Bir sonraki adımda, diğer geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmak için duvarın ön yüz eğim açısı artırılmış ve ilk etapta $\omega=10^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlenmiştir.

5.1.2. $\omega=10^\circ$ için çözümleme

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den 10° dereceye çıkartılarak kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=10^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

$\omega=0^\circ$ iken yapılan hesaplamalarda tüm geogrid katmanlarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları zaten yeterli gelmişken duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında sıyrılmaya

karşı güvenlik katsayılarının daha da artacağı değerlendirilmiştir. Ancak buna rağmen duvarın ön yüz eğimi arttırıldıkça sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının ne oranda artacağını belirlenebilmesi amacıyla, duvar ön yüz eğim açısı her arttırıldığında sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları da hesaplanmıştır.

Aktif yanal toprak basınç katsayısı K_a , ön yüzü eğimli duvarlar için geliştirilen Coulomb denkleminin basitleştirilmiş hali olan Eşitlik 3 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

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

$$K_a = \frac{\sin^2 (100 + 30)}{\sin^3 100 \left[1 + \frac{\sin 30}{\sin 100} \right]^2}$$

$K_a = 0,27$ olarak hesaplanır.

Ön yüzü eğimli GGD duvarın potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ) ise Eşitlik 4 ile aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

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

$$\psi = 40,36^\circ$$

Geogrid katmanlarına etki eden düşey efektif gerilmeler, yatay efektif gerilmeler, yatay çekme kuvvetleri için yapılan hesaplamalar $\omega=0^\circ$ için yapılan hesaplamalarla aynı olduğundan burada tekrar verilmemiştir.

Ön yüzeyi eğimli ($\omega \geq 10^\circ$) GGD duvarda geogridin yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R), istinat duvarının ön yüzeyinin eğim açısına göre geometri kurallarından faydalanılarak Özer [36] tarafından geliştirilen Eşitlik 18 ile $z=0,50$ m için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

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

$$l_R = \frac{10 - 0,50}{\tan(40,36)} - (10 - 0,50) \times \tan(10)$$

$$l_R = 9,51 \text{ m}$$

z=1,00 m derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R) ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

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

$$l_R = \frac{10 - 1}{\tan(40,36)} - (10 - 1) \times \tan(10)$$

$$l_R = 9,00 \text{ m}$$

z=0,50 metreden başlayarak 0,5 m aralıklarla z=10 m'ye kadar bütün geogrid katmanlarının yenilme düzleminin içinde kalan uzunluğu (l_R) yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Çalışma kapsamında $H=10$ duvar için her geogrid katmanının serim boyu $L=10$ m olarak kabul edilmiş olup z=0,50 m derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e) ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$L = l_e + l_R$$

$$10 = l_e + 9,51$$

$$l_e = 10 - 9,51$$

$$l_e = 0,49 \text{ m}$$

z=1,00 m derinlikteki geogrid katmanının yenilme düzleminin dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e) ise şu şekilde hesaplanmıştır.

$$L = l_e + l_R$$

$$10 = l_e + 9,00$$

$$l_e = 10 - 9,00$$

$$l_e = 1,00 \text{ m}$$

$z=0,50$ metreden başlayarak $0,5$ m aralıklarla $z=10$ m'ye kadar bütün geogrid katmanlarının dışında kalan ve sıyrılmaya karşı koyan uzunluğu (l_e) yukarıda gösterildiği gibi hesaplanmıştır.

Kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının hesaplanma adımları $\omega=0^\circ$ için gerçekleştirilen çözümlerle aynı olduğundan burada tekrar verilmemiştir.

$H=10$ m yüksekliğindeki geogrid donatılı istinat duvarı için $z=0,50$ metreden başlayarak $0,5$ m aralıklarla $z=10$ m'ye kadar toplam 20 geogrid katmanı için yukarıda örnekleri verilen yöntemlerle sıyrılmaya güvenlik katsayıları hesaplanmıştır.

Bu hesaplamaların sonucunda elde edilen sıyrılmaya güvenlik katsayıları $FS=1,5$ değeri ile karşılaştırılarak geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarını sağlayıp sağlamadığı tahkik edilmiştir. Güvenlik katsayısını sağlayan katmanlarda Microsoft Excel çalışma sayfası “Güvenli” yanıtını oluştururken, gerekli güvenlik katsayısı sağlayamayan katmanlarda ise “Yeniden Değerlendirilmeli” uyarısı vermektedir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.3 ve 5.4'te sunulmuştur.

Çizelge 5.3. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	7,55	15,00	4,05	11,60	0,50	3,42	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	10,12	15,00	4,05	14,17	0,50	2,80	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	12,68	15,00	4,05	16,74	0,50	2,37	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	15,25	15,00	4,05	19,31	0,50	2,06	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	17,82	15,00	4,05	21,87	0,50	1,82	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	20,39	15,00	4,05	24,44	0,50	1,63	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	22,95	15,00	4,05	27,01	0,50	1,47	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
8	4,00	94,43	25,52	15,00	4,05	29,58	0,50	1,34	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
9	4,50	103,93	28,09	15,00	4,05	32,14	0,50	1,24	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
10	5,00	113,43	30,66	15,00	4,05	34,71	0,50	1,14	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
11	5,50	122,93	33,23	15,00	4,05	37,28	0,50	1,07	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
12	6,00	132,43	35,79	15,00	4,05	39,85	0,50	1,00	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
13	6,50	141,93	38,36	15,00	4,05	42,42	0,50	0,94	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
14	7,00	151,43	40,93	15,00	4,05	44,98	0,50	0,88	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	43,50	15,00	4,05	47,55	0,50	0,84	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	46,06	15,00	4,05	50,12	0,50	0,79	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	48,63	15,00	4,05	52,69	0,50	0,75	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	51,20	15,00	4,05	55,25	0,50	0,72	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	53,77	15,00	4,05	57,82	0,50	0,69	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	56,33	15,00	4,05	60,39	0,50	0,66	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Çizelge 5.4. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_h (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürgeyi) (kN/m)	$\sigma_h(q)$ (kN/m)	σ_h (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_R Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($F_{S_{sıyırılma}}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	7,55	15,00	4,05	11,60	0,50	10,00	9,51	0,49	1,47	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
2	1,00	37,43	10,12	15,00	4,05	14,17	0,50	10,00	9,00	1,00	3,24	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	12,68	15,00	4,05	16,74	0,50	10,00	8,50	1,50	5,16	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	15,25	15,00	4,05	19,31	0,50	10,00	8,00	2,00	7,18	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	17,82	15,00	4,05	21,87	0,50	10,00	7,50	2,50	9,27	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	20,39	15,00	4,05	24,44	0,50	10,00	7,00	3,00	11,39	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	22,95	15,00	4,05	27,01	0,50	10,00	6,50	3,50	13,54	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	25,52	15,00	4,05	29,58	0,50	10,00	6,00	4,00	15,72	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	28,09	15,00	4,05	32,14	0,50	10,00	5,50	4,50	17,91	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	30,66	15,00	4,05	34,71	0,50	10,00	5,00	5,00	20,11	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	33,23	15,00	4,05	37,28	0,50	10,00	4,50	5,50	22,33	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	35,79	15,00	4,05	39,85	0,50	10,00	4,00	6,00	24,55	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	38,36	15,00	4,05	42,42	0,50	10,00	3,50	6,50	26,78	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	40,93	15,00	4,05	44,98	0,50	10,00	3,00	7,00	29,02	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	43,50	15,00	4,05	47,55	0,50	10,00	2,50	7,50	31,26	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	46,06	15,00	4,05	50,12	0,50	10,00	2,00	8,00	33,50	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	48,63	15,00	4,05	52,69	0,50	10,00	1,50	8,50	35,75	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	51,20	15,00	4,05	55,25	0,50	10,00	1,00	9,00	38,00	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	53,77	15,00	4,05	57,82	0,50	10,00	0,50	9,50	40,26	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	56,33	15,00	4,05	60,39	0,50	10,00	0,00	10,00	42,51	GÜVENLİ

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarda, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısı artmış ve yukarıdan itibaren ilk 6 katmanın kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır. Diğer katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayısı ise yetersiz çıkmıştır.

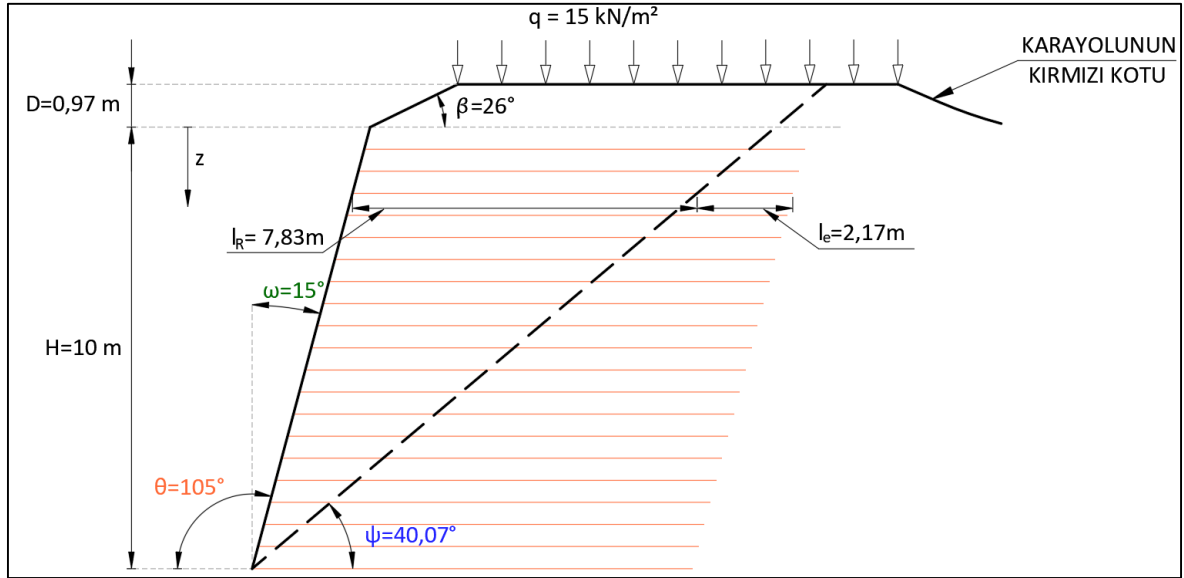
Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarında ise beklenenin aksine tüm geogrid katmanlarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarında azalma olduğu ve ilk geogrid katmanının güvenlik katsayısının yetersiz çıktığı görülmüştür.

Duvarın ön yüzü yatırıldığında kopmaya karşı güvenlik katsayıları artış gösterirken duvarın üst kısımlarında sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının azalması ilk bakışta şaşırtıcı ve beklenmedik bir sonuçmuş gibi görünse de bunun sebebi bütün analizlerde geogrid uzunluğunun $L=10$ m’de sabit tutulması ve duvar yatırıldığında ψ açısındaki azalmanın ω açısındaki azalmadan daha fazla olması sebebiyle üst katmanlarda geogridin sıyrılmaya karşı koyan (yenilme düzleminin dışında kalan) l_e boyunun azalmasıdır.

Bir sonraki adımda, duvarın ön yüz eğim açısı 5° daha arttırılmış ve $\omega=15^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlmeleri yapılmıştır.

5.1.3. $\omega=15^\circ$ İçin çözümleme

GGD duvarın ön yüz eğim açısının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla ön yüz eğim açısı $\omega=10^\circ$ den $\omega=15^\circ$ ye çıkartılarak kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=15^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.4’te, bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.5 ve 5.6’da sunulmuştur.



Şekil 5.4. $H=10\text{ m}$, $S_v=0,5\text{ m}$, $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.5. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	6,73	15,00	3,61	10,34	0,50	3,84	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	9,02	15,00	3,61	12,63	0,50	3,15	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	11,30	15,00	3,61	14,92	0,50	2,66	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	13,59	15,00	3,61	17,21	0,50	2,31	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	15,88	15,00	3,61	19,49	0,50	2,04	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	18,17	15,00	3,61	21,78	0,50	1,82	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	20,46	15,00	3,61	24,07	0,50	1,65	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	22,75	15,00	3,61	26,36	0,50	1,51	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	25,03	15,00	3,61	28,65	0,50	1,39	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
10	5,00	113,43	27,32	15,00	3,61	30,94	0,50	1,28	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
11	5,50	122,93	29,61	15,00	3,61	33,22	0,50	1,20	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
12	6,00	132,43	31,90	15,00	3,61	35,51	0,50	1,12	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
13	6,50	141,93	34,19	15,00	3,61	37,80	0,50	1,05	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
14	7,00	151,43	36,48	15,00	3,61	40,09	0,50	0,99	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	38,76	15,00	3,61	42,38	0,50	0,94	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	41,05	15,00	3,61	44,67	0,50	0,89	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	43,34	15,00	3,61	46,95	0,50	0,85	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	45,63	15,00	3,61	49,24	0,50	0,81	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	47,92	15,00	3,61	51,53	0,50	0,77	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	50,21	15,00	3,61	53,82	0,50	0,74	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Çizelge 5.6. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşar) (kN/m)	σ_H (q) (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($FS_{sıyrılma}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	6,73	15,00	3,61	10,34	0,50	10,00	8,75	1,25	4,16	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	9,02	15,00	3,61	12,63	0,50	10,00	8,29	1,71	6,25	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	11,30	15,00	3,61	14,92	0,50	10,00	7,83	2,17	8,42	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	13,59	15,00	3,61	17,21	0,50	10,00	7,37	2,63	10,63	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	15,88	15,00	3,61	19,49	0,50	10,00	6,91	3,09	12,88	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	18,17	15,00	3,61	21,78	0,50	10,00	6,45	3,55	15,15	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	20,46	15,00	3,61	24,07	0,50	10,00	5,99	4,01	17,44	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	22,75	15,00	3,61	26,36	0,50	10,00	5,53	4,47	19,74	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	25,03	15,00	3,61	28,65	0,50	10,00	5,07	4,93	22,05	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	27,32	15,00	3,61	30,94	0,50	10,00	4,60	5,40	24,36	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	29,61	15,00	3,61	33,22	0,50	10,00	4,14	5,86	26,69	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	31,90	15,00	3,61	35,51	0,50	10,00	3,68	6,32	29,01	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	34,19	15,00	3,61	37,80	0,50	10,00	3,22	6,78	31,34	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	36,48	15,00	3,61	40,09	0,50	10,00	2,76	7,24	33,67	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	38,76	15,00	3,61	42,38	0,50	10,00	2,30	7,70	36,00	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	41,05	15,00	3,61	44,67	0,50	10,00	1,84	8,16	38,34	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	43,34	15,00	3,61	46,95	0,50	10,00	1,38	8,62	40,68	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	45,63	15,00	3,61	49,24	0,50	10,00	0,92	9,08	43,02	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	47,92	15,00	3,61	51,53	0,50	10,00	0,46	9,54	45,36	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	50,21	15,00	3,61	53,82	0,50	10,00	0,00	10,00	47,70	GÜVENLİ

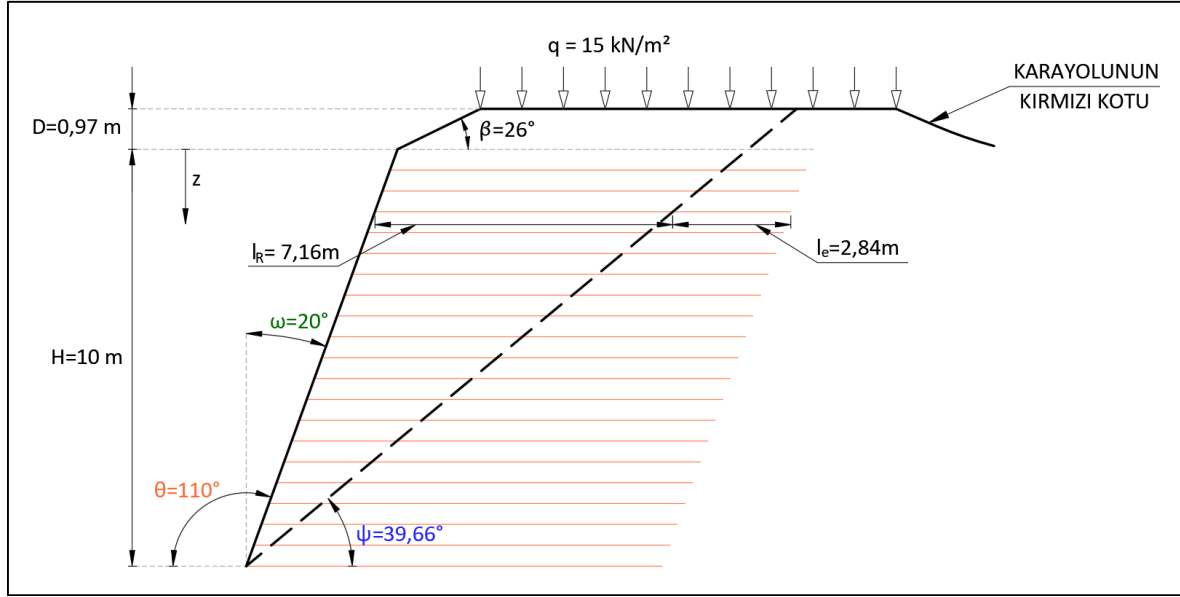
Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarda, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısı biraz daha artmış ve yukarıdan itibaren ilk 8 katmanın kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır. Diğer katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayısı ise yetersiz çıkmıştır.

Bununla birlikte $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvara kıyasla, geogrid katmanlarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının arttığı ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının tüm geogrid katmanlarında yeterli olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni duvarın ön yüzü yatırıldığında geogrid katmanlarının geriye doğru itilmesi ve yenilme düzleminin gerisinde kalan sıyrılmaya boylarının (l_e) artmasıdır. Zira GGD duvarın ön yüzü yatırıldığında yenilme düzleminin yatayla yaptığı açıdaki artışın duvarın ön yüz eğim açısındaki artışa kıyasla daha düşük olduğu görülmüştür. Şöyle ki; duvarın ön yüz eğim açısı $\omega=5^\circ$ arttırıldığında potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı ise sadece $\psi=0,29^\circ$ artmıştır. Buna bağlı olarak da geogrid katmanlarının yenilme düzleminin gerisinde kalan sıyrılmaya boyları (l_e) artmıştır. Bu nedenle de sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları artmıştır. Analizlerdeki “ l_e ” ve “ l_r ” uzunluklarına ait veriler Çizelge 5.4 ve 5.6’da sunulmuştur.

Bir sonraki adımda, duvarın ön yüz eğim açısı 5° daha arttırılmış ve $\omega=20^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlemeleri yapılmıştır.

5.1.4. $\omega=20^\circ$ İçin çözümleme

GGD duvarın ön yüz eğim açısının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla ön yüz eğim açısı $\omega=20^\circ$ ye çıkartılarak kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=20^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.5’te, bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.7 ve 5.8’de sunulmuştur.



Şekil 5.5. $H=10\text{ m}$, $S_v=0,5\text{ m}$, $\omega=20^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.7. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşari) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki ($F_{S_{Kopma}}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,92	15,00	3,18	9,11	0,50	4,36	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	7,94	15,00	3,18	11,12	0,50	3,57	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	9,96	15,00	3,18	13,14	0,50	3,02	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	11,97	15,00	3,18	15,15	0,50	2,62	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	13,99	15,00	3,18	17,17	0,50	2,31	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	16,00	15,00	3,18	19,18	0,50	2,07	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	18,02	15,00	3,18	21,20	0,50	1,87	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	20,03	15,00	3,18	23,21	0,50	1,71	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	22,05	15,00	3,18	25,23	0,50	1,57	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	24,06	15,00	3,18	27,24	0,50	1,46	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
11	5,50	122,93	26,08	15,00	3,18	29,26	0,50	1,36	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
12	6,00	132,43	28,09	15,00	3,18	31,27	0,50	1,27	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
13	6,50	141,93	30,11	15,00	3,18	33,29	0,50	1,19	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
14	7,00	151,43	32,12	15,00	3,18	35,31	0,50	1,13	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	34,14	15,00	3,18	37,32	0,50	1,06	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	36,15	15,00	3,18	39,34	0,50	1,01	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	38,17	15,00	3,18	41,35	0,50	0,96	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	40,18	15,00	3,18	43,37	0,50	0,92	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	42,20	15,00	3,18	45,38	0,50	0,88	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	44,22	15,00	3,18	47,40	0,50	0,84	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Çizelge 5.8. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m)	$\sigma_H(q)$ (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($FS_{sıyırılma}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,92	15,00	3,18	9,11	0,50	10,00	8,00	2,00	7,54	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	7,94	15,00	3,18	11,12	0,50	10,00	7,58	2,42	10,02	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	9,96	15,00	3,18	13,14	0,50	10,00	7,16	2,84	12,49	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	11,97	15,00	3,18	15,15	0,50	10,00	6,74	3,26	14,96	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	13,99	15,00	3,18	17,17	0,50	10,00	6,32	3,68	17,42	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	16,00	15,00	3,18	19,18	0,50	10,00	5,90	4,10	19,87	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	18,02	15,00	3,18	21,20	0,50	10,00	5,48	4,52	22,33	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	20,03	15,00	3,18	23,21	0,50	10,00	5,05	4,95	24,78	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	22,05	15,00	3,18	25,23	0,50	10,00	4,63	5,37	27,23	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	24,06	15,00	3,18	27,24	0,50	10,00	4,21	5,79	29,68	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	26,08	15,00	3,18	29,26	0,50	10,00	3,79	6,21	32,13	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	28,09	15,00	3,18	31,27	0,50	10,00	3,37	6,63	34,58	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	30,11	15,00	3,18	33,29	0,50	10,00	2,95	7,05	37,03	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	32,12	15,00	3,18	35,31	0,50	10,00	2,53	7,47	39,48	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	34,14	15,00	3,18	37,32	0,50	10,00	2,11	7,89	41,93	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	36,15	15,00	3,18	39,34	0,50	10,00	1,68	8,32	44,37	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	38,17	15,00	3,18	41,35	0,50	10,00	1,26	8,74	46,82	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	40,18	15,00	3,18	43,37	0,50	10,00	0,84	9,16	49,27	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	42,20	15,00	3,18	45,38	0,50	10,00	0,42	9,58	51,72	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	44,22	15,00	3,18	47,40	0,50	10,00	0,00	10,00	54,16	GÜVENLİ

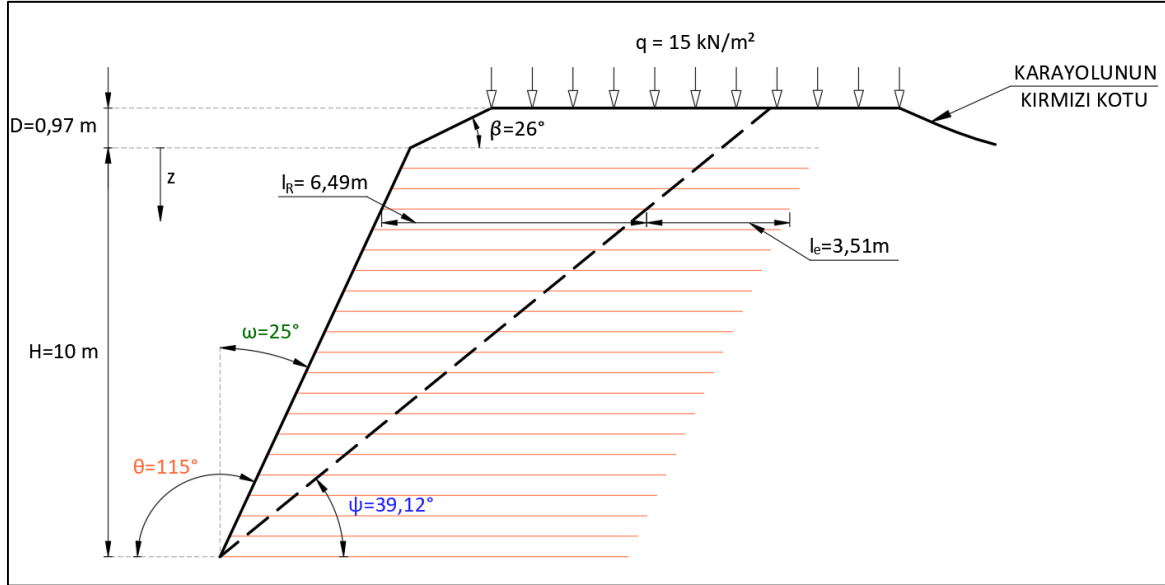
Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=20^\circ$ olarak tasarlandığında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısı artmış olup yukarıdan itibaren ilk 9 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır. Diğer katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayıları ise yetersiz çıkmıştır.

Bununla birlikte $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan duvara kıyasla, geogrid katmanlarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının arttığı ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının tüm geogrid katmanlarında yeterli olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni duvar ön yüz eğimi (ω°) arttırılırken geogrid boylarının sabit tutulmasıdır. Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te görüldüğü üzere ön yüz eğim açısında meydana gelen $\omega=5^\circ$ lik bir artış için potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı sadece $\psi=0,41^\circ$ değişim göstermektedir. Gerçekleştirilen çözümleme kapsamında geogrid boylarının $L=10$ m olarak sabit tutulması, ön yüz eğim açısının artması ile birlikte geogridlerin arkaya ötelenmesine olanak sağlamış ve sıyrılmaya karşı emniyetli geogrid ankraj uzunluğu " l_e " boylarının uzamasına zemin hazırlamıştır. Bu durumda da duvar ön yüz eğim açısının artması ile birlikte geogrid katmanlarındaki sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının arttığı belirlenmiştir. Analizlerdeki " l_e " ve " l_r " uzunluklarına ait veriler Çizelge 5.6 ve 5.8'de sunulmuştur.

Bir sonraki adımda, duvarın ön yüz eğim açısı 5° daha arttırılmış ve $\omega=25^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlemeleri yapılmıştır.

5.1.5. $\omega=25^\circ$ İçin çözümleme

GGD duvarın ön yüz eğim açısının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla ön yüz eğim açısı $\omega=25^\circ$ ye çıkartılarak kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=25^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.6'da bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.9 ve 5.10'da sunulmuştur.



Şekil 5.6. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.9. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşatı) (kN/m ²)	$\sigma_H(q)$ (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S _v (m)		Güvenlik Tahkiki (F _{s, kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,13	15,00	2,75	7,88	0,50	0,50	5,04	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	6,87	15,00	2,75	9,62	0,50	0,50	4,13	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	8,61	15,00	2,75	11,37	0,50	0,50	3,50	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	10,36	15,00	2,75	13,11	0,50	0,50	3,03	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	12,10	15,00	2,75	14,85	0,50	0,50	2,67	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	13,84	15,00	2,75	16,60	0,50	0,50	2,39	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	15,59	15,00	2,75	18,34	0,50	0,50	2,17	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	17,33	15,00	2,75	20,09	0,50	0,50	1,98	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	19,08	15,00	2,75	21,83	0,50	0,50	1,82	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	20,82	15,00	2,75	23,57	0,50	0,50	1,69	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	22,56	15,00	2,75	25,32	0,50	0,50	1,57	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	24,31	15,00	2,75	27,06	0,50	0,50	1,47	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
13	6,50	141,93	26,05	15,00	2,75	28,80	0,50	0,50	1,38	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
14	7,00	151,43	27,79	15,00	2,75	30,55	0,50	0,50	1,30	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	29,54	15,00	2,75	32,29	0,50	0,50	1,23	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	31,28	15,00	2,75	34,04	0,50	0,50	1,17	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	33,03	15,00	2,75	35,78	0,50	0,50	1,11	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	34,77	15,00	2,75	37,52	0,50	0,50	1,06	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	36,51	15,00	2,75	39,27	0,50	0,50	1,01	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	38,26	15,00	2,75	41,01	0,50	0,50	0,97	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Çizelge 5.10. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşür) (kN/m)	$\sigma_H(q)$ (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($FS_{sıyırılma}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,13	15,00	2,75	7,88	0,50	10,00	7,25	2,75	11,99	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	6,87	15,00	2,75	9,62	0,50	10,00	6,87	3,13	14,99	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	8,61	15,00	2,75	11,37	0,50	10,00	6,49	3,51	17,85	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	10,36	15,00	2,75	13,11	0,50	10,00	6,11	3,89	20,63	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	12,10	15,00	2,75	14,85	0,50	10,00	5,73	4,27	23,36	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	13,84	15,00	2,75	16,60	0,50	10,00	5,34	4,66	26,06	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	15,59	15,00	2,75	18,34	0,50	10,00	4,96	5,04	28,73	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	17,33	15,00	2,75	20,09	0,50	10,00	4,58	5,42	31,38	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	19,08	15,00	2,75	21,83	0,50	10,00	4,20	5,80	34,02	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	20,82	15,00	2,75	23,57	0,50	10,00	3,82	6,18	36,64	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	22,56	15,00	2,75	25,32	0,50	10,00	3,44	6,56	39,26	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	24,31	15,00	2,75	27,06	0,50	10,00	3,05	6,95	41,87	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	26,05	15,00	2,75	28,80	0,50	10,00	2,67	7,33	44,47	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	27,79	15,00	2,75	30,55	0,50	10,00	2,29	7,71	47,07	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	29,54	15,00	2,75	32,29	0,50	10,00	1,91	8,09	49,67	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	31,28	15,00	2,75	34,04	0,50	10,00	1,53	8,47	52,26	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	33,03	15,00	2,75	35,78	0,50	10,00	1,15	8,85	54,85	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	34,77	15,00	2,75	37,52	0,50	10,00	0,76	9,24	57,43	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	36,51	15,00	2,75	39,27	0,50	10,00	0,38	9,62	60,02	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	38,26	15,00	2,75	41,01	0,50	10,00	0,00	10,00	62,60	GÜVENLİ

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.11. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)		Güvenlik Tahkiki (FS_{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	4,32	15,00	2,32	6,64	0,50	0,50	5,98	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	5,79	15,00	2,32	8,11	0,50	0,50	4,90	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	7,26	15,00	2,32	9,58	0,50	0,50	4,15	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	8,73	15,00	2,32	11,05	0,50	0,50	3,60	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	10,20	15,00	2,32	12,52	0,50	0,50	3,17	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	11,67	15,00	2,32	13,99	0,50	0,50	2,84	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	13,14	15,00	2,32	15,46	0,50	0,50	2,57	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	14,61	15,00	2,32	16,93	0,50	0,50	2,35	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	16,08	15,00	2,32	18,40	0,50	0,50	2,16	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	17,55	15,00	2,32	19,87	0,50	0,50	2,00	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	19,02	15,00	2,32	21,34	0,50	0,50	1,86	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	20,49	15,00	2,32	22,81	0,50	0,50	1,74	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	21,96	15,00	2,32	24,28	0,50	0,50	1,64	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	23,43	15,00	2,32	25,75	0,50	0,50	1,54	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	24,90	15,00	2,32	27,22	0,50	0,50	1,46	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	26,37	15,00	2,32	28,69	0,50	0,50	1,38	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	27,84	15,00	2,32	30,16	0,50	0,50	1,32	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	29,30	15,00	2,32	31,63	0,50	0,50	1,26	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	30,77	15,00	2,32	33,10	0,50	0,50	1,20	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	32,24	15,00	2,32	34,56	0,50	0,50	1,15	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Çizelge 5.12. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürgari) (kN/m)	σ_H (q) (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{sıyırılma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	4,32	15,00	2,32	6,64	0,50	10,00	6,48	3,52	18,21	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	5,79	15,00	2,32	8,11	0,50	10,00	6,14	3,86	21,92	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	7,26	15,00	2,32	9,58	0,50	10,00	5,80	4,20	25,33	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	8,73	15,00	2,32	11,05	0,50	10,00	5,46	4,54	28,55	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	10,20	15,00	2,32	12,52	0,50	10,00	5,12	4,88	31,66	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	11,67	15,00	2,32	13,99	0,50	10,00	4,78	5,22	34,68	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	13,14	15,00	2,32	15,46	0,50	10,00	4,44	5,56	37,64	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	14,61	15,00	2,32	16,93	0,50	10,00	4,10	5,90	40,57	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	16,08	15,00	2,32	18,40	0,50	10,00	3,75	6,25	43,46	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	17,55	15,00	2,32	19,87	0,50	10,00	3,41	6,59	46,32	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	19,02	15,00	2,32	21,34	0,50	10,00	3,07	6,93	49,16	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	20,49	15,00	2,32	22,81	0,50	10,00	2,73	7,27	51,99	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	21,96	15,00	2,32	24,28	0,50	10,00	2,39	7,61	54,80	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	23,43	15,00	2,32	25,75	0,50	10,00	2,05	7,95	57,61	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	24,90	15,00	2,32	27,22	0,50	10,00	1,71	8,29	60,40	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	26,37	15,00	2,32	28,69	0,50	10,00	1,37	8,63	63,19	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	27,84	15,00	2,32	30,16	0,50	10,00	1,02	8,98	65,97	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	29,30	15,00	2,32	31,63	0,50	10,00	0,68	9,32	68,74	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	30,77	15,00	2,32	33,10	0,50	10,00	0,34	9,66	71,51	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	32,24	15,00	2,32	34,56	0,50	10,00	0,00	10,00	74,27	GÜVENLİ

Çizelge 5.13. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ _v (DOLGU) (kN/m ²)	σ _H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ _H (q) (kN/m ²)	σ _H (TOPLAM)	S _v		Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
								(m)		
1	0,50	27,93	3,50	15,00	1,88	5,38	0,50	7,39	GÜVENLİ	
2	1,00	37,43	4,69	15,00	1,88	6,57	0,50	6,05	GÜVENLİ	
3	1,50	46,93	5,88	15,00	1,88	7,76	0,50	5,12	GÜVENLİ	
4	2,00	56,43	7,07	15,00	1,88	8,95	0,50	4,44	GÜVENLİ	
5	2,50	65,93	8,26	15,00	1,88	10,14	0,50	3,92	GÜVENLİ	
6	3,00	75,43	9,45	15,00	1,88	11,33	0,50	3,51	GÜVENLİ	
7	3,50	84,93	10,64	15,00	1,88	12,52	0,50	3,17	GÜVENLİ	
8	4,00	94,43	11,83	15,00	1,88	13,71	0,50	2,90	GÜVENLİ	
9	4,50	103,93	13,02	15,00	1,88	14,90	0,50	2,67	GÜVENLİ	
10	5,00	113,43	14,21	15,00	1,88	16,09	0,50	2,47	GÜVENLİ	
11	5,50	122,93	15,40	15,00	1,88	17,28	0,50	2,30	GÜVENLİ	
12	6,00	132,43	16,59	15,00	1,88	18,47	0,50	2,15	GÜVENLİ	
13	6,50	141,93	17,78	15,00	1,88	19,66	0,50	2,02	GÜVENLİ	
14	7,00	151,43	18,97	15,00	1,88	20,85	0,50	1,91	GÜVENLİ	
15	7,50	160,93	20,16	15,00	1,88	22,04	0,50	1,80	GÜVENLİ	
16	8,00	170,43	21,35	15,00	1,88	23,23	0,50	1,71	GÜVENLİ	
17	8,50	179,93	22,54	15,00	1,88	24,42	0,50	1,63	GÜVENLİ	
18	9,00	189,43	23,74	15,00	1,88	25,61	0,50	1,55	GÜVENLİ	
19	9,50	198,93	24,93	15,00	1,88	26,80	0,50	1,48	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ	
20	10,00	208,43	26,12	15,00	1,88	28,00	0,50	1,42	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ	

Çizelge 5.14. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyırılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşari) (kN/m)	σ_H (q) (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($F_{S_{sıyırılma}}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	3,50	15,00	1,88	5,38	0,50	10,00	5,68	4,32	27,65	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	4,69	15,00	1,88	6,57	0,50	10,00	5,38	4,62	32,44	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	5,88	15,00	1,88	7,76	0,50	10,00	5,08	4,92	36,66	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	7,07	15,00	1,88	8,95	0,50	10,00	4,78	5,22	40,53	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	8,26	15,00	1,88	10,14	0,50	10,00	4,48	5,52	44,19	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	9,45	15,00	1,88	11,33	0,50	10,00	4,18	5,82	47,70	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	10,64	15,00	1,88	12,52	0,50	10,00	3,88	6,12	51,10	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	11,83	15,00	1,88	13,71	0,50	10,00	3,59	6,41	54,41	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	13,02	15,00	1,88	14,90	0,50	10,00	3,29	6,71	57,67	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	14,21	15,00	1,88	16,09	0,50	10,00	2,99	7,01	60,88	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	15,40	15,00	1,88	17,28	0,50	10,00	2,69	7,31	64,05	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	16,59	15,00	1,88	18,47	0,50	10,00	2,39	7,61	67,19	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	17,78	15,00	1,88	19,66	0,50	10,00	2,09	7,91	70,31	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	18,97	15,00	1,88	20,85	0,50	10,00	1,79	8,21	73,41	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	20,16	15,00	1,88	22,04	0,50	10,00	1,49	8,51	76,49	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	21,35	15,00	1,88	23,23	0,50	10,00	1,20	8,80	79,55	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	22,54	15,00	1,88	24,42	0,50	10,00	0,90	9,10	82,60	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	23,74	15,00	1,88	25,61	0,50	10,00	0,60	9,40	85,64	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	24,93	15,00	1,88	26,80	0,50	10,00	0,30	9,70	88,68	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	26,12	15,00	1,88	28,00	0,50	10,00	0,00	10,00	91,70	GÜVENLİ

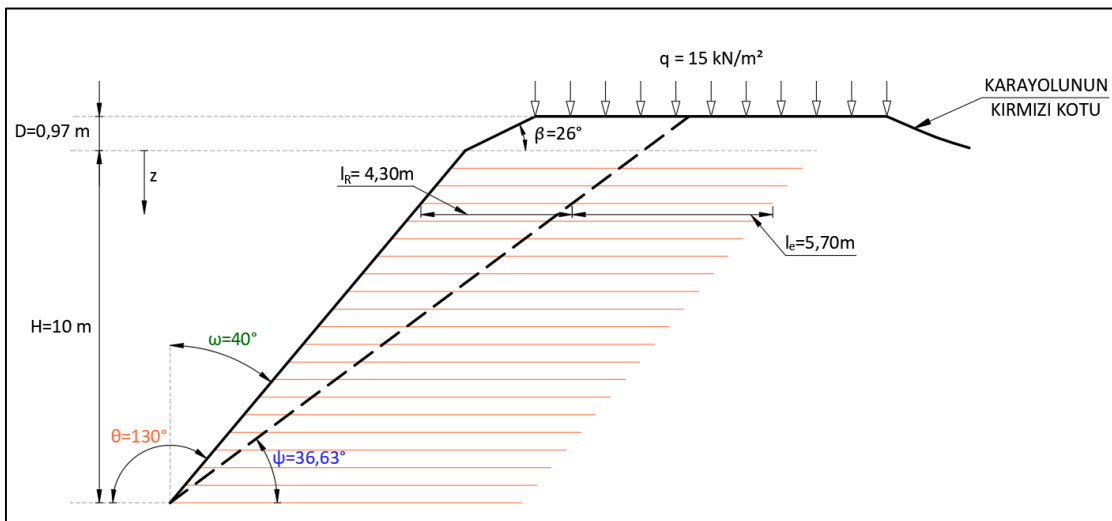
Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=35^\circ$ olarak tasarlandığında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısı artmış olup yukarıdan itibaren ilk 18 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır. Diğer katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayıları ise yetersiz çıkmıştır.

Geogrid katmanlarının sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları tüm geogrid katmanlarında yeterli çıkmıştır. Ayrıca sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının Başlık 5.1.3 ve Başlık 5.1.4.'te ayrıntılı şekilde açıklanan sebeplerden dolayı $\omega=30^\circ$ ye kıyasla arttığı da belirlenmiştir.

Bir sonraki adımda, duvarın ön yüz eğim açısı 5° daha arttırılmış ve $\omega=40^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlmeleri yapılmıştır.

5.1.8. $\omega=40^\circ$ İçin çözümleme

GGD duvarın ön yüz eğim açısının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla ön yüz eğim açısı $\omega=40^\circ$ ye çıkartılarak kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=40^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.9'da bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.15 ve 5.16'da sunulmuştur.



Şekil 5.9. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 5.15. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	s _v		Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
							(m)			
1	0,50	27,93	2,66	15,00	1,43	4,09	0,50		9,71	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	3,57	15,00	1,43	4,99	0,50		7,95	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	4,47	15,00	1,43	5,90	0,50		6,73	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	5,38	15,00	1,43	6,81	0,50		5,84	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	6,28	15,00	1,43	7,71	0,50		5,15	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	7,19	15,00	1,43	8,62	0,50		4,61	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	8,09	15,00	1,43	9,52	0,50		4,17	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	9,00	15,00	1,43	10,43	0,50		3,81	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	9,90	15,00	1,43	11,33	0,50		3,51	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	10,81	15,00	1,43	12,24	0,50		3,25	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	11,71	15,00	1,43	13,14	0,50		3,02	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	12,62	15,00	1,43	14,05	0,50		2,83	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	13,52	15,00	1,43	14,95	0,50		2,66	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	14,43	15,00	1,43	15,86	0,50		2,51	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	15,33	15,00	1,43	16,76	0,50		2,37	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	16,24	15,00	1,43	17,67	0,50		2,25	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	17,14	15,00	1,43	18,57	0,50		2,14	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	18,05	15,00	1,43	19,48	0,50		2,04	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	18,95	15,00	1,43	20,38	0,50		1,95	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	19,86	15,00	1,43	21,29	0,50		1,87	GÜVENLİ

Çizelge 5.16. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarı) (kN/m)	σ_H (q) (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($FS_{sıyrılma}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	2,66	15,00	1,43	4,09	0,50	10,00	4,80	5,20	43,70	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	3,57	15,00	1,43	4,99	0,50	10,00	4,55	5,45	50,29	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	4,47	15,00	1,43	5,90	0,50	10,00	4,30	5,70	55,86	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	5,38	15,00	1,43	6,81	0,50	10,00	4,05	5,95	60,82	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	6,28	15,00	1,43	7,71	0,50	10,00	3,79	6,21	65,38	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	7,19	15,00	1,43	8,62	0,50	10,00	3,54	6,46	69,67	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	8,09	15,00	1,43	9,52	0,50	10,00	3,29	6,71	73,76	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	9,00	15,00	1,43	10,43	0,50	10,00	3,03	6,97	77,71	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	9,90	15,00	1,43	11,33	0,50	10,00	2,78	7,22	81,56	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	10,81	15,00	1,43	12,24	0,50	10,00	2,53	7,47	85,31	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	11,71	15,00	1,43	13,14	0,50	10,00	2,28	7,72	89,00	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	12,62	15,00	1,43	14,05	0,50	10,00	2,02	7,98	92,64	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	13,52	15,00	1,43	14,95	0,50	10,00	1,77	8,23	96,23	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	14,43	15,00	1,43	15,86	0,50	10,00	1,52	8,48	99,79	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	15,33	15,00	1,43	16,76	0,50	10,00	1,26	8,74	103,31	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	16,24	15,00	1,43	17,67	0,50	10,00	1,01	8,99	106,81	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	17,14	15,00	1,43	18,57	0,50	10,00	0,76	9,24	110,28	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	18,05	15,00	1,43	19,48	0,50	10,00	0,51	9,49	113,74	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	18,95	15,00	1,43	20,38	0,50	10,00	0,25	9,75	117,18	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	19,86	15,00	1,43	21,29	0,50	10,00	0,00	10,00	120,61	GÜVENLİ

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=40^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır. Aynı şekilde sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları incelendiğinde tüm katmanların sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının da yeterli olduğu tespit edilmiştir.

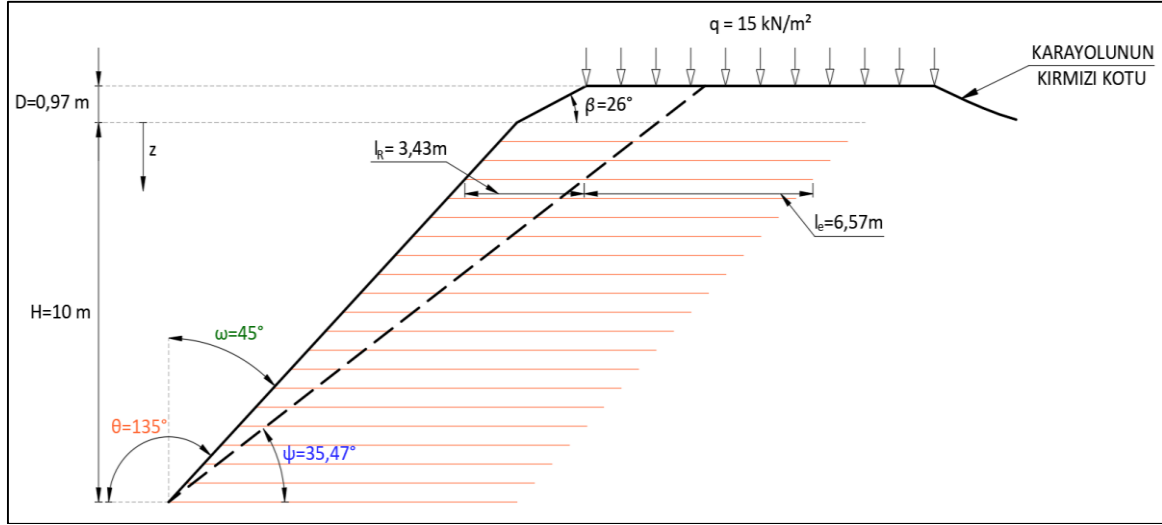
Başka bir ifade ile Geogrid – 1 (Tensar 40RE) için $\omega=40^\circ$ olarak gerçekleştirilen çözümlemede kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının her katmandaki geogridler için $FS=1,5$ 'ten büyük olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla GGD duvarın iç stabilitesi Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı $\omega=40^\circ$ olarak tasarlandığında sağlanmış olmaktadır.

Ön yüz eğim açısının arttırılmasının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı irdelenebilmesi maksadıyla GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırılarak çözümlemelere devam edilmiştir.

Bir sonraki adımda, duvarın ön yüz eğim açısı 5° daha arttırılmış ve $\omega=45^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlemeleri yapılmıştır.

5.1.9. $\omega=45^\circ$ İçin çözümleme

GGD duvarın ön yüz eğim açısının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerinde etkilerini belirlemek amacıyla ön yüz eğim açısı $\omega=45^\circ$ ye çıkartılarak kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=45^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.10'da bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.17 ve 5.18'de sunulmuştur.



Şekil 5.10. $H=10 \text{ m}$, $S_v=0,5 \text{ m}$, $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.17. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	1,82	15,00	0,98	2,79	0,50	14,23	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	2,43	15,00	0,98	3,41	0,50	11,66	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	3,05	15,00	0,98	4,03	0,50	9,87	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	3,67	15,00	0,98	4,64	0,50	8,55	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	4,29	15,00	0,98	5,26	0,50	7,55	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	4,90	15,00	0,98	5,88	0,50	6,76	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	5,52	15,00	0,98	6,50	0,50	6,12	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	6,14	15,00	0,98	7,11	0,50	5,58	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	6,76	15,00	0,98	7,73	0,50	5,14	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	7,37	15,00	0,98	8,35	0,50	4,76	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	7,99	15,00	0,98	8,97	0,50	4,43	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	8,61	15,00	0,98	9,59	0,50	4,14	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	9,23	15,00	0,98	10,20	0,50	3,89	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	9,85	15,00	0,98	10,82	0,50	3,67	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	10,46	15,00	0,98	11,44	0,50	3,47	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	11,08	15,00	0,98	12,06	0,50	3,30	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	11,70	15,00	0,98	12,67	0,50	3,13	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	12,32	15,00	0,98	13,29	0,50	2,99	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	12,93	15,00	0,98	13,91	0,50	2,86	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	13,55	15,00	0,98	14,53	0,50	2,73	GÜVENLİ

Çizelge 5.18. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 1 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için sıyrılma tahkikinin sonuçları

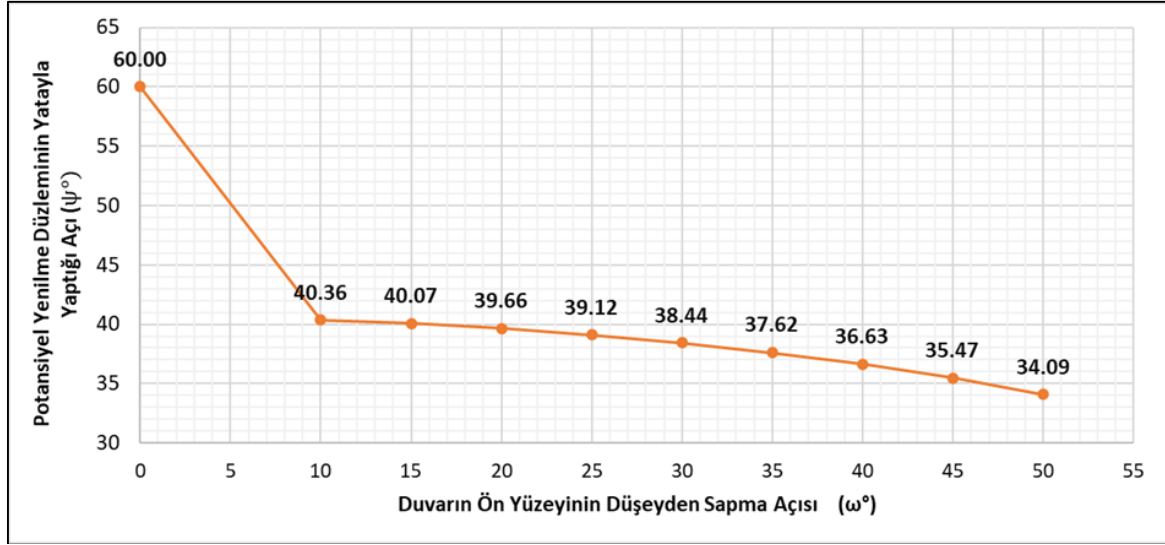
Katman No	Derinlik (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşür) (kN/m)	$\sigma_H(q)$ (kN/m)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	L (m)	I_R Hesap (m)	I_e Hesap (m)	Güvenlik Tahkiki ($FS_{sıyrılma}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	1,82	15,00	0,98	2,79	0,50	10,00	3,83	6,17	76,02	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	2,43	15,00	0,98	3,41	0,50	10,00	3,63	6,37	86,15	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	3,05	15,00	0,98	4,03	0,50	10,00	3,43	6,57	94,34	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	3,67	15,00	0,98	4,64	0,50	10,00	3,23	6,77	101,37	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	4,29	15,00	0,98	5,26	0,50	10,00	3,03	6,97	107,64	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	4,90	15,00	0,98	5,88	0,50	10,00	2,82	7,18	113,40	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	5,52	15,00	0,98	6,50	0,50	10,00	2,62	7,38	118,79	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	6,14	15,00	0,98	7,11	0,50	10,00	2,42	7,58	123,91	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	6,76	15,00	0,98	7,73	0,50	10,00	2,22	7,78	128,82	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	7,37	15,00	0,98	8,35	0,50	10,00	2,02	7,98	133,57	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	7,99	15,00	0,98	8,97	0,50	10,00	1,82	8,18	138,19	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	8,61	15,00	0,98	9,59	0,50	10,00	1,61	8,39	142,71	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	9,23	15,00	0,98	10,20	0,50	10,00	1,41	8,59	147,15	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	9,85	15,00	0,98	10,82	0,50	10,00	1,21	8,79	151,51	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	10,46	15,00	0,98	11,44	0,50	10,00	1,01	8,99	155,82	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	11,08	15,00	0,98	12,06	0,50	10,00	0,81	9,19	160,07	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	11,70	15,00	0,98	12,67	0,50	10,00	0,61	9,39	164,29	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	12,32	15,00	0,98	13,29	0,50	10,00	0,40	9,60	168,46	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	12,93	15,00	0,98	13,91	0,50	10,00	0,20	9,80	172,61	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	13,55	15,00	0,98	14,53	0,50	10,00	0,00	10,00	176,73	GÜVENLİ

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=45^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının $\omega=40^\circ$ ye göre arttığı belirlenmiştir. Tüm katmanlardaki güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır.

5.1.10. GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω°) ile potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı (ψ°) arasındaki ilişkinin incelenmesi

Bölüm 5.1.1 ila Bölüm 5.1.9’da sunulan şekiller incelendiğinde GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω) arttırıldıkça beklenildiği gibi potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açının da (ψ) arttığı görülmektedir. Bu artış oranları incelendiğinde dikkat çekici bazı bulgulara rastlanmıştır. Şöyle ki;

GGD duvarın ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ den 10° ye çıkartıldığında potansiyel yenilme düzleminin açısı $\psi = 60^\circ$ den $40,36^\circ$ ye ani bir düşüş göstermiştir. Ancak ön yüz eğim açısının $\omega = 10^\circ$ den sonraki artımlarda ψ açısında önemli bir azalma meydana gelmediği görülmüştür. Örneğin ön yüz eğim açısı $\omega = 10^\circ$ den 20° ye çıkartıldığında ψ açısı $40,36^\circ$ den sadece $39,66^\circ$ ye düşmüştür. Yani ω açısındaki 10° lik bir artışa karşılık ψ açısında sadece $0,7^\circ$ lik bir azalma meydana gelmiştir. Benzer bir hesabı $\omega = 40^\circ$ için yapacak olursak, ön yüz eğim açısı $\omega = 10^\circ$ den 40° ye çıkartıldığında ψ açısı $40,36^\circ$ den $36,63^\circ$ ye düşmüş olup, ω açısındaki 30° lik bir artışa karşılık ψ açısında sadece $3,73^\circ$ lik bir azalma meydana gelmiştir. ω ile ψ arasındaki bu ilişkiyi daha rahat görebilmek için ω açısına bağlı olarak ψ açısındaki değişimi gösteren bir grafik çizilmiş ve Şekil 5.11’de sunulmuştur.



Şekil 5.11. $\omega - \psi$ ilişkisi

5.1.11. Geogrid – 1 için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi

GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den başlayarak 45° ye kadar gerçekleştirilen bütün çözümlerlerden elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayıları toplu halde Çizelge 5.19’da sunulmuştur. Bu çizelgede güvenlik katsayısı 1,5’ten büyük olan (yeterli olan) geogrid katmanları koyu yazı karakteriyle ve yeşil zemin renginde gösterilmiştir.

Çizelge 5.19 incelendiğinde, $H=10$ m ve $S_v= 0,50$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön yüz eğim açısı artırıldığında duvarın üst kısımlarından itibaren alt kısımlarına doğru geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarının arttığı görülmektedir. En nihayetinde duvarın ön yüz eğim açısı 40° ye ulaştığında bütün geogrid katmanlarında kopmaya karşı güvenlik katsayılarının 1.5’ten büyük olduğu ve duvarın iç duraylılığının sağlandığı görülmüştür. Böylece daha yüksek kopma dayanımına sahip bir geogrid kullanılmadan sadece duvarın ön yüz eğim açısını arttırarak duvarın iç duraylılığının sağlanabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 5.19. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

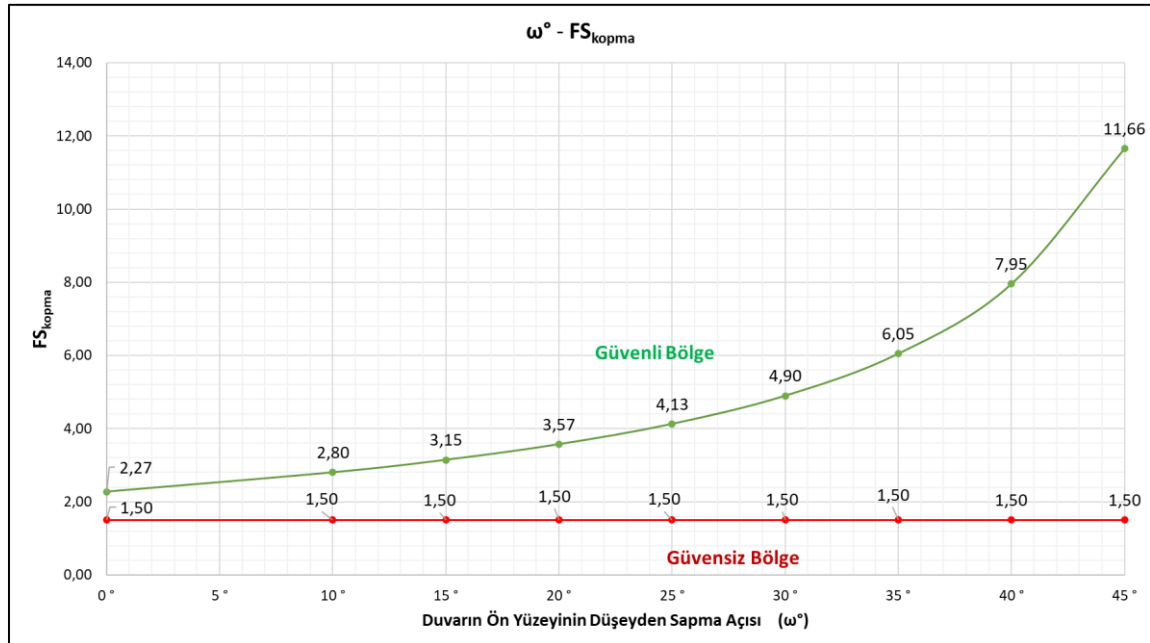
Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,50	2,78	3,42	3,84	4,36	5,04	5,98	7,39	9,71	14,23	
2	1,00	2,27	2,80	3,15	3,57	4,13	4,90	6,05	7,95	11,66	
3	1,50	1,92	2,37	2,66	3,02	3,50	4,15	5,12	6,73	9,87	
4	2,00	1,67	2,06	2,31	2,62	3,03	3,60	4,44	5,84	8,55	
5	2,50	1,47	1,82	2,04	2,31	2,67	3,17	3,92	5,15	7,55	
6	3,00	1,32	1,63	1,82	2,07	2,39	2,84	3,51	4,61	6,76	
7	3,50	1,19	1,47	1,65	1,87	2,17	2,57	3,17	4,17	6,12	
8	4,00	1,09	1,34	1,51	1,71	1,98	2,35	2,90	3,81	5,58	
9	4,50	1,00	1,24	1,39	1,57	1,82	2,16	2,67	3,51	5,14	
10	5,00	0,93	1,14	1,28	1,46	1,69	2,00	2,47	3,25	4,76	
11	5,50	0,86	1,07	1,20	1,36	1,57	1,86	2,30	3,02	4,43	
12	6,00	0,81	1,00	1,12	1,27	1,47	1,74	2,15	2,83	4,14	
13	6,50	0,76	0,94	1,05	1,19	1,38	1,64	2,02	2,66	3,89	
14	7,00	0,72	0,88	0,99	1,13	1,30	1,54	1,91	2,51	3,67	
15	7,50	0,68	0,84	0,94	1,06	1,23	1,46	1,80	2,37	3,47	
16	8,00	0,64	0,79	0,89	1,01	1,17	1,38	1,71	2,25	3,30	
17	8,50	0,61	0,75	0,85	0,96	1,11	1,32	1,63	2,14	3,13	
18	9,00	0,58	0,72	0,81	0,92	1,06	1,26	1,55	2,04	2,99	
19	9,50	0,56	0,69	0,77	0,88	1,01	1,20	1,48	1,95	2,86	
20	10,00	0,53	0,66	0,74	0,84	0,97	1,15	1,42	1,87	2,73	

Duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında kopmaya karşı güvenlik katsayılarının ne oranda arttığını görebilmek amacıyla duvarın üst, orta ve alt bölgesinden seçilen geogrid katmanları için ω açısına bağlı olarak $(FS)_{kopma}$ değerleri ayrı bir çizelgede toplanarak

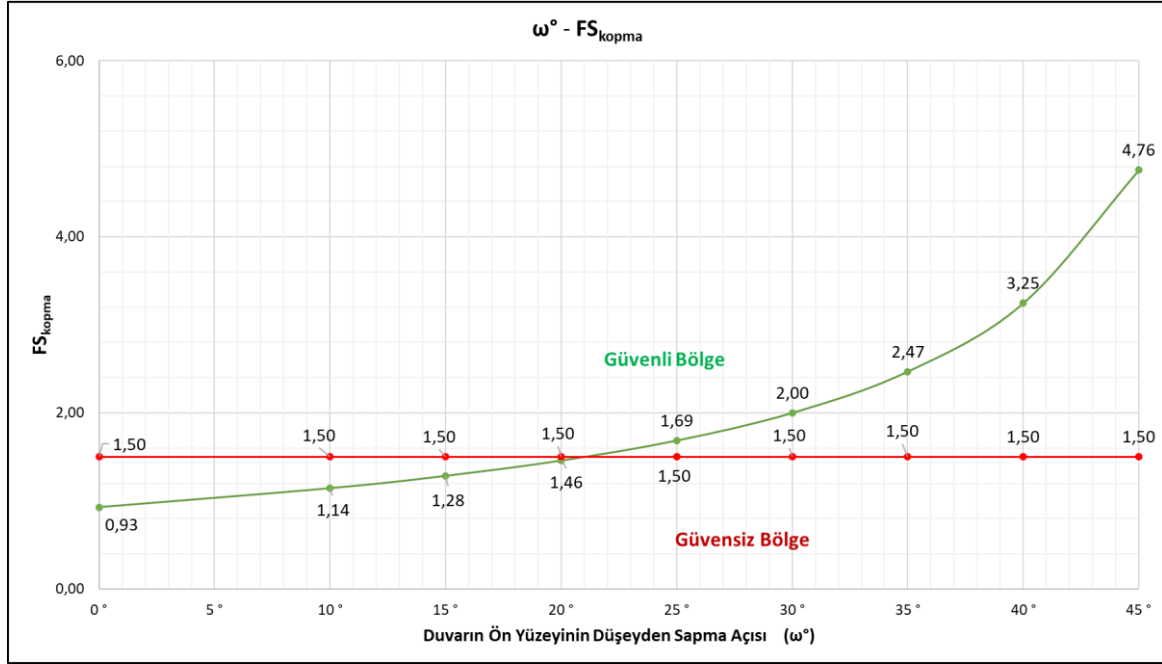
Çizelge 5.20’de sunulmuştur. Bu amaçla, $z=1,0$ m, $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m derinlikte bulunan katmanlar seçilmiştir. Çizelge 5.20’de sunulan değerler kullanılarak hazırlanan ω – $(FS)_{\text{kopma}}$ ilişkisini gösteren grafikler ise Şekil 5.12, Şekil 5.13 ve Şekil 5.14’te sunulmuştur.

Çizelge 5.20. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{\text{kopma}}$ değerleri

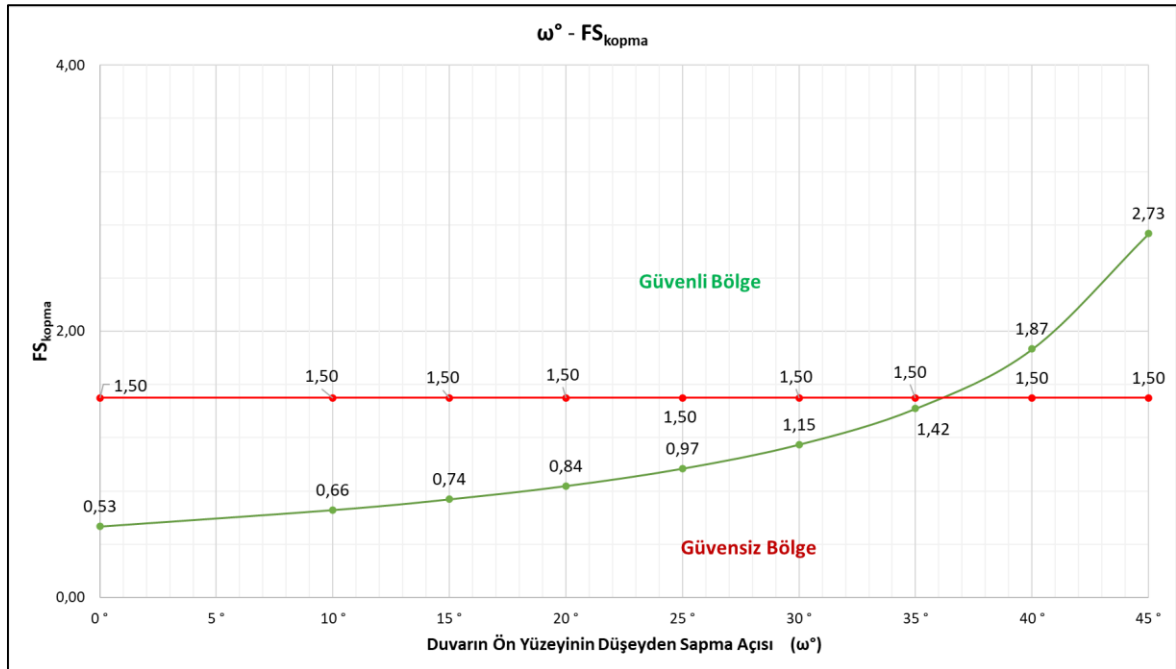
ω°	FS_{kopma}		
	$z=1,0\text{m}$	$z=5,0\text{m}$	$z=10,0\text{m}$
0°	2,27	0,93	0,53
10°	2,80	1,14	0,66
15°	3,15	1,28	0,74
20°	3,57	1,46	0,84
25°	4,13	1,69	0,97
30°	4,90	2,00	1,15
35°	6,05	2,47	1,42
40°	7,95	3,25	1,87
45°	11,66	4,76	2,73



Şekil 5.12. Geogrid – 1 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} ilişkisi



Şekil 5.13. Geogrid – 1 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği



Şekil 5.14. Geogrid – 1 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) için çizilen ω - FS_{kopma} grafikleri incelendiğinde duvar ön yüz eğim açısının artması ile birlikte kopmaya karşı güvenlik katsayılarının da arttığı görülmektedir. Her üç grafikte de ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den $\omega=35^\circ$ ye kadar olan çözümlemelerde kopmaya karşı güvenlik katsayıları arasında fazla bir artış olmadığı, ön

yüz eğim açısı $\omega=35^\circ$ ve üzerine çıktığı durumlarda ise kopmaya karşı güvenlik katsayılarının daha hızlı arttığı belirlenmiştir.

Bu tespit neticesinde, GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki (ω) artış oranıyla kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki (FS_{kopma}) artış oranı arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla seçilen geogrid katmanları için GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki (ω) artışa bağlı olarak kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki (FS_{kopma}) % artış oranları hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalarda, GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artışın, $\omega=0^\circ$ için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayısına kıyasla ne kadar artış gösterdiği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ait bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

$Z = 1$ m ve $\omega=10^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{2,80 - 2,27}{2,27} \times 100 = \%23,35$$

$Z = 1$ m ve $\omega=30^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{4,90 - 2,27}{2,27} \times 100 = \%115,86$$

$Z = 5$ m ve $\omega=10^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{1,14 - 0,93}{0,93} \times 100 = \%22,58$$

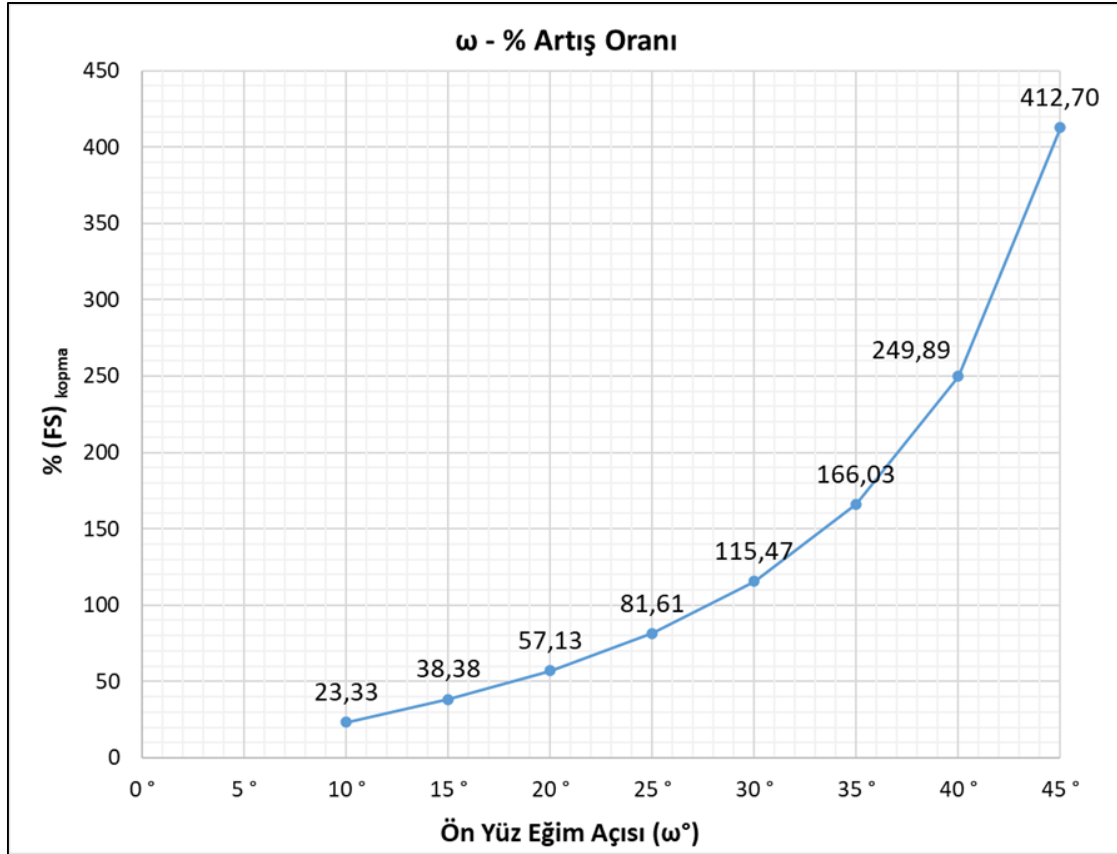
$Z = 5$ m ve $\omega=30^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{2,00 - 0,93}{0,93} \times 100 = \%115,05$$

Bu şekilde yapılan tüm hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.21’de, bu sonuçlar kullanılarak çizilen grafik ise Şekil 5.15’te verilmiştir.

Çizelge 5.21. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=1,0m$		$z=5,0m$		$z=10,0m$	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	2,27	-	0,93	-	0,53	-
10 °	2,80	23,33	1,14	23,33	0,66	23,33
15 °	3,15	38,38	1,28	38,38	0,74	38,38
20 °	3,57	57,13	1,46	57,13	0,84	57,13
25 °	4,13	81,61	1,69	81,61	0,97	81,61
30 °	4,90	115,47	2,00	115,47	1,15	115,47
35 °	6,05	166,03	2,47	166,03	1,42	166,03
40 °	7,95	249,89	3,25	249,89	1,87	249,89
45 °	11,66	412,70	4,76	412,70	2,73	412,70



Şekil 5.15. Geogrid – 1 için $z=1,0$ m; $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

Çizelge 5.21’den de görüldüğü gibi kopmaya karşı güvenlik katsayıları derinlikle birlikte değişse bile $\omega=0^\circ$ ye kıyasla kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki % artış oranları tüm geogrid katmanlarında aynı çıkmıştır. Örneğin GGD duvarın ön yüzünü $\omega=15^\circ$

yatırdığımızda tüm geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayıları ön yüzü dik ($\omega=0^\circ$) olan GGD duvara kıyasla %38,38 oranında artış göstermiştir.

Elde edilen bu sonucun farklı duvar yüksekliği ve farklı geogrid aralığı için geçerli olup olmadığını belirlemek amacıyla çalışmanın ilerleyen bölümlerde $H=5$ m ve $H=15$ m olmak üzere iki farklı duvar yüksekliği ve $S_v=0,4$ m ve $S_v=0,6$ m olmak üzere iki farklı düşey aralık için duraylılık analizleri yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

5.1.13. Geogrid – 1 için elde edilen sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi

GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den başlayarak 45° ye kadar gerçekleştirilen bütün çözümlerinin sonucunda elde edilen sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları toplu halde Çizelge 5.22’de sunulmuştur. Bu çizelgede güvenlik katsayısı 1,5’ten büyük olan (yeterli olan) geogrid katmanları koyu yazı karakteriyle ve yeşil zemin renginde gösterilmiştir.

Çizelge 5.22 incelendiğinde GGD duvarın ön yüz eğim açısının artması ile birlikte üst ve orta kısımlarda yer alan geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının önce azaldığı daha sonra artmaya başladığı görülmektedir. Özellikle $\omega=0^\circ$ den $\omega=10^\circ$ ye geçerken GGD duvarın üst ve orta kısımlarda yer alan geogrid katmanlarında sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının büyük oranda azaldığı, $\omega=10^\circ$ den itibaren ise artmaya başladığı belirlenmiştir. Bunun sebebi, GGD duvarın ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ den 10° ye çıkartıldığında potansiyel yenilme düzleminin açısının $\psi = 60^\circ$ den $40,36^\circ$ ye ani bir düşüş göstermesidir. Hesaplarda geogridin toplam uzunluğu $L=10$ m’de sabit tutulduğundan ve ψ açısındaki artış oranı ω açısındaki artış oranından daha fazla olduğundan geogridlerin l_e boyları azalmış ve buna bağlı olarak da $\omega=10^\circ$ için yapılan hesaplarda $\omega=0^\circ$ için yapılan hesaplara kıyasla $(F.S)_{\text{sıyrılmama}}$ değerlerinde ani düşüşler meydana gelmiştir (Çizelge 5.22).

Ancak Şekil 5.11’de de gösterildiği gibi ön yüz eğim açısının $\omega = 10^\circ$ den sonraki artımlarda ψ açısında önemli bir azalma meydana gelmediğinden ve hesaplarda geogrid boyu $L=10$ m’de sabit tutulduğundan duvarın ön yüzü yatırdıkça geogridler de geriye doğru ötelenmiş ve l_e boyları gittikçe artmış ve buna bağlı olarak da $(F.S)_{\text{sıyrılmama}}$ değerlerinde hızlı bir artış görülmüştür (Çizelge 5.22).

Çizelge 5.22. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{\text{sıyırılma}}$ arasındaki ilişki

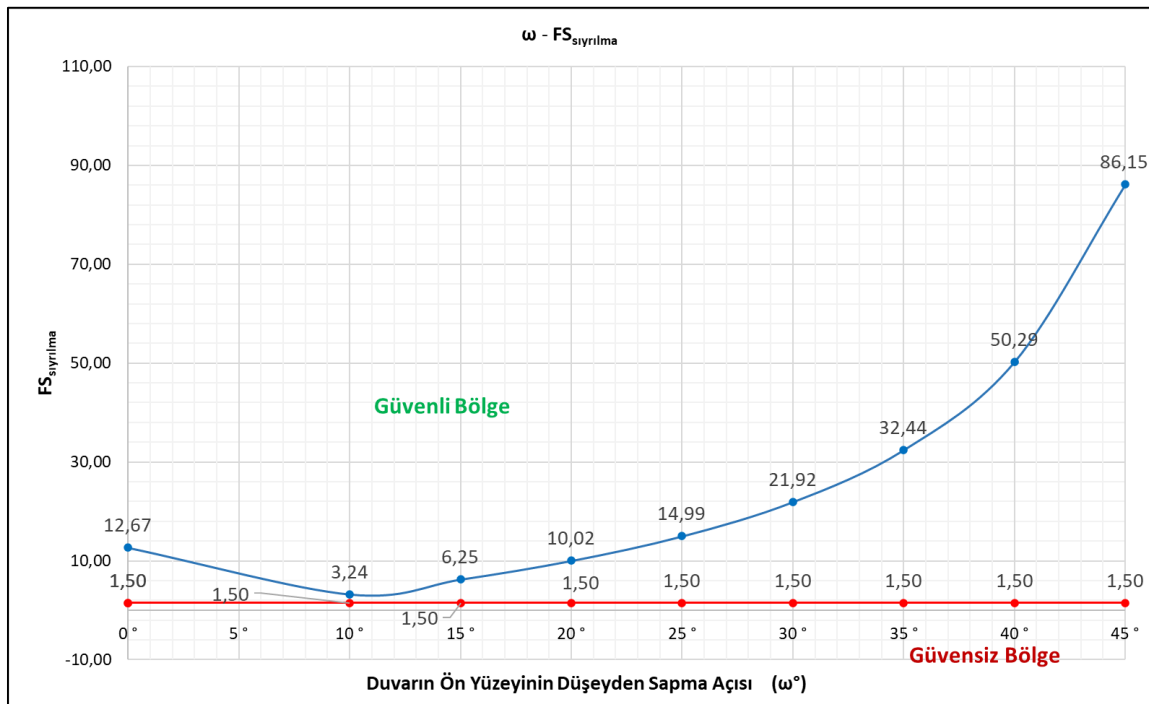
Katman No	Derinlik (z) (m)	Sıyırılmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{sıyırılma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,50	10,85	1,47	4,16	7,54	11,99	18,21	27,65	43,70	76,02	
2	1,00	12,67	3,24	6,25	10,02	14,99	21,92	32,44	50,29	86,15	
3	1,50	14,26	5,16	8,42	12,49	17,85	25,33	36,66	55,86	94,34	
4	2,00	15,71	7,18	10,63	14,96	20,63	28,55	40,53	60,82	101,37	
5	2,50	17,07	9,27	12,88	17,42	23,36	31,66	44,19	65,38	107,64	
6	3,00	18,37	11,39	15,15	19,87	26,06	34,68	47,70	69,67	113,40	
7	3,50	19,62	13,54	17,44	22,33	28,73	37,64	51,10	73,76	118,79	
8	4,00	20,84	15,72	19,74	24,78	31,38	40,57	54,41	77,71	123,91	
9	4,50	22,04	17,91	22,05	27,23	34,02	43,46	57,67	81,56	128,82	
10	5,00	23,21	20,11	24,36	29,68	36,64	46,32	60,88	85,31	133,57	
11	5,50	24,38	22,33	26,69	32,13	39,26	49,16	64,05	89,00	138,19	
12	6,00	25,53	24,55	29,01	34,58	41,87	51,99	67,19	92,64	142,71	
13	6,50	26,67	26,78	31,34	37,03	44,47	54,80	70,31	96,23	147,15	
14	7,00	27,80	29,02	33,67	39,48	47,07	57,61	73,41	99,79	151,51	
15	7,50	28,92	31,26	36,00	41,93	49,67	60,40	76,49	103,31	155,82	
16	8,00	30,04	33,50	38,34	44,37	52,26	63,19	79,55	106,81	160,07	
17	8,50	31,15	35,75	40,68	46,82	54,85	65,97	82,60	110,28	164,29	
18	9,00	32,26	38,00	43,02	49,27	57,43	68,74	85,64	113,74	168,46	
19	9,50	33,37	40,26	45,36	51,72	60,02	71,51	88,68	117,18	172,61	
20	10,00	34,47	42,51	47,70	54,16	62,60	74,27	91,70	120,61	176,73	

Duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında sıyırılmaya karşı güvenlik katsayılarının ne oranda arttığını görebilmek amacıyla duvarın üst yüzeyinden itibaren belli geogrid katmanları seçilerek $\omega - FS_{\text{sıyırılma}}$ ilişkisini gösteren grafikler çizilmiştir. Sıyırılmaya karşı güvenlik

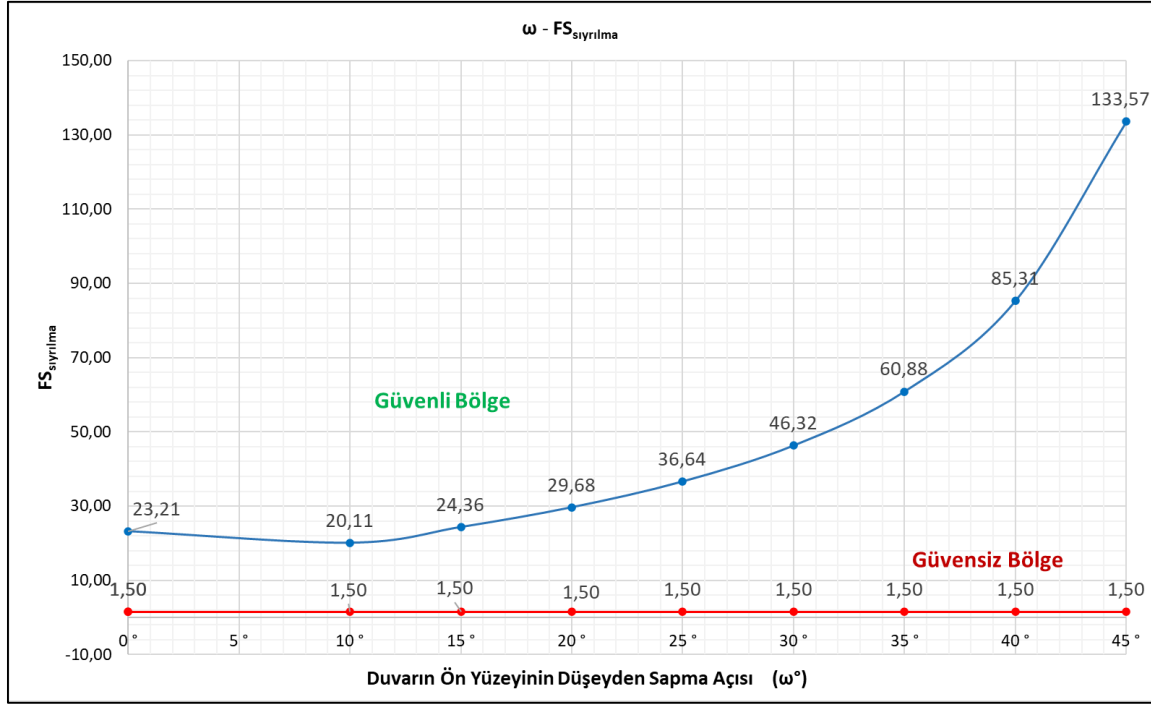
katsayısı derinlikle birlikte her katman için değişmekte olup tüm geogrid katmanları için bu grafiklerin çizilmesi fazla yer kaplayacağından sadece duvarın üst, orta ve alt kesimlerinden seçilen katmanlar için bu grafikler çizilmiştir. Bu amaçla, $z=1,0$ m, $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m derinlikte bulunan katmanlar seçilmiştir. Seçilen bu katmanlar için elde edilen $\omega - FS_{\text{sıyrılma}}$ değerleri Çizelge 5.23'te, bu değerler kullanılarak çizilen grafikler ise Şekil 5.16, 5.17 ve 5.18'te verilmiştir.

Çizelge 5.23. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{\text{sıyrılma}}$ değerleri

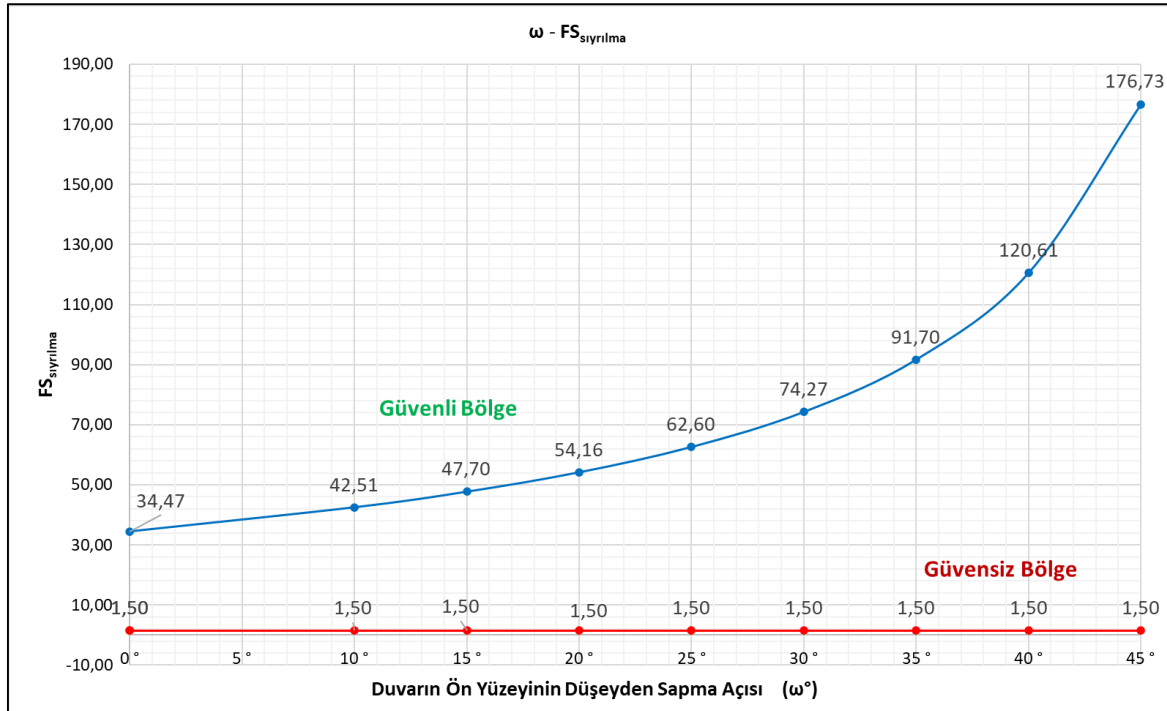
ω°	$FS_{\text{sıyrılma}}$		
	$z=1,0\text{m}$	$z=5,0\text{m}$	$z=10,0\text{m}$
0 °	12,67	23,21	34,47
10 °	3,24	20,11	42,51
15 °	6,25	24,36	47,70
20 °	10,02	29,68	54,16
25 °	14,99	36,64	62,60
30 °	21,92	46,32	74,27
35 °	32,44	60,88	91,70
40 °	50,29	85,31	120,61
45 °	86,15	133,57	176,73



Şekil 5.16. Geogrid – 1 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve $FS_{\text{sıyrılma}}$ grafiği



Şekil 5.17. Geogrid – 1 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve $FS_{sıyırılma}$ grafiği



Şekil 5.18. Geogrid – 1 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve $FS_{sıyırılma}$ grafiği

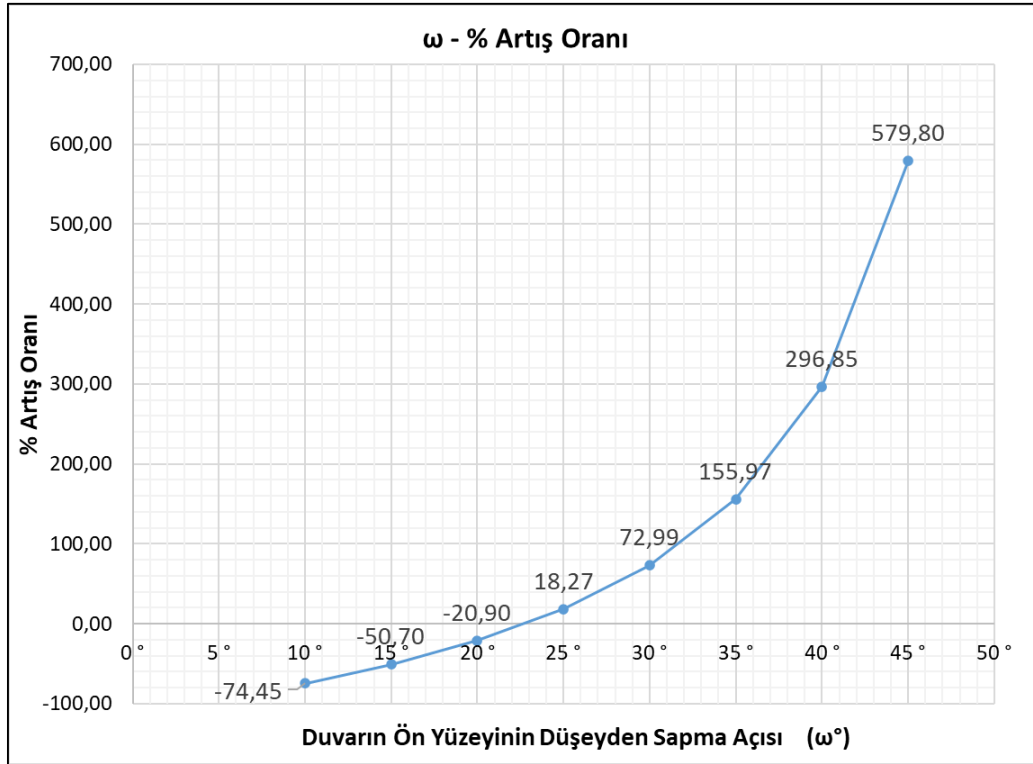
Geogrid – 1 (Tensar 40RE) için çizilen ω° ve $FS_{sıyırılma}$ grafikleri incelendiğinde duvar ön yüz eğim açısının artması ile birlikte üst ve orta kısımlarda yer alan geogridlerin sıyırılmaya karşı güvenlik katsayılarının önce azalıp ardından artış gösterdiği belirlenmiştir. Üst ve

orta kısımlarda yer alan geogrid katmanlarında da $\omega=0^\circ$ den $\omega=10^\circ$ ye geçerken güvenlik katsayılarının büyük ölçüde azaldığı, $\omega=10^\circ$ den itibaren de artış göstermeye başladığı belirlenmiştir. Bunun sebebi geogrid uzunluğunun $L=10$ m’de sabit tutulması ve duvar yatırıldığında ψ açısındaki azalmanın ω açısındaki azalmadan daha fazla olması sebebiyle üst katmanlarda geogridin sıyrılmaya karşı koyan (yenilme düzleminin dışında kalan) le boyunun azalmasıdır.

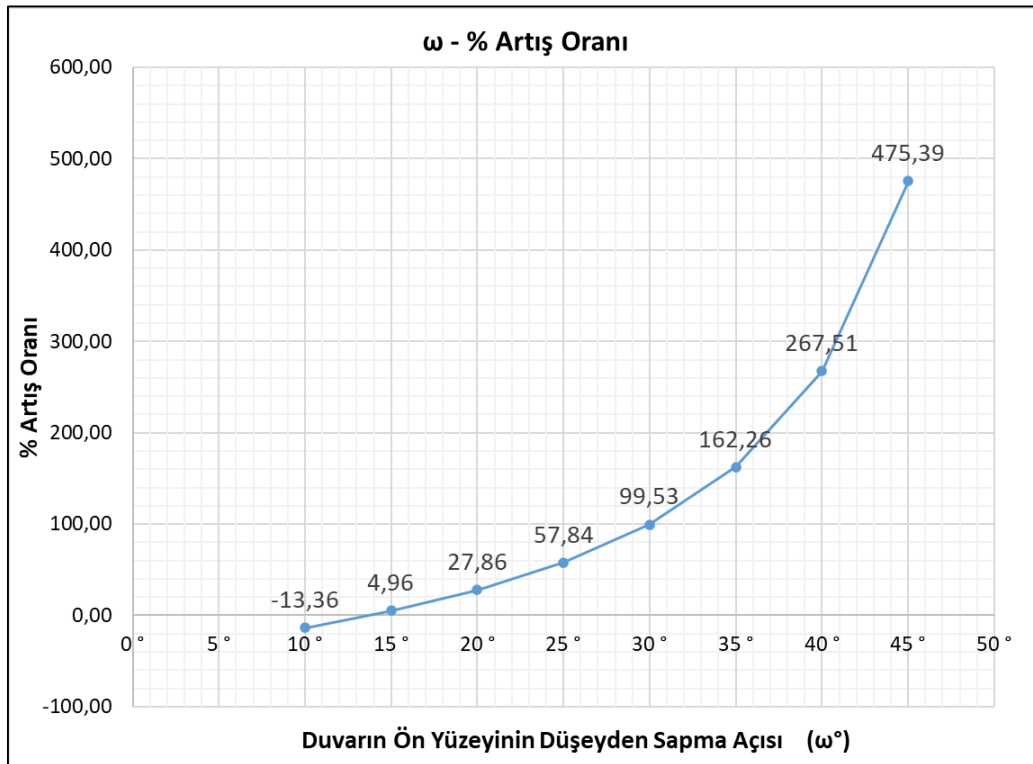
Bu durumdan yola çıkarak belirlenen geogrid katmanlarında sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının aralarındaki artış oranlarının incelenebilmesi maksadıyla da ön yüz eğim açısı (ω°) ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısının yüzde artış oranlarına dair ($\%FS_{\text{sıyırılma}}$) grafikleri çizilmiş ve aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.24. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $FS_{\text{sıyırılma}}$ değerlerindeki % artış oranları

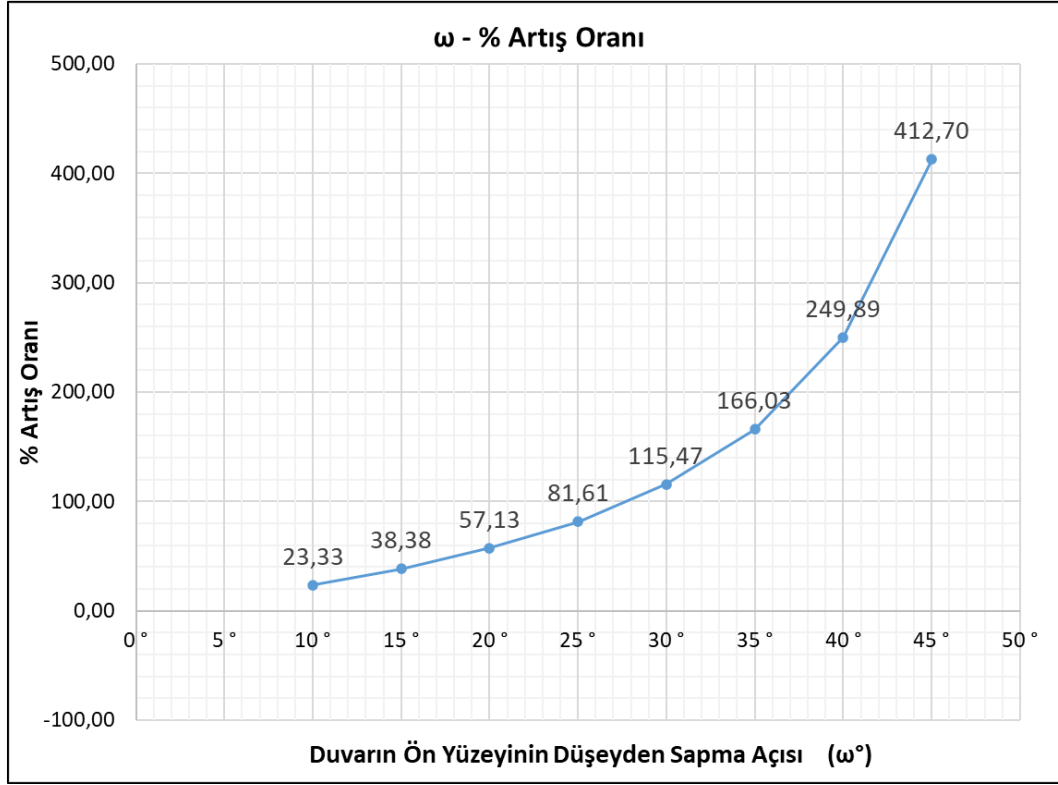
ω°	$z=1,0\text{m}$		$z=5,0\text{m}$		$z=10,0\text{m}$	
	$FS_{\text{sıyırılma}}$	$\%FS_{\text{sıyırılma}}$	$FS_{\text{sıyırılma}}$	$\%FS_{\text{sıyırılma}}$	$FS_{\text{sıyırılma}}$	$\%FS_{\text{sıyırılma}}$
0 °	12,67	-	23,21	-	34,47	-
10 °	3,24	-74,45	20,11	-13,36	42,51	23,33
15 °	6,25	-50,70	24,36	4,96	47,70	38,38
20 °	10,02	-20,90	29,68	27,86	54,16	57,13
25 °	14,99	18,27	36,64	57,84	62,60	81,61
30 °	21,92	72,99	46,32	99,53	74,27	115,47
35 °	32,44	155,97	60,88	162,26	91,70	166,03
40 °	50,29	296,85	85,31	267,51	120,61	249,89
45 °	86,15	579,80	133,57	475,39	176,73	412,70



Şekil 5.19. Geogrid – 1 için $z=1,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{\text{Sıyırılma}}$ artış oranı grafiği



Şekil 5.20. Geogrid – 1 için $z=5,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{\text{Sıyırılma}}$ artış oranı grafiği



Şekil 5.21. Geogrid – 1 için $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{\text{sıyırılma}}$ artış oranı grafiği

Geogrid – 1 için her ön yüz eğim açısı değişiminde geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları farklı derinlik değerlerinde farklı değerler almaktadır. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının birbirinden farklı yüzde oranında artış ve azalış gösterdiği de yapılan çözümlemeler sonucunda tespit edilmiştir.

Sıyrılmaya karşı emniyetli geogrid ankraj uzunluğu “ l_e ” boylarındaki farklılıklar geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarında farklılıklar oluşmasına sebep olmaktadır. Bu durumun önüne geçilebilmesi için geogridlerin serim boylarının (L) imalatlar esnasında sabit tutulmayıp ön yüz eğim açısına göre “ L ” boylarının uzatılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

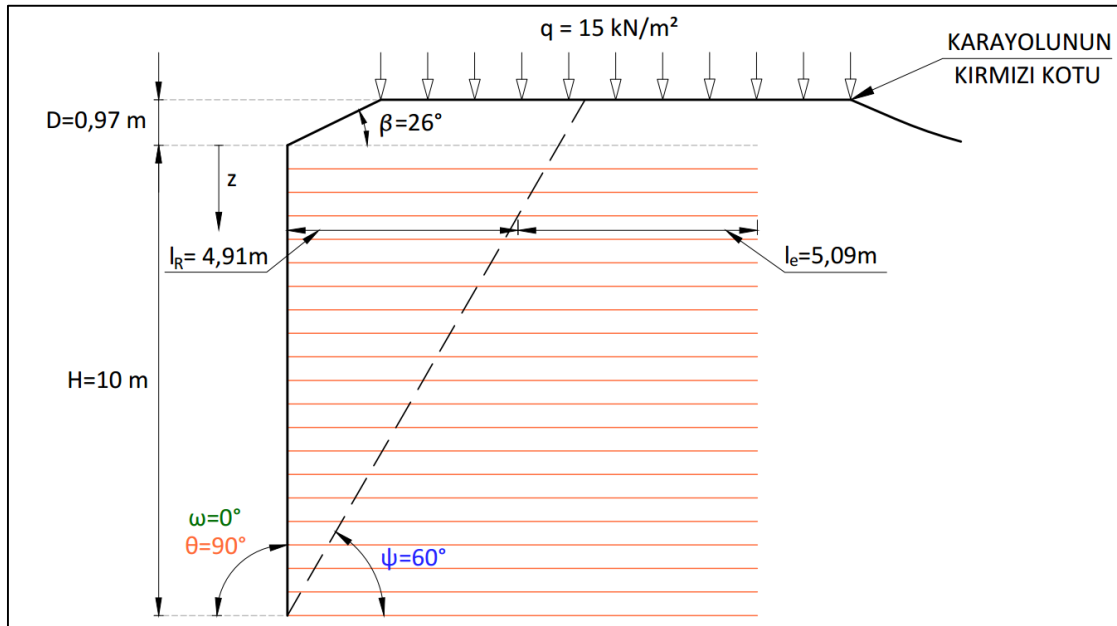
5.2. Geogrid – 2 İçin Yapılan Çözümlemeler

Geogrid – 2 (Tensar80RE) kullanılarak GGD duvar ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den 45° ye kadar olan yapılan çözümlemeler ve bulunan sonuçlar aşağıda ayrı başlıklar halinde verilmiştir.

Geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayı hesapları, geogridlerin nihai kopma dayanımlarından bağımsızdır. Dolayısıyla Geogrid – 2 (Tensar80RE) için elde edilecek sonuçlar, Geogrid – 1 (Tensar40RE) ile aynı olacağı için bu geogrid için sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmamıştır. Sıyrılmaya karşı güvenlik katsayısı hesaplamaları Bölüm 5.1’de Geogrid – 1 (Tensar40RE) için ayrıntılı olarak açıklanmıştır.

5.2.1. $\omega=0^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 1 için gerçekleştirilen ilk çözümlemede; yukarıda ayrıntılı olarak açıklanan sabit değişkenler kullanılmış olup duvar ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ kabul edilmiştir. $\omega=0^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi Şekil 5.22’de, bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.25’te sunulmuştur.



Şekil 5.22. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 5.25. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS_{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	9,31	15,00	5,00	14,31	0,50	4,51	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	12,48	15,00	5,00	17,48	0,50	3,69	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	15,64	15,00	5,00	20,64	0,50	3,12	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	18,81	15,00	5,00	23,81	0,50	2,71	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	21,98	15,00	5,00	26,98	0,50	2,39	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	25,14	15,00	5,00	30,14	0,50	2,14	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	28,31	15,00	5,00	33,31	0,50	1,94	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	31,48	15,00	5,00	36,48	0,50	1,77	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	34,64	15,00	5,00	39,64	0,50	1,63	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	37,81	15,00	5,00	42,81	0,50	1,51	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	40,98	15,00	5,00	45,98	0,50	1,40	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
12	6,00	132,43	44,14	15,00	5,00	49,14	0,50	1,31	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
13	6,50	141,93	47,31	15,00	5,00	52,31	0,50	1,23	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
14	7,00	151,43	50,48	15,00	5,00	55,48	0,50	1,16	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	53,64	15,00	5,00	58,64	0,50	1,10	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	56,81	15,00	5,00	61,81	0,50	1,04	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	59,98	15,00	5,00	64,98	0,50	0,99	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	63,14	15,00	5,00	68,14	0,50	0,95	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	66,31	15,00	5,00	71,31	0,50	0,90	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	69,48	15,00	5,00	74,48	0,50	0,87	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

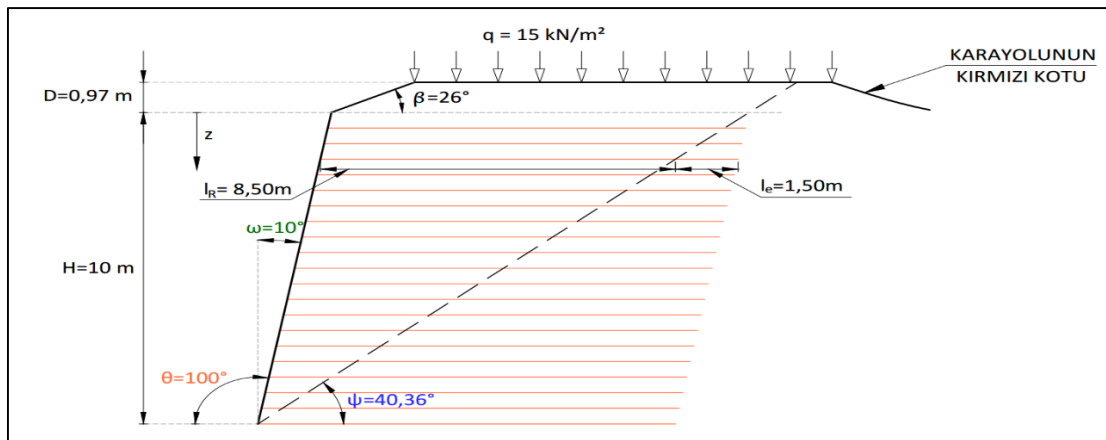
Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı dik ($\omega=0^\circ$) olarak tasarlanan GGD duvarında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı tahkikinin sonucunda yukarıdan itibaren sadece ilk 4 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmış, diğer katmanların güvenlik katsayıları yetersiz çıkmıştır.

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı dik ($\omega=0^\circ$) olarak tasarlanan GGD duvarında ise, kopmaya karşı güvenlik katsayısı tahkikinin sonucunda yukarıdan itibaren ilk 10 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmış, diğer katmanların güvenlik katsayıları yetersiz çıkmıştır.

Bir sonraki adımda, diğer geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmak için duvarın ön yüz eğim açısı artırılmış ve $\omega=10^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlemeleri yapılmıştır.

5.2.2. $\omega=10^\circ$ için çözümleme

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarının ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den 10° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=10^\circ$ için tasarlanan GGD duvarının ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.23'te verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.26'da sunulmuştur.



Şekil 5.23. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.26. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

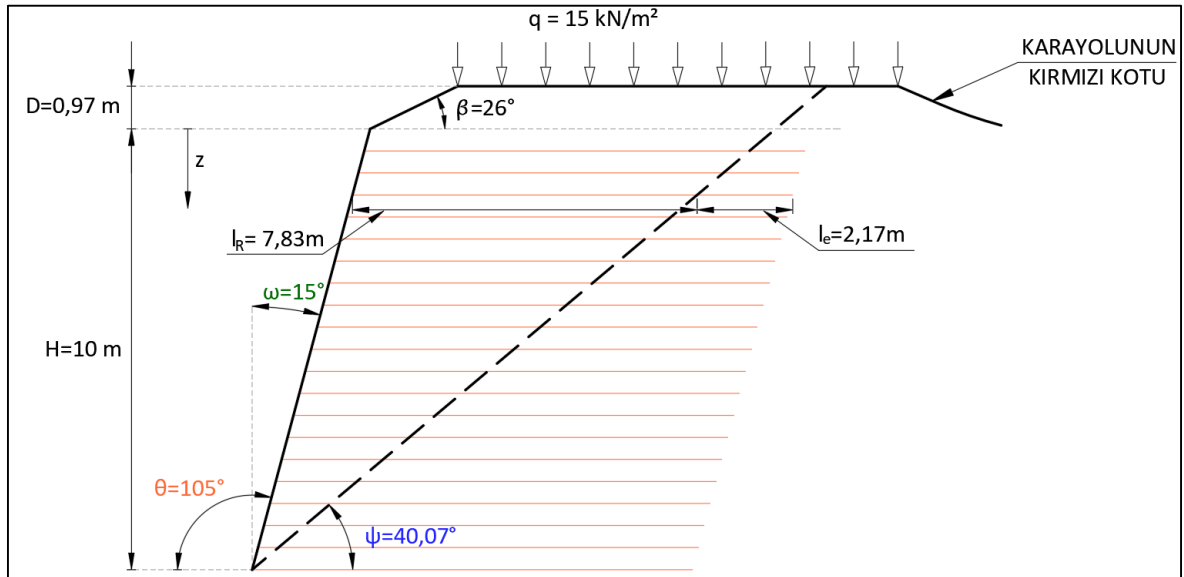
Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS_{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	7,55	15,00	4,05	11,60	0,50	5,56	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	10,12	15,00	4,05	14,17	0,50	4,55	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	12,68	15,00	4,05	16,74	0,50	3,85	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	15,25	15,00	4,05	19,31	0,50	3,34	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	17,82	15,00	4,05	21,87	0,50	2,95	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	20,39	15,00	4,05	24,44	0,50	2,64	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	22,95	15,00	4,05	27,01	0,50	2,39	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	25,52	15,00	4,05	29,58	0,50	2,18	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	28,09	15,00	4,05	32,14	0,50	2,01	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	30,66	15,00	4,05	34,71	0,50	1,86	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	33,23	15,00	4,05	37,28	0,50	1,73	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	35,79	15,00	4,05	39,85	0,50	1,62	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	38,36	15,00	4,05	42,42	0,50	1,52	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	40,93	15,00	4,05	44,98	0,50	1,43	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
15	7,50	160,93	43,50	15,00	4,05	47,55	0,50	1,36	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
16	8,00	170,43	46,06	15,00	4,05	50,12	0,50	1,29	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	48,63	15,00	4,05	52,69	0,50	1,22	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	51,20	15,00	4,05	55,25	0,50	1,17	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	53,77	15,00	4,05	57,82	0,50	1,12	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	56,33	15,00	4,05	60,39	0,50	1,07	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak ön yüzü eğimli ($\omega=10^\circ$) olarak tasarlanan GGD duvarında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı tahkikinin sonucunda yukarıdan itibaren ilk 13 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmış, diğer katmanların güvenlik katsayıları yetersiz çıkmıştır. Bu sonuçlara göre duvarın ön yüzü eğimli yapıldığında $\omega=0^\circ$ olarak tasarlanan duvara kıyasla kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısının arttığı ve 10'dan 13'e çıktığı görülmüştür.

Bir sonraki adımda, diğer geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmak için duvarın ön yüz eğim açısı artırılmış ve $\omega=15^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlenmiştir.

5.2.3. $\omega=15^\circ$ için çözümleme

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarının ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=10^\circ$ den 15° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=15^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.24'te verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.27'de sunulmuştur.



Şekil 5.24. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.27. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

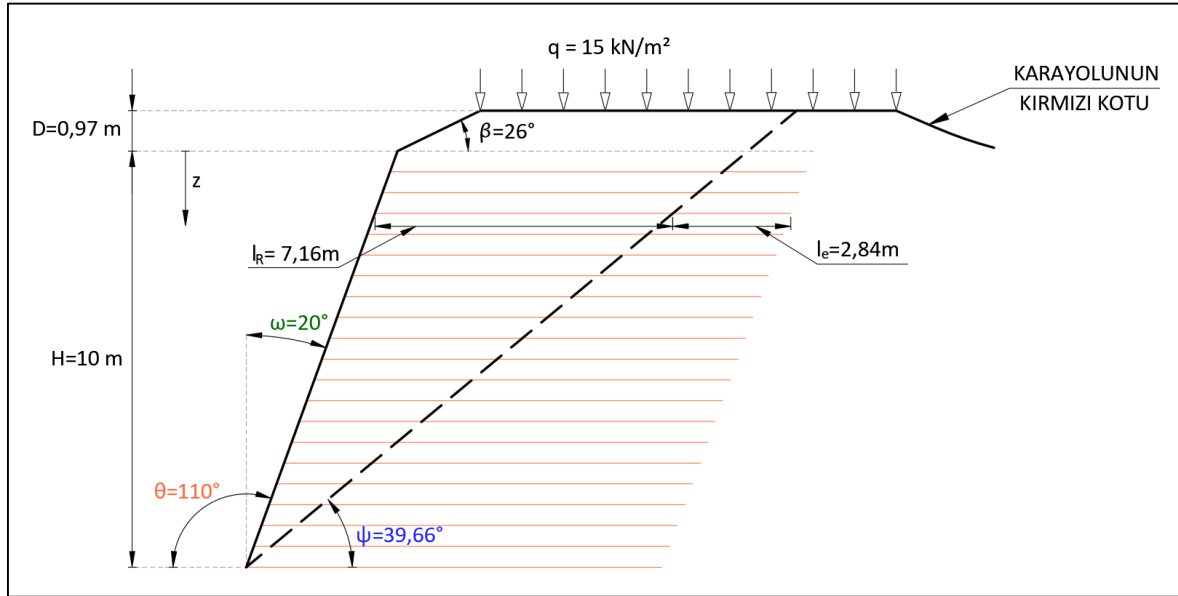
Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	6,73	15,00	3,61	10,34	0,50	6,24	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	9,02	15,00	3,61	12,63	0,50	5,11	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	11,30	15,00	3,61	14,92	0,50	4,32	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	13,59	15,00	3,61	17,21	0,50	3,75	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	15,88	15,00	3,61	19,49	0,50	3,31	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	18,17	15,00	3,61	21,78	0,50	2,96	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	20,46	15,00	3,61	24,07	0,50	2,68	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	22,75	15,00	3,61	26,36	0,50	2,45	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	25,03	15,00	3,61	28,65	0,50	2,25	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	27,32	15,00	3,61	30,94	0,50	2,09	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	29,61	15,00	3,61	33,22	0,50	1,94	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	31,90	15,00	3,61	35,51	0,50	1,82	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	34,19	15,00	3,61	37,80	0,50	1,71	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	36,48	15,00	3,61	40,09	0,50	1,61	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	38,76	15,00	3,61	42,38	0,50	1,52	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	41,05	15,00	3,61	44,67	0,50	1,44	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
17	8,50	179,93	43,34	15,00	3,61	46,95	0,50	1,37	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
18	9,00	189,43	45,63	15,00	3,61	49,24	0,50	1,31	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	47,92	15,00	3,61	51,53	0,50	1,25	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	50,21	15,00	3,61	53,82	0,50	1,20	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=15^\circ$ olarak tasarlandığında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısı daha da artmış ve yukarıdan itibaren ilk 15 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır.

Bir sonraki adımda, diğer geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmak için duvarın ön yüz eğim açısı artırılmış ve $\omega=20^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlmeleri yapılmıştır.

5.2.4. $\omega=20^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=15^\circ$ den 20° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=20^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.25'te verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.28'de sunulmuştur.



Şekil 5.25. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.28. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

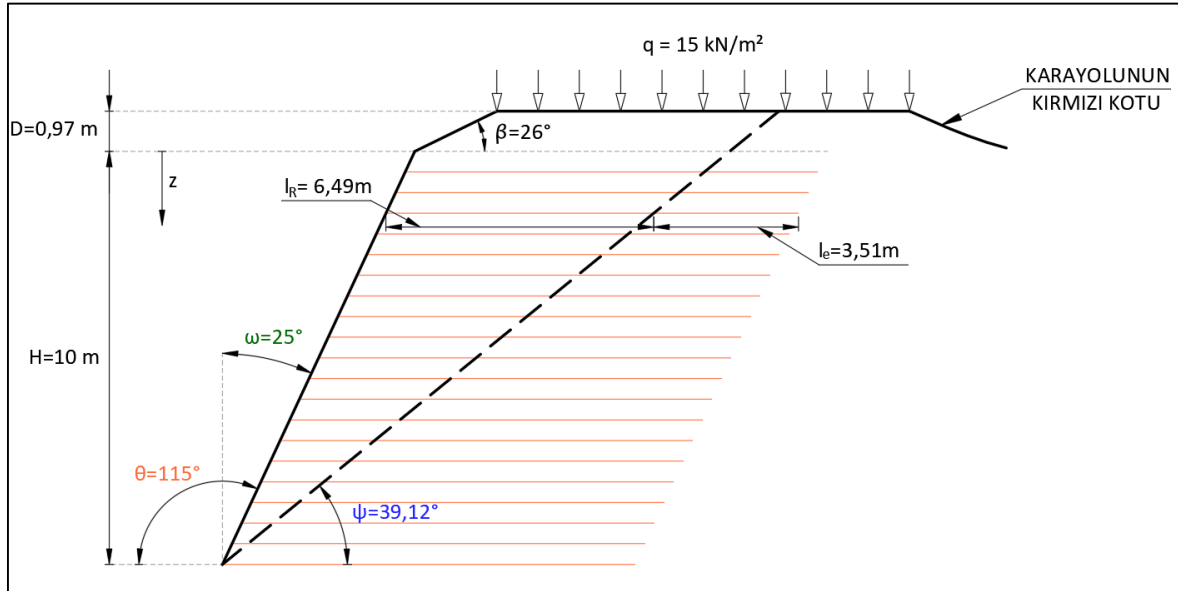
Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,92	15,00	3,18	9,11	0,50	7,08	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	7,94	15,00	3,18	11,12	0,50	5,80	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	9,96	15,00	3,18	13,14	0,50	4,91	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	11,97	15,00	3,18	15,15	0,50	4,26	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	13,99	15,00	3,18	17,17	0,50	3,76	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	16,00	15,00	3,18	19,18	0,50	3,36	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	18,02	15,00	3,18	21,20	0,50	3,04	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	20,03	15,00	3,18	23,21	0,50	2,78	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	22,05	15,00	3,18	25,23	0,50	2,56	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	24,06	15,00	3,18	27,24	0,50	2,37	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	26,08	15,00	3,18	29,26	0,50	2,20	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	28,09	15,00	3,18	31,27	0,50	2,06	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	30,11	15,00	3,18	33,29	0,50	1,94	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	32,12	15,00	3,18	35,31	0,50	1,83	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	34,14	15,00	3,18	37,32	0,50	1,73	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	36,15	15,00	3,18	39,34	0,50	1,64	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	38,17	15,00	3,18	41,35	0,50	1,56	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	40,18	15,00	3,18	43,37	0,50	1,49	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
19	9,50	198,93	42,20	15,00	3,18	45,38	0,50	1,42	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ
20	10,00	208,43	44,22	15,00	3,18	47,40	0,50	1,36	YENİDEN DEĞERLENDİRİLMELİ

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=20^\circ$ olarak tasarlandığında, kopmaya karşı güvenlik katsayısı yeterli çıkan geogrid katmanlarının sayısı daha da artmış ve yukarıdan itibaren ilk 17 katmanın güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır. Diğer katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayıları ise yetersiz çıkmıştır.

Bir sonraki adımda, diğer geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmak için duvarın ön yüz eğim açısı artırılmış ve $\omega=25^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlmeleri yapılmıştır.

5.2.5. $\omega=25^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=20^\circ$ den 25° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=25^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.26’da verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.29’da sunulmuştur.



Şekil 5.26. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 5.29. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,13	15,00	2,75	7,88	0,50	8,19	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	6,87	15,00	2,75	9,62	0,50	6,70	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	8,61	15,00	2,75	11,37	0,50	5,67	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	10,36	15,00	2,75	13,11	0,50	4,92	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	12,10	15,00	2,75	14,85	0,50	4,34	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	13,84	15,00	2,75	16,60	0,50	3,89	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	15,59	15,00	2,75	18,34	0,50	3,52	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	17,33	15,00	2,75	20,09	0,50	3,21	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	19,08	15,00	2,75	21,83	0,50	2,95	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	20,82	15,00	2,75	23,57	0,50	2,74	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	22,56	15,00	2,75	25,32	0,50	2,55	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	24,31	15,00	2,75	27,06	0,50	2,38	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	26,05	15,00	2,75	28,80	0,50	2,24	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	27,79	15,00	2,75	30,55	0,50	2,11	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	29,54	15,00	2,75	32,29	0,50	2,00	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	31,28	15,00	2,75	34,04	0,50	1,90	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	33,03	15,00	2,75	35,78	0,50	1,80	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	34,77	15,00	2,75	37,52	0,50	1,72	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	36,51	15,00	2,75	39,27	0,50	1,64	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	38,26	15,00	2,75	41,01	0,50	1,57	GÜVENLİ

Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğim açısı $\omega=40^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları incelendiğinde tüm katmanların güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştı.

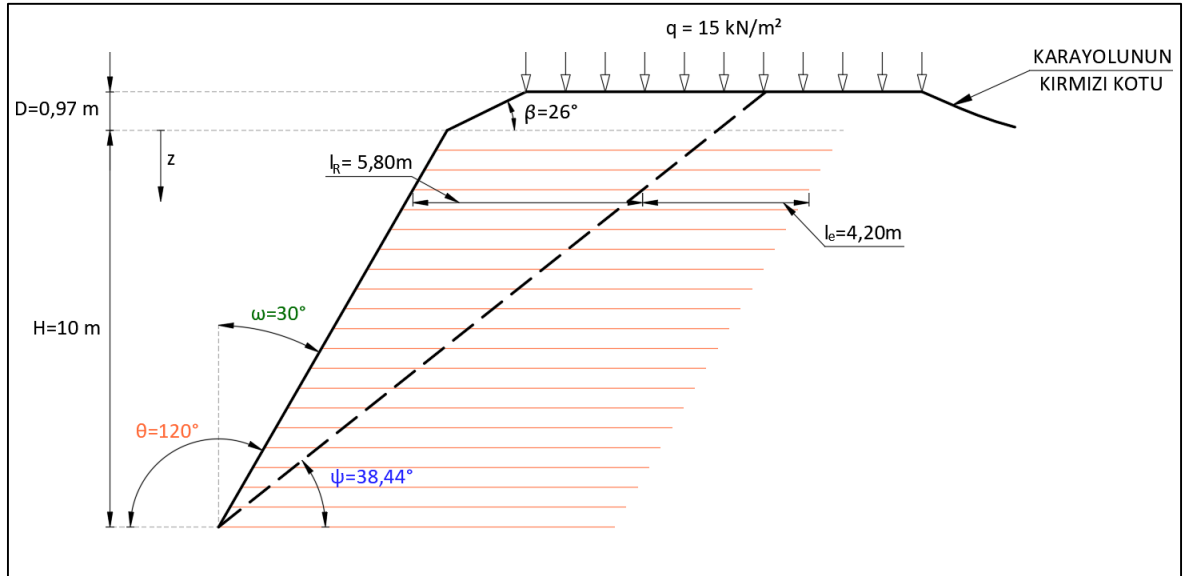
Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak gerçekleştirilen çözümlemelerde ise GGD duvarın ön yüzü eğim açısı $\omega=25^\circ$ olarak tasarlandığında tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının yeterli çıktığı belirlenmiştir.

Başka bir ifade ile Geogrid – 2 (Tensar 80RE) için $\omega=25^\circ$ olarak gerçekleştirilen çözümlemelerde kopmaya karşı güvenlik katsayılarının her katmandaki geogridler için $FS=1,5$ 'ten büyük olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla Geogrid – 2 (Tensar 80RE) için GGD duvarın iç stabilitesi Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak ön yüz eğim açısı $\omega=25^\circ$ olarak tasarlandığında sağlanmış olmaktadır.

Ön yüz eğim açısının arttırılmasının kopmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı irdelenebilmesi amacıyla GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırılarak çözümlemelere devam edilmiştir. Bu aşamadan sonra GGD duvarın ön yüzü eğim açısı sırasıyla $\omega=30^\circ$, $\omega=35^\circ$, $\omega=40^\circ$ ve $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

5.2.6. $\omega=30^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=25^\circ$ den 30° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=30^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.27'de verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.30'da sunulmuştur.



Şekil 5.27. $H=10\text{ m}$, $S_v=0,5\text{ m}$, $\omega=30^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.30. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkiki sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S _v		Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
							(m)			
1	0,50	27,93	4,32	15,00	2,32	6,64	0,50		9,71	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	5,79	15,00	2,32	8,11	0,50		7,95	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	7,26	15,00	2,32	9,58	0,50		6,73	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	8,73	15,00	2,32	11,05	0,50		5,84	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	10,20	15,00	2,32	12,52	0,50		5,15	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	11,67	15,00	2,32	13,99	0,50		4,61	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	13,14	15,00	2,32	15,46	0,50		4,17	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	14,61	15,00	2,32	16,93	0,50		3,81	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	16,08	15,00	2,32	18,40	0,50		3,51	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	17,55	15,00	2,32	19,87	0,50		3,25	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	19,02	15,00	2,32	21,34	0,50		3,02	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	20,49	15,00	2,32	22,81	0,50		2,83	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	21,96	15,00	2,32	24,28	0,50		2,66	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	23,43	15,00	2,32	25,75	0,50		2,51	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	24,90	15,00	2,32	27,22	0,50		2,37	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	26,37	15,00	2,32	28,69	0,50		2,25	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	27,84	15,00	2,32	30,16	0,50		2,14	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	29,30	15,00	2,32	31,63	0,50		2,04	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	30,77	15,00	2,32	33,10	0,50		1,95	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	32,24	15,00	2,32	34,56	0,50		1,87	GÜVENLİ

Çizelge 5.31. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	3,50	15,00	1,88	5,38	0,50	11,99	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	4,69	15,00	1,88	6,57	0,50	9,82	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	5,88	15,00	1,88	7,76	0,50	8,31	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	7,07	15,00	1,88	8,95	0,50	7,21	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	8,26	15,00	1,88	10,14	0,50	6,36	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	9,45	15,00	1,88	11,33	0,50	5,69	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	10,64	15,00	1,88	12,52	0,50	5,15	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	11,83	15,00	1,88	13,71	0,50	4,70	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	13,02	15,00	1,88	14,90	0,50	4,33	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	14,21	15,00	1,88	16,09	0,50	4,01	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	15,40	15,00	1,88	17,28	0,50	3,73	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	16,59	15,00	1,88	18,47	0,50	3,49	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	17,78	15,00	1,88	19,66	0,50	3,28	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	18,97	15,00	1,88	20,85	0,50	3,09	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	20,16	15,00	1,88	22,04	0,50	2,93	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	21,35	15,00	1,88	23,23	0,50	2,78	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	22,54	15,00	1,88	24,42	0,50	2,64	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	23,74	15,00	1,88	25,61	0,50	2,52	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	24,93	15,00	1,88	26,80	0,50	2,41	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	26,12	15,00	1,88	28,00	0,50	2,30	GÜVENLİ

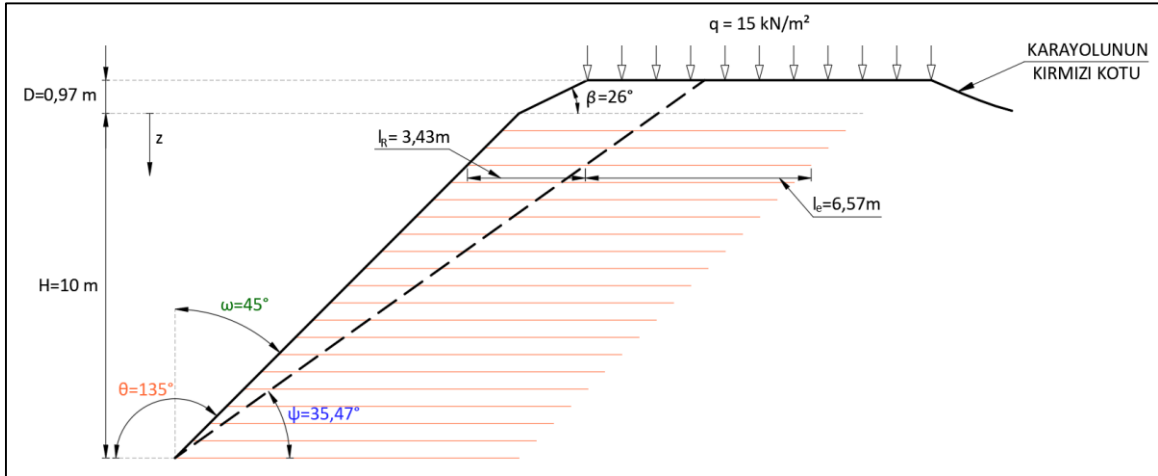
Çizelge 5.32. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	2,66	15,00	1,43	4,09	0,50	15,77	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	3,57	15,00	1,43	4,99	0,50	12,91	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	4,47	15,00	1,43	5,90	0,50	10,93	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	5,38	15,00	1,43	6,81	0,50	9,48	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	6,28	15,00	1,43	7,71	0,50	8,37	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	7,19	15,00	1,43	8,62	0,50	7,49	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	8,09	15,00	1,43	9,52	0,50	6,78	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	9,00	15,00	1,43	10,43	0,50	6,19	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	9,90	15,00	1,43	11,33	0,50	5,69	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	10,81	15,00	1,43	12,24	0,50	5,27	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	11,71	15,00	1,43	13,14	0,50	4,91	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	12,62	15,00	1,43	14,05	0,50	4,59	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	13,52	15,00	1,43	14,95	0,50	4,31	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	14,43	15,00	1,43	15,86	0,50	4,07	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	15,33	15,00	1,43	16,76	0,50	3,85	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	16,24	15,00	1,43	17,67	0,50	3,65	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	17,14	15,00	1,43	18,57	0,50	3,47	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	18,05	15,00	1,43	19,48	0,50	3,31	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	18,95	15,00	1,43	20,38	0,50	3,16	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	19,86	15,00	1,43	21,29	0,50	3,03	GÜVENLİ

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=40^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının $\omega=35^\circ$ ye kıyasla arttığı belirlenmiştir. Tüm katmanlardaki güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır.

5.2.9. $\omega=45^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=40^\circ$ den 45° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=45^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.30’da verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.33’te sunulmuştur.



Şekil 5.30. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.33. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 2 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)		Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	1,82	15,00	0,98	2,79	0,50		23,11	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	2,43	15,00	0,98	3,41	0,50		18,92	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	3,05	15,00	0,98	4,03	0,50		16,02	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	3,67	15,00	0,98	4,64	0,50		13,89	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	4,29	15,00	0,98	5,26	0,50		12,26	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	4,90	15,00	0,98	5,88	0,50		10,97	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	5,52	15,00	0,98	6,50	0,50		9,93	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	6,14	15,00	0,98	7,11	0,50		9,07	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	6,76	15,00	0,98	7,73	0,50		8,34	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	7,37	15,00	0,98	8,35	0,50		7,73	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	7,99	15,00	0,98	8,97	0,50		7,19	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	8,61	15,00	0,98	9,59	0,50		6,73	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	9,23	15,00	0,98	10,20	0,50		6,32	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	9,85	15,00	0,98	10,82	0,50		5,96	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	10,46	15,00	0,98	11,44	0,50		5,64	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	11,08	15,00	0,98	12,06	0,50		5,35	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	11,70	15,00	0,98	12,67	0,50		5,09	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	12,32	15,00	0,98	13,29	0,50		4,85	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	12,93	15,00	0,98	13,91	0,50		4,64	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	13,55	15,00	0,98	14,53	0,50		4,44	GÜVENLİ

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=45^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının $\omega=40^\circ$ ye kıyasla arttığı belirlenmiştir. Tüm katmanlardaki güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır.

5.2.10. Geogrid – 2 için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi

GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den başlayarak 45° ye kadar gerçekleştirilen bütün çözümlemelerden elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayıları toplu halde Çizelge 5.34'te sunulmuştur. Bu çizelgede güvenlik katsayısı 1,5'ten büyük olan (yeterli olan) geogrid katmanları koyu yazı karakteriyle ve yeşil zemin renginde gösterilmiştir.

Çizelge 5.34 incelendiğinde, GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında duvarın üst kısımlarından itibaren alt kısımlarına doğru geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarının arttığı görülmektedir. En nihayetinde duvarın ön yüz eğim açısı 25° ye ulaştığında bütün geogrid katmanlarında kopmaya karşı güvenlik katsayılarının 1.5'ten büyük olduğu ve duvarın iç duraylılığının sağlandığı görülmüştür. Böylece daha yüksek kopma dayanımına sahip bir geogrid kullanmadan sadece duvarın ön yüz eğim açısını arttırarak duvarın iç duraylılığının sağlanabileceği gösterilmiştir.

Çizelge 5.34. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 2 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{\text{kopma}}$ arasındaki ilişki

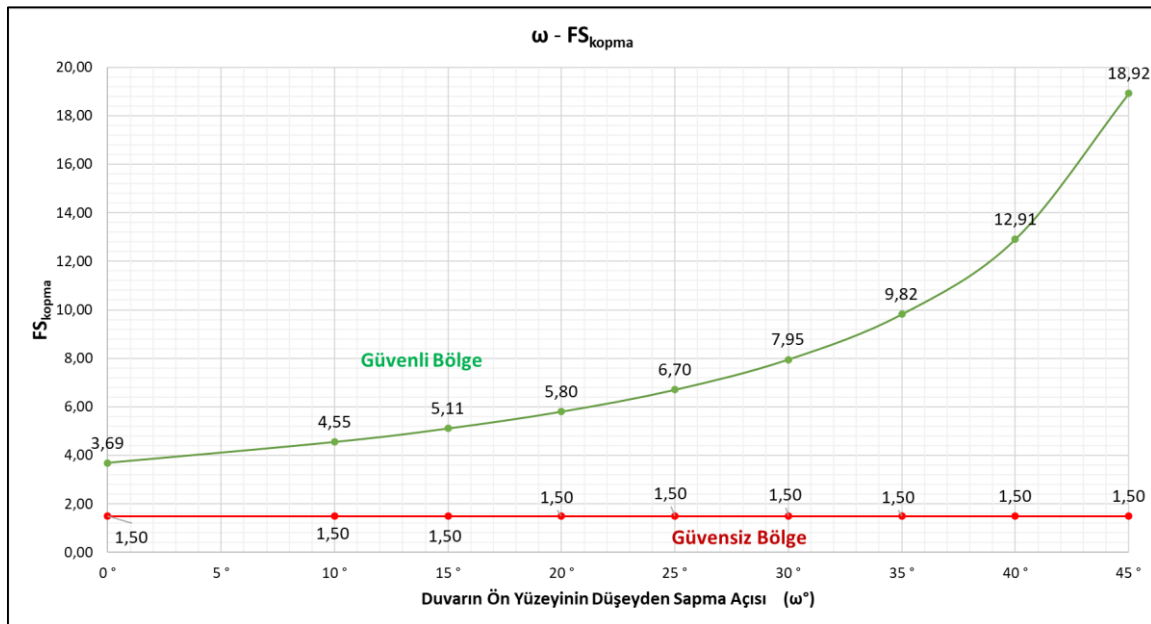
Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,50	4,51	5,56	6,24	7,08	8,19	9,71	11,99	15,77	23,11	
2	1,00	3,69	4,55	5,11	5,80	6,70	7,95	9,82	12,91	18,92	
3	1,50	3,12	3,85	4,32	4,91	5,67	6,73	8,31	10,93	16,02	
4	2,00	2,71	3,34	3,75	4,26	4,92	5,84	7,21	9,48	13,89	
5	2,50	2,39	2,95	3,31	3,76	4,34	5,15	6,36	8,37	12,26	
6	3,00	2,14	2,64	2,96	3,36	3,89	4,61	5,69	7,49	10,97	
7	3,50	1,94	2,39	2,68	3,04	3,52	4,17	5,15	6,78	9,93	
8	4,00	1,77	2,18	2,45	2,78	3,21	3,81	4,70	6,19	9,07	
9	4,50	1,63	2,01	2,25	2,56	2,95	3,51	4,33	5,69	8,34	
10	5,00	1,51	1,86	2,09	2,37	2,74	3,25	4,01	5,27	7,73	
11	5,50	1,40	1,73	1,94	2,20	2,55	3,02	3,73	4,91	7,19	
12	6,00	1,31	1,62	1,82	2,06	2,38	2,83	3,49	4,59	6,73	
13	6,50	1,23	1,52	1,71	1,94	2,24	2,66	3,28	4,31	6,32	
14	7,00	1,16	1,43	1,61	1,83	2,11	2,51	3,09	4,07	5,96	
15	7,50	1,10	1,36	1,52	1,73	2,00	2,37	2,93	3,85	5,64	
16	8,00	1,04	1,29	1,44	1,64	1,90	2,25	2,78	3,65	5,35	
17	8,50	0,99	1,22	1,37	1,56	1,80	2,14	2,64	3,47	5,09	
18	9,00	0,95	1,17	1,31	1,49	1,72	2,04	2,52	3,31	4,85	
19	9,50	0,90	1,12	1,25	1,42	1,64	1,95	2,41	3,16	4,64	
20	10,00	0,87	1,07	1,20	1,36	1,57	1,87	2,30	3,03	4,44	

Duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında kopmaya karşı güvenlik katsayılarının ne oranda arttığını görebilmek amacıyla duvarın üst yüzeyinden itibaren belli geogrid katmanları

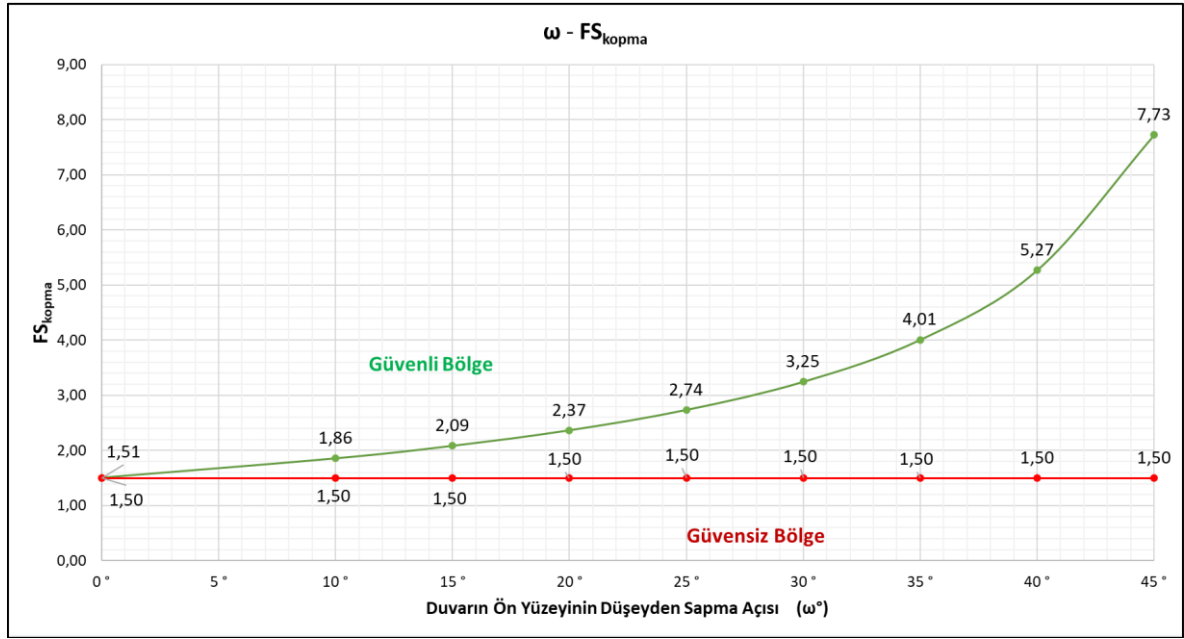
seçilerek $\omega - FS_{\text{kopma}}$ ilişkisini gösteren grafikler çizilmiştir. Kopmaya karşı güvenlik katsayısı derinlikle birlikte her katman için değişmekte olup tüm geogrid katmanları için bu grafiklerin çizilmesi fazla yer kaplayacağından sadece duvarın üst, orta ve alt kesimlerinden seçilen katmanlar için bu grafikler çizilmiştir. Bu amaçla, $z=1,0$ m, $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m derinlikte bulunan katmanlar seçilmiştir. Seçilen bu katmanlar için elde edilen $\omega - FS_{\text{kopma}}$ değerleri Çizelge 5.35'te, bu değerler kullanılarak çizilen grafikler ise Şekil 5.31, 5.32 ve 5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5.35. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 2 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{\text{kopma}}$ değerleri

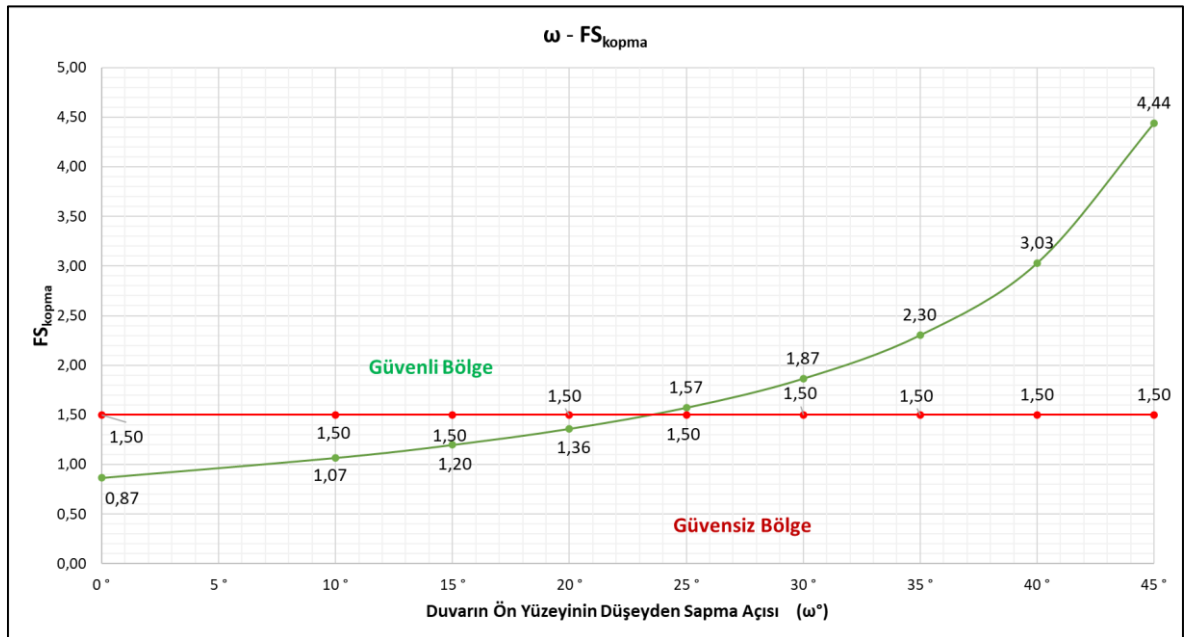
ω°	FS_{kopma}		
	$z=1,0\text{m}$	$z=5,0\text{m}$	$z=10,0\text{m}$
0°	3,69	1,51	0,87
10°	4,55	1,86	1,07
15°	5,11	2,09	1,20
20°	5,80	2,37	1,36
25°	6,70	2,74	1,57
30°	7,95	3,25	1,87
35°	9,82	4,01	2,30
40°	12,91	5,27	3,03
45°	18,92	7,73	4,44



Şekil 5.31. Geogrid – 2 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği



Şekil 5.32. Geogrid – 2 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği



Şekil 5.33. Geogrid – 2 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği

Geogrid – 2 (Tensar 80RE) için çizilen $\omega - FS_{kopma}$ grafikleri incelendiğinde duvar ön yüz eğim açısının artması ile birlikte kopmaya karşı güvenlik katsayılarının da arttığı görülmektedir. Her üç grafikte de ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den $\omega=35^\circ$ ye kadar olan çözümlemelerde kopmaya karşı güvenlik katsayıları arasında fazla bir artış olmadığı, ön yüz eğim açısı $\omega=35^\circ$ ve üzerine çıktığı durumlarda ise kopmaya karşı güvenlik

katsayılarının daha hızlı arttığı belirlenmiştir.

Bu tespit neticesinde, GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki (ω) artış oranıyla kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki (FS_{kopma}) artış oranı arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla seçilen geogrid katmanları için GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki (ω) artış oranıyla kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki (FS_{kopma}) artış oranları hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalarda, GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artışın, $\omega=0^\circ$ için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayısına kıyasla ne kadar artış gösterdiği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ait bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

$Z = 1$ m ve $\omega=10^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{4,55 - 3,69}{3,69} \times 100 = \%23,31$$

$Z = 1$ m ve $\omega=30^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{7,95 - 3,69}{3,69} \times 100 = \%115,45$$

$Z = 5$ m ve $\omega=10^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{1,86 - 1,51}{1,51} \times 100 = \%23,18$$

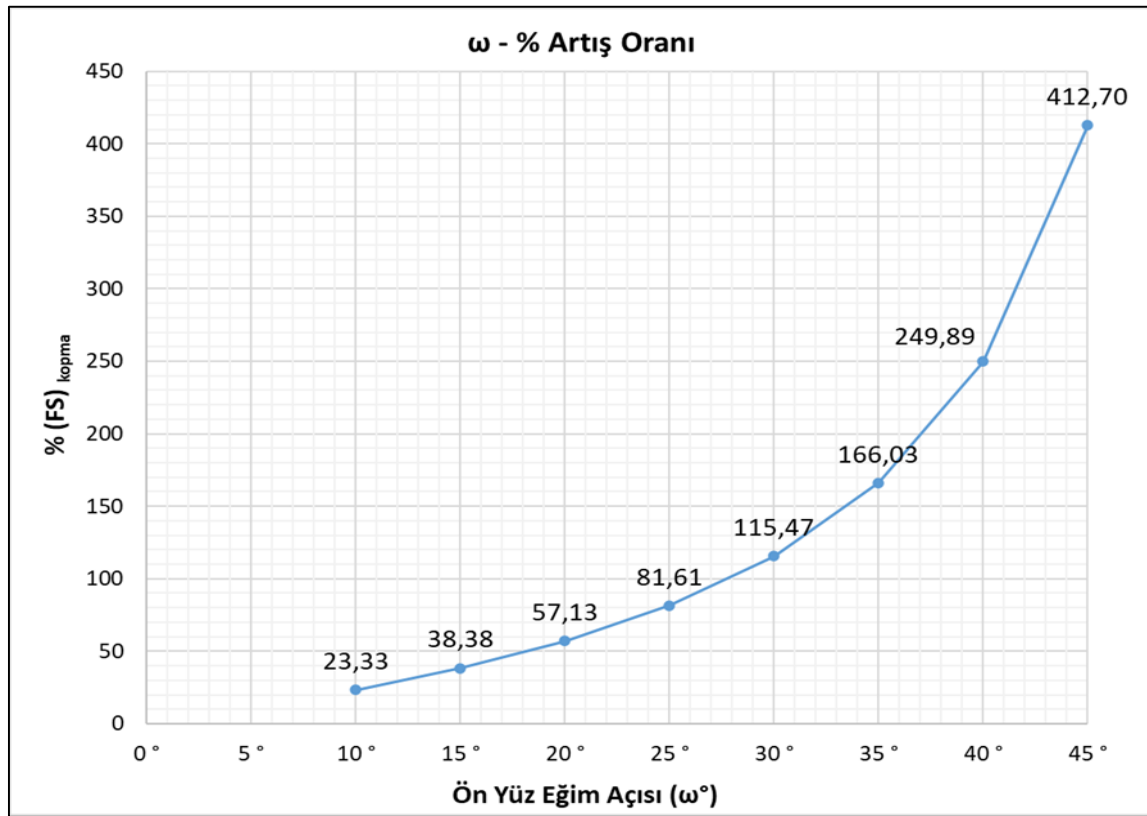
$Z = 5$ m ve $\omega=30^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{3,25 - 1,51}{1,51} \times 100 = \%115,23$$

Bu şekilde yapılan tüm hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.36’da bu sonuçlar kullanılarak çizilen grafikler ise Şekil 5.34’te verilmiştir.

Çizelge 5.36. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 2 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=1,0m$		$z=5,0m$		$z=10,0m$	
	FS_{kopma}	$\%FS_{kopma}$	FS_{kopma}	$\%FS_{kopma}$	FS_{kopma}	$\%FS_{kopma}$
0°	3,69	-	1,51	-	0,87	-
10°	4,55	23,33	1,86	23,33	1,07	23,33
15°	5,11	38,38	2,09	38,38	1,20	38,38
20°	5,80	57,13	2,37	57,13	1,36	57,13
25°	6,70	81,61	2,74	81,61	1,57	81,61
30°	7,95	115,47	3,25	115,47	1,87	115,47
35°	9,82	166,03	4,01	166,03	2,30	166,03
40°	12,91	249,89	5,27	249,89	3,03	249,89
45°	18,92	412,70	7,73	412,70	4,44	412,70



Şekil 5.34. Geogrid – 2 için $z=1,0$ m; $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği

Çizelge 5.36 ve Şekil 5.34'te sunulan sonuçlar incelendiğinde Geogrid – 2 için yapılan hesaplar neticesinde GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki artışa karşılık kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranlarının Geogrid – 1 için elde edilen artış oranlarıyla tamamen aynı olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.37. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=0^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

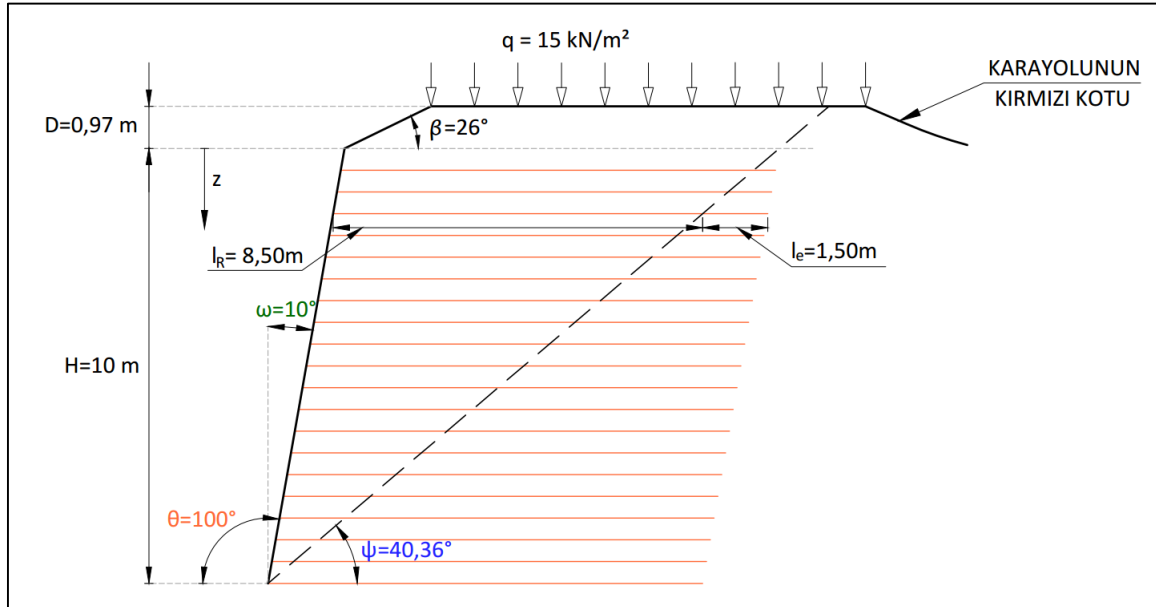
Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS_{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	9,31	15,00	5,00	14,31	0,50	8,64	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	12,48	15,00	5,00	17,48	0,50	7,07	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	15,64	15,00	5,00	20,64	0,50	5,99	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	18,81	15,00	5,00	23,81	0,50	5,19	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	21,98	15,00	5,00	26,98	0,50	4,58	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	25,14	15,00	5,00	30,14	0,50	4,10	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	28,31	15,00	5,00	33,31	0,50	3,71	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	31,48	15,00	5,00	36,48	0,50	3,39	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	34,64	15,00	5,00	39,64	0,50	3,12	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	37,81	15,00	5,00	42,81	0,50	2,89	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	40,98	15,00	5,00	45,98	0,50	2,69	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	44,14	15,00	5,00	49,14	0,50	2,51	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	47,31	15,00	5,00	52,31	0,50	2,36	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	50,48	15,00	5,00	55,48	0,50	2,23	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	53,64	15,00	5,00	58,64	0,50	2,11	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	56,81	15,00	5,00	61,81	0,50	2,00	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	59,98	15,00	5,00	64,98	0,50	1,90	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	63,14	15,00	5,00	68,14	0,50	1,81	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	66,31	15,00	5,00	71,31	0,50	1,73	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	69,48	15,00	5,00	74,48	0,50	1,66	GÜVENLİ

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=0^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının yeterli çıktığı tespit edilmiştir.

Ön yüz eğim açısının arttırılmasının kopmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisinin daha ayrıntılı irdelenebilmesi maksadıyla çözümlemelere ön yüz eğim açısı arttırılarak devam edilmiştir. Bu aşamadan sonra GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanmış ve elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur.

5.3.2. $\omega=10^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den 10° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=10^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.36’da verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.38’de sunulmuştur.



Şekil 5.36. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 5.38. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=10^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları

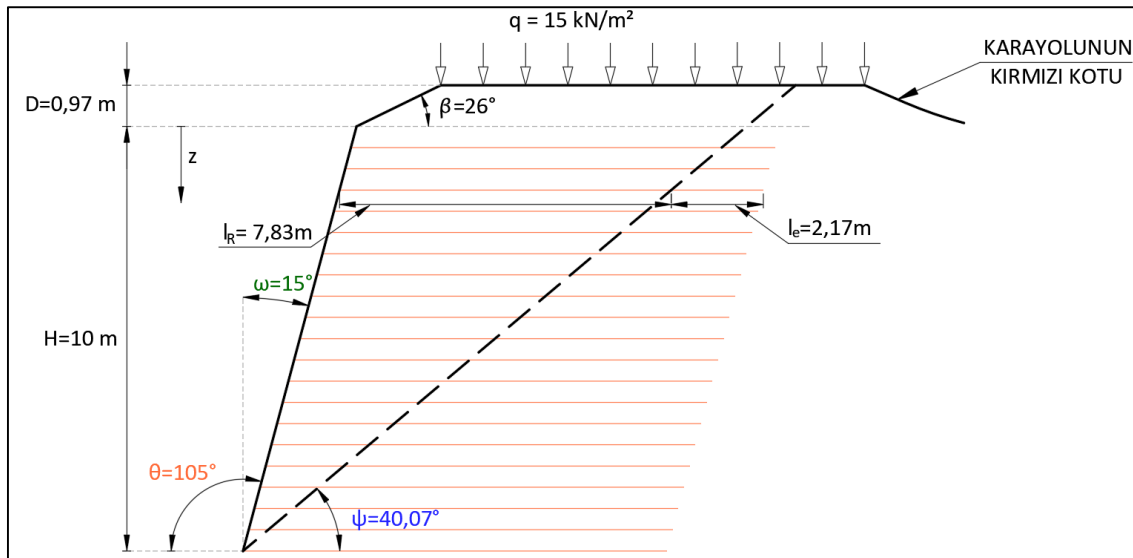
Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki ($F_{S_{kopma}}$)	SONUÇ
1	0,50	27,93	7,55	15,00	4,05	11,60	0,50	10,65	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	10,12	15,00	4,05	14,17	0,50	8,72	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	12,68	15,00	4,05	16,74	0,50	7,38	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	15,25	15,00	4,05	19,31	0,50	6,40	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	17,82	15,00	4,05	21,87	0,50	5,65	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	20,39	15,00	4,05	24,44	0,50	5,06	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	22,95	15,00	4,05	27,01	0,50	4,58	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	25,52	15,00	4,05	29,58	0,50	4,18	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	28,09	15,00	4,05	32,14	0,50	3,84	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	30,66	15,00	4,05	34,71	0,50	3,56	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	33,23	15,00	4,05	37,28	0,50	3,31	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	35,79	15,00	4,05	39,85	0,50	3,10	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	38,36	15,00	4,05	42,42	0,50	2,91	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	40,93	15,00	4,05	44,98	0,50	2,75	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	43,50	15,00	4,05	47,55	0,50	2,60	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	46,06	15,00	4,05	50,12	0,50	2,47	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	48,63	15,00	4,05	52,69	0,50	2,35	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	51,20	15,00	4,05	55,25	0,50	2,24	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	53,77	15,00	4,05	57,82	0,50	2,14	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	56,33	15,00	4,05	60,39	0,50	2,05	GÜVENLİ

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak ön yüzü eğimli ($\omega=10^\circ$) olarak tasarlanan GGD duvarda, kopmaya karşı güvenlik katsayısı tahkikinin sonucunda tüm katmanların güvenlik katsayısı yeterli çıkmıştır.

Bir sonraki adımda, diğer geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayısını arttırmak için duvarın ön yüz eğim açısı artırılmış ve $\omega=15^\circ$ için güvenlik katsayısı çözümlenmiştir.

5.3.3. $\omega=15^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı $\omega=10^\circ$ den 15° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=15^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.37’de verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.39’da sunulmuştur.



Şekil 5.37. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 5.39. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=15^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S _v (m)		Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	6,73	15,00	3,61	10,34	0,50	0,50	11,95	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	9,02	15,00	3,61	12,63	0,50	0,50	9,78	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	11,30	15,00	3,61	14,92	0,50	0,50	8,28	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	13,59	15,00	3,61	17,21	0,50	0,50	7,18	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	15,88	15,00	3,61	19,49	0,50	0,50	6,34	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	18,17	15,00	3,61	21,78	0,50	0,50	5,67	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	20,46	15,00	3,61	24,07	0,50	0,50	5,13	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	22,75	15,00	3,61	26,36	0,50	0,50	4,69	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	25,03	15,00	3,61	28,65	0,50	0,50	4,31	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	27,32	15,00	3,61	30,94	0,50	0,50	3,99	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	29,61	15,00	3,61	33,22	0,50	0,50	3,72	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	31,90	15,00	3,61	35,51	0,50	0,50	3,48	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	34,19	15,00	3,61	37,80	0,50	0,50	3,27	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	36,48	15,00	3,61	40,09	0,50	0,50	3,08	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	38,76	15,00	3,61	42,38	0,50	0,50	2,92	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	41,05	15,00	3,61	44,67	0,50	0,50	2,77	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	43,34	15,00	3,61	46,95	0,50	0,50	2,63	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	45,63	15,00	3,61	49,24	0,50	0,50	2,51	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	47,92	15,00	3,61	51,53	0,50	0,50	2,40	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	50,21	15,00	3,61	53,82	0,50	0,50	2,30	GÜVENLİ

Çizelge 5.40. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=20^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinın sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)		Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,92	15,00	3,18	9,11	0,50	0,50	13,57	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	7,94	15,00	3,18	11,12	0,50	0,50	11,11	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	9,96	15,00	3,18	13,14	0,50	0,50	9,41	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	11,97	15,00	3,18	15,15	0,50	0,50	8,16	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	13,99	15,00	3,18	17,17	0,50	0,50	7,20	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	16,00	15,00	3,18	19,18	0,50	0,50	6,44	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	18,02	15,00	3,18	21,20	0,50	0,50	5,83	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	20,03	15,00	3,18	23,21	0,50	0,50	5,32	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	22,05	15,00	3,18	25,23	0,50	0,50	4,90	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	24,06	15,00	3,18	27,24	0,50	0,50	4,54	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	26,08	15,00	3,18	29,26	0,50	0,50	4,22	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	28,09	15,00	3,18	31,27	0,50	0,50	3,95	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	30,11	15,00	3,18	33,29	0,50	0,50	3,71	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	32,12	15,00	3,18	35,31	0,50	0,50	3,50	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	34,14	15,00	3,18	37,32	0,50	0,50	3,31	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	36,15	15,00	3,18	39,34	0,50	0,50	3,14	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	38,17	15,00	3,18	41,35	0,50	0,50	2,99	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	40,18	15,00	3,18	43,37	0,50	0,50	2,85	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	42,20	15,00	3,18	45,38	0,50	0,50	2,72	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	44,22	15,00	3,18	47,40	0,50	0,50	2,61	GÜVENLİ

Çizelge 5.41. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=25^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	5,13	15,00	2,75	7,88	0,50	15,68	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	6,87	15,00	2,75	9,62	0,50	12,84	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	8,61	15,00	2,75	11,37	0,50	10,87	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	10,36	15,00	2,75	13,11	0,50	9,43	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	12,10	15,00	2,75	14,85	0,50	8,32	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	13,84	15,00	2,75	16,60	0,50	7,44	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	15,59	15,00	2,75	18,34	0,50	6,74	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	17,33	15,00	2,75	20,09	0,50	6,15	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	19,08	15,00	2,75	21,83	0,50	5,66	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	20,82	15,00	2,75	23,57	0,50	5,24	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	22,56	15,00	2,75	25,32	0,50	4,88	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	24,31	15,00	2,75	27,06	0,50	4,57	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	26,05	15,00	2,75	28,80	0,50	4,29	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	27,79	15,00	2,75	30,55	0,50	4,05	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	29,54	15,00	2,75	32,29	0,50	3,83	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	31,28	15,00	2,75	34,04	0,50	3,63	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	33,03	15,00	2,75	35,78	0,50	3,45	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	34,77	15,00	2,75	37,52	0,50	3,29	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	36,51	15,00	2,75	39,27	0,50	3,15	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	38,26	15,00	2,75	41,01	0,50	3,01	GÜVENLİ

Çizelge 5.42. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=30^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)		Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	4,32	15,00	2,32	6,64	0,50		18,61	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	5,79	15,00	2,32	8,11	0,50		15,24	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	7,26	15,00	2,32	9,58	0,50		12,90	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	8,73	15,00	2,32	11,05	0,50		11,18	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	10,20	15,00	2,32	12,52	0,50		9,87	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	11,67	15,00	2,32	13,99	0,50		8,83	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	13,14	15,00	2,32	15,46	0,50		7,99	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	14,61	15,00	2,32	16,93	0,50		7,30	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	16,08	15,00	2,32	18,40	0,50		6,72	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	17,55	15,00	2,32	19,87	0,50		6,22	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	19,02	15,00	2,32	21,34	0,50		5,79	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	20,49	15,00	2,32	22,81	0,50		5,42	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	21,96	15,00	2,32	24,28	0,50		5,09	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	23,43	15,00	2,32	25,75	0,50		4,80	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	24,90	15,00	2,32	27,22	0,50		4,54	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	26,37	15,00	2,32	28,69	0,50		4,31	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	27,84	15,00	2,32	30,16	0,50		4,10	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	29,30	15,00	2,32	31,63	0,50		3,91	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	30,77	15,00	2,32	33,10	0,50		3,73	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	32,24	15,00	2,32	34,56	0,50		3,58	GÜVENLİ

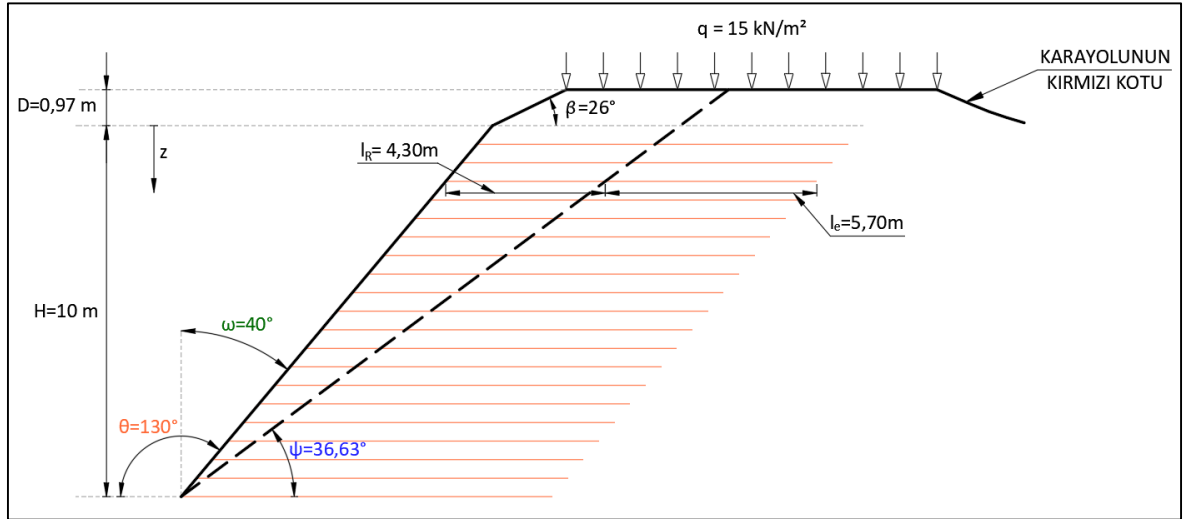
Çizelge 5.43. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=35^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	3,50	15,00	1,88	5,38	0,50	22,97	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	4,69	15,00	1,88	6,57	0,50	18,81	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	5,88	15,00	1,88	7,76	0,50	15,92	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	7,07	15,00	1,88	8,95	0,50	13,81	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	8,26	15,00	1,88	10,14	0,50	12,19	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	9,45	15,00	1,88	11,33	0,50	10,91	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	10,64	15,00	1,88	12,52	0,50	9,87	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	11,83	15,00	1,88	13,71	0,50	9,01	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	13,02	15,00	1,88	14,90	0,50	8,29	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	14,21	15,00	1,88	16,09	0,50	7,68	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	15,40	15,00	1,88	17,28	0,50	7,15	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	16,59	15,00	1,88	18,47	0,50	6,69	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	17,78	15,00	1,88	19,66	0,50	6,28	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	18,97	15,00	1,88	20,85	0,50	5,93	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	20,16	15,00	1,88	22,04	0,50	5,61	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	21,35	15,00	1,88	23,23	0,50	5,32	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	22,54	15,00	1,88	24,42	0,50	5,06	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	23,74	15,00	1,88	25,61	0,50	4,82	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	24,93	15,00	1,88	26,80	0,50	4,61	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	26,12	15,00	1,88	28,00	0,50	4,41	GÜVENLİ

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=35^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının $\omega=30^\circ$ ye kıyasla arttığı belirlenmiştir. Tüm katmanlardaki güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır.

5.3.8. $\omega=40^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı $\omega=35^\circ$ den 40° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=40^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.42’de verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.44’te sunulmuştur.



Şekil 5.42. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

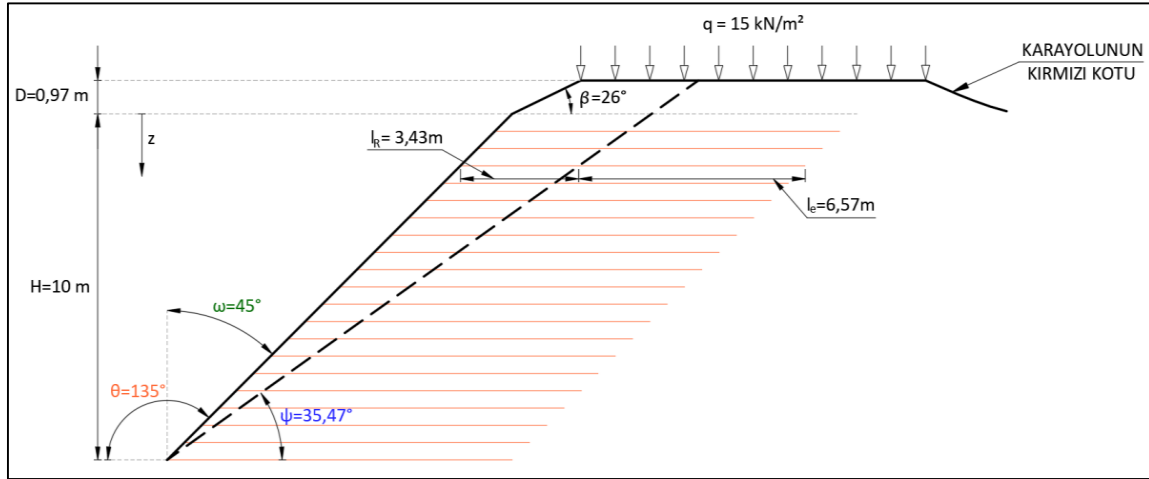
Çizelge 5.44. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=40^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	2,66	15,00	1,43	4,09	0,50	30,21	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	3,57	15,00	1,43	4,99	0,50	24,74	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	4,47	15,00	1,43	5,90	0,50	20,94	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	5,38	15,00	1,43	6,81	0,50	18,16	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	6,28	15,00	1,43	7,71	0,50	16,03	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	7,19	15,00	1,43	8,62	0,50	14,34	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	8,09	15,00	1,43	9,52	0,50	12,98	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	9,00	15,00	1,43	10,43	0,50	11,85	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	9,90	15,00	1,43	11,33	0,50	10,91	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	10,81	15,00	1,43	12,24	0,50	10,10	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	11,71	15,00	1,43	13,14	0,50	9,40	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	12,62	15,00	1,43	14,05	0,50	8,80	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	13,52	15,00	1,43	14,95	0,50	8,27	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	14,43	15,00	1,43	15,86	0,50	7,79	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	15,33	15,00	1,43	16,76	0,50	7,37	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	16,24	15,00	1,43	17,67	0,50	6,99	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	17,14	15,00	1,43	18,57	0,50	6,65	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	18,05	15,00	1,43	19,48	0,50	6,34	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	18,95	15,00	1,43	20,38	0,50	6,06	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	19,86	15,00	1,43	21,29	0,50	5,81	GÜVENLİ

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=40^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının $\omega=35^\circ$ ye kıyasla arttığı belirlenmiştir. Tüm katmanlardaki güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır.

5.3.9. $\omega=45^\circ$ İçin çözümleme

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=40^\circ$ den 45° ye çıkartılarak kopmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. $\omega=45^\circ$ için tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi, açılar gerçek değerlerine uygun olacak şekilde çizilerek Şekil 5.43'te verilmiştir. Bu hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.45'te sunulmuştur.



Şekil 5.43. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Elde edilen sonuçlar şu şekildedir:

Çizelge 5.45. $H=10$ m, $S_v=0,5$ m, $\omega=45^\circ$ ve Geogrid – 3 kullanılarak tasarlanan GGD duvarı için kopma tahkikinin sonuçları

Katman No	Derinlik (z) (m)	σ_v (DOLGU) (kN/m ²)	σ_H (DOLGU) (kN/m ²)	q (Sürüşarj) (kN/m ²)	σ_H (q) (kN/m ²)	σ_H (TOPLAM)	S_v (m)	Güvenlik Tahkiki (FS _{Kopma})	SONUÇ
1	0,50	27,93	1,82	15,00	0,98	2,79	0,50	44,27	GÜVENLİ
2	1,00	37,43	2,43	15,00	0,98	3,41	0,50	36,25	GÜVENLİ
3	1,50	46,93	3,05	15,00	0,98	4,03	0,50	30,69	GÜVENLİ
4	2,00	56,43	3,67	15,00	0,98	4,64	0,50	26,61	GÜVENLİ
5	2,50	65,93	4,29	15,00	0,98	5,26	0,50	23,49	GÜVENLİ
6	3,00	75,43	4,90	15,00	0,98	5,88	0,50	21,02	GÜVENLİ
7	3,50	84,93	5,52	15,00	0,98	6,50	0,50	19,02	GÜVENLİ
8	4,00	94,43	6,14	15,00	0,98	7,11	0,50	17,37	GÜVENLİ
9	4,50	103,93	6,76	15,00	0,98	7,73	0,50	15,98	GÜVENLİ
10	5,00	113,43	7,37	15,00	0,98	8,35	0,50	14,80	GÜVENLİ
11	5,50	122,93	7,99	15,00	0,98	8,97	0,50	13,78	GÜVENLİ
12	6,00	132,43	8,61	15,00	0,98	9,59	0,50	12,89	GÜVENLİ
13	6,50	141,93	9,23	15,00	0,98	10,20	0,50	12,11	GÜVENLİ
14	7,00	151,43	9,85	15,00	0,98	10,82	0,50	11,42	GÜVENLİ
15	7,50	160,93	10,46	15,00	0,98	11,44	0,50	10,80	GÜVENLİ
16	8,00	170,43	11,08	15,00	0,98	12,06	0,50	10,25	GÜVENLİ
17	8,50	179,93	11,70	15,00	0,98	12,67	0,50	9,75	GÜVENLİ
18	9,00	189,43	12,32	15,00	0,98	13,29	0,50	9,30	GÜVENLİ
19	9,50	198,93	12,93	15,00	0,98	13,91	0,50	8,88	GÜVENLİ
20	10,00	208,43	13,55	15,00	0,98	14,53	0,50	8,51	GÜVENLİ

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) kullanılarak GGD duvarın ön yüzü eğimi $\omega=45^\circ$ olarak tasarlandığında, tüm katmanların kopmaya karşı güvenlik katsayılarının $\omega=40^\circ$ ye kıyasla arttığı belirlenmiştir. Tüm katmanlardaki güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır.

5.3.10. Geogrid – 3 için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayılarının değerlendirilmesi

GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı $\omega=0^\circ$ den başlayarak 45° ye kadar gerçekleştirilen bütün çözümlemelerden elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayıları toplu halde Çizelge 5.46’da sunulmuştur. Bu çizelgede güvenlik katsayısı 1,5’ten büyük olan (yeterli olan) geogrid katmanları koyu yazı karakteriyle ve yeşil zemin renginde gösterilmiştir.

Çizelge 5.46 incelendiğinde, GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında duvarın üst kısımlarından itibaren alt kısımlarına doğru geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarının da arttığı görülmektedir. Bu çözümlemelerde duvarın ön yüzünü eğimli yapmadan daha yüksek kopma dayanımına sahip bir geogrid kullanılarak da duvarın iç duraylılığının sağlanabileceği gösterilmiştir.

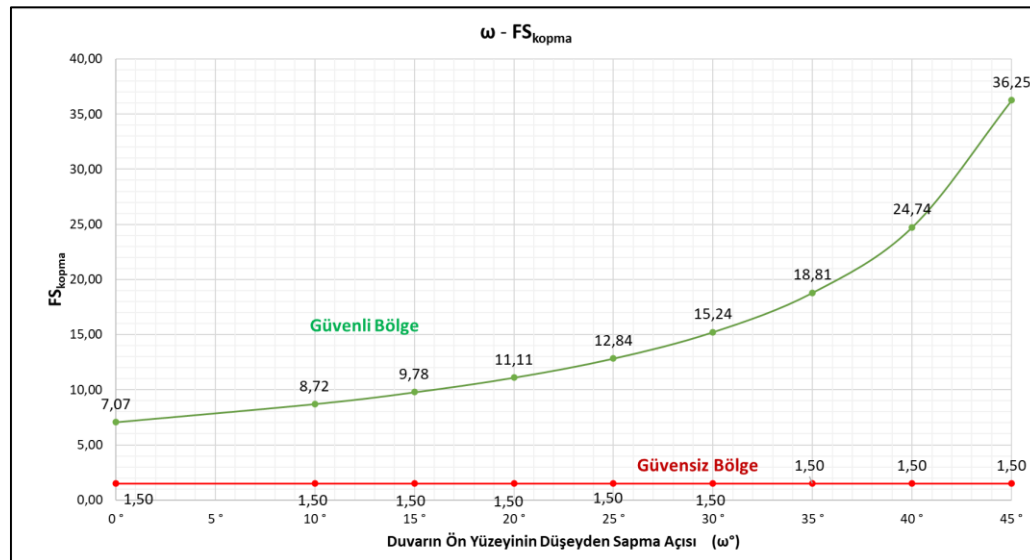
Çizelge 5.46. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 3 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,50	8,64	10,65	11,95	13,57	15,68	18,61	22,97	30,21	44,27	
2	1,00	7,07	8,72	9,78	11,11	12,84	15,24	18,81	24,74	36,25	
3	1,50	5,99	7,38	8,28	9,41	10,87	12,90	15,92	20,94	30,69	
4	2,00	5,19	6,40	7,18	8,16	9,43	11,18	13,81	18,16	26,61	
5	2,50	4,58	5,65	6,34	7,20	8,32	9,87	12,19	16,03	23,49	
6	3,00	4,10	5,06	5,67	6,44	7,44	8,83	10,91	14,34	21,02	
7	3,50	3,71	4,58	5,13	5,83	6,74	7,99	9,87	12,98	19,02	
8	4,00	3,39	4,18	4,69	5,32	6,15	7,30	9,01	11,85	17,37	
9	4,50	3,12	3,84	4,31	4,90	5,66	6,72	8,29	10,91	15,98	
10	5,00	2,89	3,56	3,99	4,54	5,24	6,22	7,68	10,10	14,80	
11	5,50	2,69	3,31	3,72	4,22	4,88	5,79	7,15	9,40	13,78	
12	6,00	2,51	3,10	3,48	3,95	4,57	5,42	6,69	8,80	12,89	
13	6,50	2,36	2,91	3,27	3,71	4,29	5,09	6,28	8,27	12,11	
14	7,00	2,23	2,75	3,08	3,50	4,05	4,80	5,93	7,79	11,42	
15	7,50	2,11	2,60	2,92	3,31	3,83	4,54	5,61	7,37	10,80	
16	8,00	2,00	2,47	2,77	3,14	3,63	4,31	5,32	6,99	10,25	
17	8,50	1,90	2,35	2,63	2,99	3,45	4,10	5,06	6,65	9,75	
18	9,00	1,81	2,24	2,51	2,85	3,29	3,91	4,82	6,34	9,30	
19	9,50	1,73	2,14	2,40	2,72	3,15	3,73	4,61	6,06	8,88	
20	10,00	1,66	2,05	2,30	2,61	3,01	3,58	4,41	5,81	8,51	

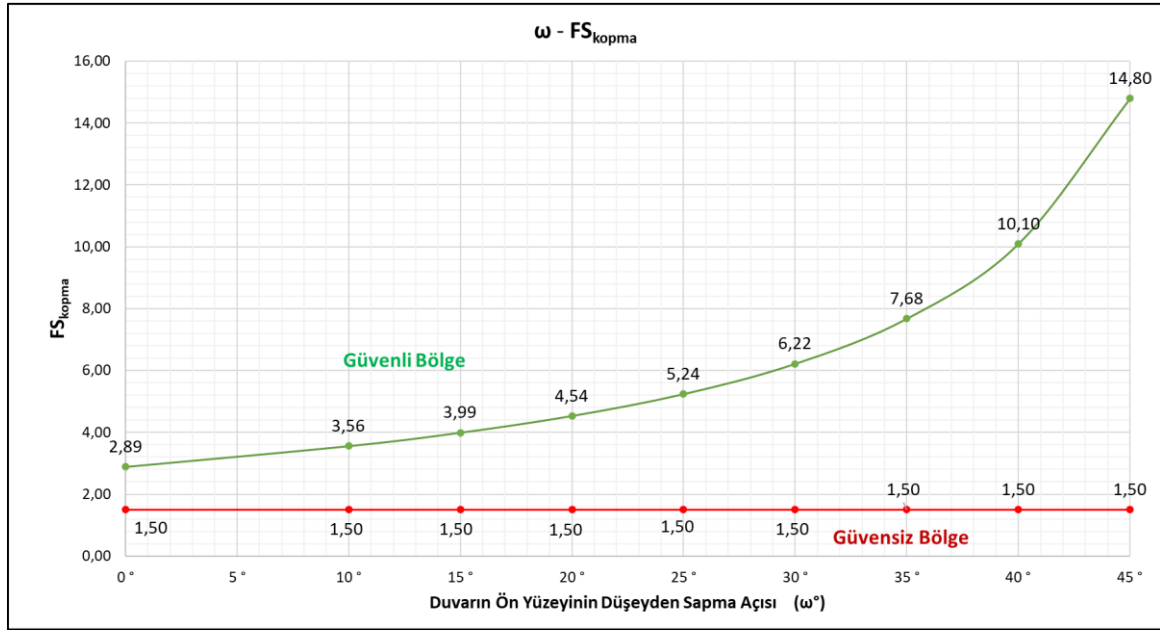
Duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında kopmaya karşı güvenlik katsayılarının ne oranda arttığını görebilmek amacıyla duvarın üst yüzeyinden itibaren belli geogrid katmanları seçilerek $\omega - FS_{\text{kopma}}$ ilişkisini gösteren grafikler çizilmiştir. Kopmaya karşı güvenlik katsayısı derinlikle birlikte her katman için değişmekte olup tüm geogrid katmanları için bu grafiklerin çizilmesi fazla yer kaplayacağından sadece duvarın üst, orta ve alt kesimlerinden seçilen katmanlar için bu grafikler çizilmiştir. Bu amaçla, $z=1,0$ m, $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m derinlikte bulunan katmanlar seçilmiştir. Seçilen bu katmanlar için elde edilen $\omega - FS_{\text{kopma}}$ değerleri Çizelge 5.47’de, bu değerler kullanılarak çizilen grafikler ise Şekil 5.44, 5.45 ve 5.46’da verilmiştir.

Çizelge 5.47. $H=10$ m, $S_v= 0,50$ m ve Geogrid – 3 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık $(FS)_{\text{kopma}}$ değerleri

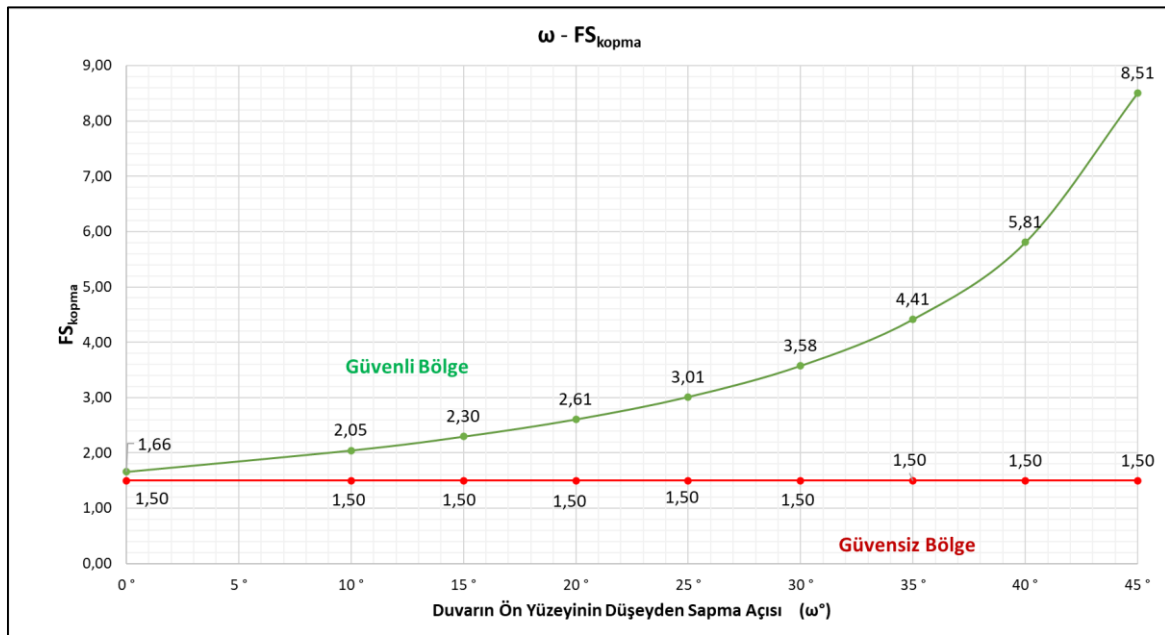
ω°	FS_{kopma}		
	$z=1,0\text{m}$	$z=5,0\text{m}$	$z=10,0\text{m}$
0 °	7,07	2,89	1,66
10 °	8,72	3,56	2,05
15 °	9,78	3,99	2,30
20 °	11,11	4,54	2,61
25 °	12,84	5,24	3,01
30 °	15,24	6,22	3,58
35 °	18,81	7,68	4,41
40 °	24,74	10,10	5,81
45 °	36,25	14,80	8,51



Şekil 5.44. Geogrid – 3 için $z=1,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği



Şekil 5.45. Geogrid – 3 için $z=5,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği



Şekil 5.46. Geogrid – 3 için $z=10,00$ m kesitinde ω° ve FS_{kopma} grafiği

Geogrid – 3 (Tensar 160RE) için çizilen $\omega - FS_{kopma}$ grafikleri incelendiğinde duvar ön yüz eğim açısının artması ile birlikte kopmaya karşı güvenlik katsayılarının da arttığı görülmektedir. Her üç grafikte de ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den $\omega=35^\circ$ ye kadar olan çözümlemelerde kopmaya karşı güvenlik katsayıları arasında fazla bir artış olmadığı, ön yüz eğim açısı $\omega=35^\circ$ ve üzerine çıktığı durumlarda ise kopmaya karşı güvenlik katsayılarının daha hızlı arttığı belirlenmiştir.

Bu tespit neticesinde, GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki (ω) artış oranıyla kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki (FS_{kopma}) artış oranı arasında bir ilişki olup olmadığını belirlemek amacıyla seçilen geogrid katmanları için GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki (ω) artış oranıyla kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki (FS_{kopma}) artış oranları hesaplanmıştır.

Bu hesaplamalarda, GGD duvarın ön yüz eğim açısı arttırıldığında elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artışın, $\omega=0^\circ$ için elde edilen kopmaya karşı güvenlik katsayısına kıyasla ne kadar artış gösterdiği hesaplanmıştır. Bu hesaplamalara ait bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

Z = 1 m ve $\omega=10^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{8,72 - 7,07}{7,07} \times 100 = \%23,33$$

Z = 1 m ve $\omega=30^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{15,24 - 7,07}{7,07} \times 100 = \%115,56$$

Z = 5 m ve $\omega=10^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{3,56 - 2,89}{2,89} \times 100 = \%23,18$$

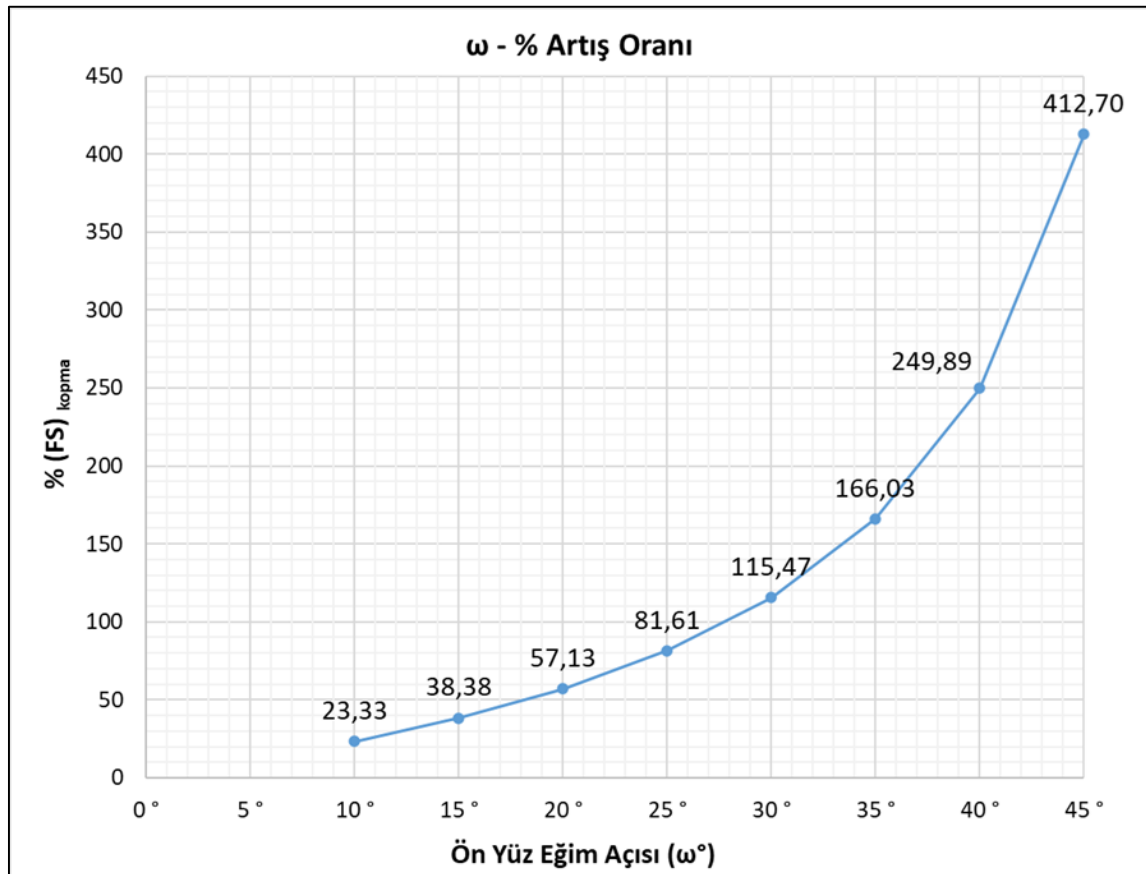
Z = 5 m ve $\omega=30^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısındaki artış oranı;

$$\%FS_{kopma} = \frac{6,22 - 2,89}{2,89} \times 100 = \%115,22$$

Bu şekilde yapılan tüm hesaplamalardan elde edilen sonuçlar toplu halde Çizelge 5.48’de, bu sonuçlar kullanılarak çizilen grafikler ise Şekil 5.47’de verilmiştir.

Çizelge 5.48. $H=10$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 3 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=1,0m$		$z=5,0m$		$z=10,0m$	
	FS_{kopma}	$\%FS_{kopma}$	FS_{kopma}	$\%FS_{kopma}$	FS_{kopma}	$\%FS_{kopma}$
0°	7,07	-	2,89	-	1,66	-
10°	8,72	23,33	3,56	23,33	2,05	23,33
15°	9,78	38,38	3,99	38,38	2,30	38,38
20°	11,11	57,13	4,54	57,13	2,61	57,13
25°	12,84	81,61	5,24	81,61	3,01	81,61
30°	15,24	115,47	6,22	115,47	3,58	115,47
35°	18,81	166,03	7,68	166,03	4,41	166,03
40°	24,74	249,89	10,10	249,89	5,81	249,89
45°	36,25	412,70	14,80	412,70	8,51	412,70



Şekil 5.47. Geogrid – 3 için $z=1,0$ m; $z=5,0$ m ve $z=10,0$ m kesitinde ω° ve $\%FS_{kopma}$ artış oranı grafiği

Çizelge 5.48 ve Şekil 5.47’de sunulan sonuçlar incelendiğinde Geogrid – 3 için yapılan hesaplarda da GGD duvarın ön yüz eğim açısındaki artışa karşılık kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranlarının Geogrid – 1 için elde edilen artış oranlarıyla tamamen

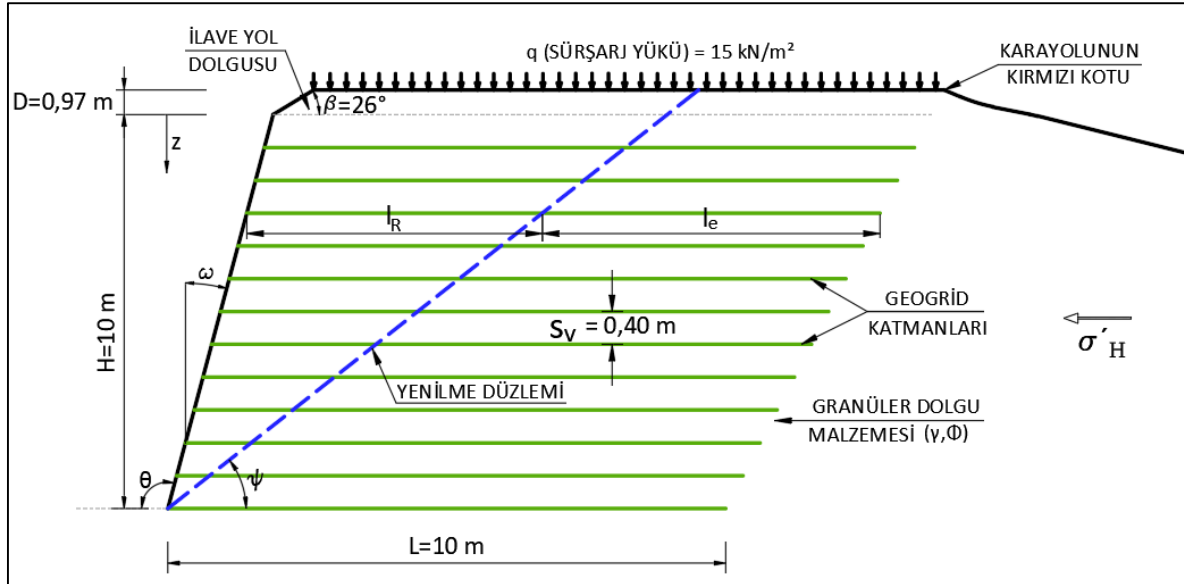
aynı olduğu görülmüştür.

Böylece GGD duvar tasarımında kullanılan bir geogridin kopma dayanımı ne olursa olsun ön yüz eğim açısı belli bir miktar arttırıldığında kopmaya karşı güvenlik katsayıları da ön yüzü dik ($\omega=0^\circ$) olan GGD duvara kıyasla hep belli bir oranda artış göstermektedir.

Aynı duvar yüksekliği ve aynı geogrid düşey aralığı için elde edilen bu sonucun farklı duvar yüksekliği ve farklı geogrid düşey aralığı için de geçerli olup olmadığını belirlemek amacıyla çalışmanın sonraki bölümlerde öncelikle yine $H=10$ m iken $S_v= 0,40$ m ve $S_v= 0,60$ m için benzer hesaplar yapılmıştır. Daha sonra $H=5$ m ve $H=15$ m alınarak $S_v= 0,40$ m, $S_v= 0,50$ m ve $S_v= 0,60$ m için benzer hesaplar yapılmış ve sonuçları değerlendirilmiştir.

6. $H=10$ m ve $S_v=0,4$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR

$H=10$ m ve $S_v=0,40$ m için $\omega=0^\circ$ den 45° ye kadar yapılan çözümlemelerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Bu hesaplamalar Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda diğer değişkenler aynı iken sadece geogrid düşey yerleştirme aralığı değiştirilmiştir. Hesap adımları Bölüm 5'te verilen hesap adımlarıyla aynı olduğundan tekrardan kaçınmak için bu bölümde ayrıntılı bir şekilde hesap adımları tekrar verilmemiştir. Sunum kolaylığı sağlamak için ön yüz eğim açısına karşılık elde edilen güvenlik katsayıları tek bir çizelge halinde verilmiştir.



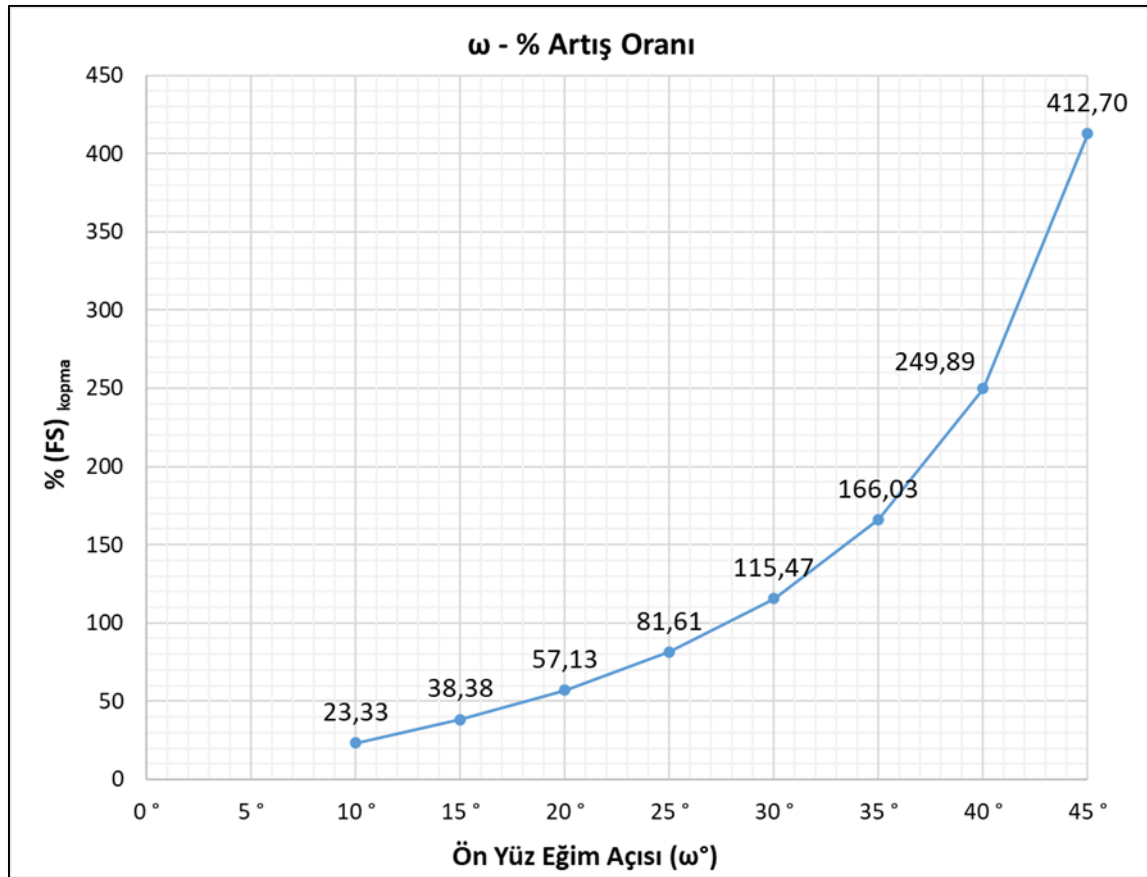
Şekil 6.1. $H=10$ m ve $S_v=0,4$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 6.1. $H=10$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile (FS)_{kopma} arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,40	3,63	4,48	5,02	5,71	6,59	7,82	9,66	12,70	18,62	
2	0,80	3,06	3,78	4,24	4,81	5,56	6,60	8,15	10,72	15,71	
3	1,20	2,65	3,27	3,67	4,16	4,81	5,71	7,05	9,27	13,58	
4	1,60	2,33	2,88	3,23	3,67	4,24	5,03	6,21	8,17	11,97	
5	2,00	2,09	2,57	2,89	3,28	3,79	4,49	5,55	7,30	10,69	
6	2,40	1,89	2,32	2,61	2,96	3,42	4,06	5,02	6,60	9,67	
7	2,80	1,72	2,12	2,38	2,70	3,12	3,71	4,58	6,02	8,82	
8	3,20	1,58	1,95	2,19	2,48	2,87	3,41	4,21	5,53	8,11	
9	3,60	1,46	1,80	2,02	2,30	2,66	3,15	3,89	5,12	7,50	
10	4,00	1,36	1,68	1,88	2,14	2,47	2,93	3,62	4,76	6,98	
11	4,40	1,27	1,57	1,76	2,00	2,31	2,74	3,39	4,45	6,53	
12	4,80	1,20	1,47	1,65	1,88	2,17	2,58	3,18	4,18	6,13	
13	5,20	1,13	1,39	1,56	1,77	2,05	2,43	3,00	3,94	5,78	
14	5,60	1,07	1,31	1,47	1,67	1,93	2,30	2,83	3,73	5,46	
15	6,00	1,01	1,25	1,40	1,59	1,84	2,18	2,69	3,54	5,18	
16	6,40	0,96	1,19	1,33	1,51	1,75	2,07	2,56	3,36	4,93	
17	6,80	0,92	1,13	1,27	1,44	1,66	1,97	2,44	3,21	4,70	
18	7,20	0,88	1,08	1,21	1,38	1,59	1,89	2,33	3,06	4,49	
19	7,60	0,84	1,03	1,16	1,32	1,52	1,81	2,23	2,93	4,30	
20	8,00	0,80	0,99	1,11	1,26	1,46	1,73	2,14	2,81	4,12	
21	8,40	0,77	0,95	1,07	1,21	1,40	1,66	2,05	2,70	3,96	
22	8,80	0,74	0,92	1,03	1,17	1,35	1,60	1,98	2,60	3,81	
23	9,20	0,72	0,88	0,99	1,12	1,30	1,54	1,90	2,50	3,67	
24	9,60	0,69	0,85	0,96	1,08	1,25	1,49	1,84	2,42	3,54	
25	10,00	0,67	0,82	0,92	1,05	1,21	1,44	1,77	2,33	3,42	

Çizelge 6.2. $H=10$ m, $S_v=0,40$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,40$ m		$z=5,20$ m		$z=10,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	3,63	-	1,13	-	0,67	-
10 °	4,48	23,33	1,39	23,33	0,82	23,33
15 °	5,02	38,38	1,56	38,38	0,92	38,38
20 °	5,71	57,13	1,77	57,13	1,05	57,13
25 °	6,59	81,61	2,05	81,61	1,21	81,61
30 °	7,82	115,47	2,43	115,47	1,44	115,47
35 °	9,66	166,03	3,00	166,03	1,77	166,03
40 °	12,70	249,89	3,94	249,89	2,33	249,89
45 °	18,62	412,70	5,78	412,70	3,42	412,70



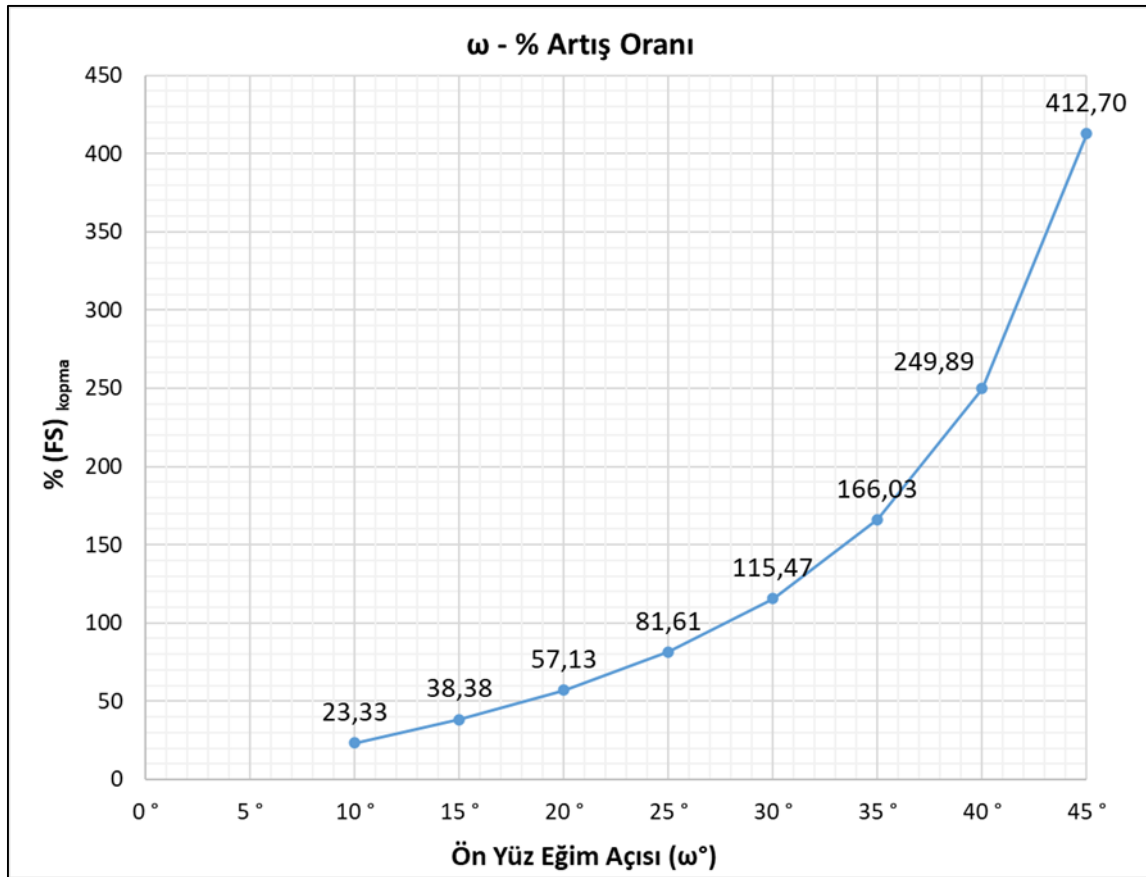
Şekil 6.2. Geogrid – 1 için $H=10,00$ m ve $S_v=0,40$ m çözümlemesinde $z=0,40$ m; $z=5,20$ m ve $z=10,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

Çizelge 7.1. $H=10$ m, $S_v= 0,60$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,60	2,22	2,73	3,07	3,48	4,02	4,77	5,89	7,75	11,36	
2	1,20	1,77	2,18	2,44	2,78	3,21	3,81	4,70	6,18	9,06	
3	1,80	1,47	1,81	2,03	2,31	2,67	3,16	3,91	5,14	7,53	
4	2,40	1,26	1,55	1,74	1,97	2,28	2,71	3,34	4,40	6,44	
5	3,00	1,10	1,35	1,52	1,73	1,99	2,37	2,92	3,84	5,63	
6	3,60	0,98	1,20	1,35	1,53	1,77	2,10	2,59	3,41	5,00	
7	4,20	0,88	1,08	1,21	1,38	1,59	1,89	2,33	3,07	4,50	
8	4,80	0,80	0,98	1,10	1,25	1,45	1,72	2,12	2,79	4,09	
9	5,40	0,73	0,90	1,01	1,15	1,33	1,57	1,94	2,55	3,74	
10	6,00	0,67	0,83	0,93	1,06	1,22	1,45	1,79	2,36	3,45	
11	6,60	0,63	0,77	0,87	0,98	1,14	1,35	1,66	2,19	3,21	
12	7,20	0,58	0,72	0,81	0,92	1,06	1,26	1,55	2,04	2,99	
13	7,80	0,55	0,67	0,76	0,86	0,99	1,18	1,45	1,91	2,80	
14	8,40	0,51	0,63	0,71	0,81	0,93	1,11	1,37	1,80	2,64	
15	9,00	0,49	0,60	0,67	0,76	0,88	1,05	1,29	1,70	2,49	
16	9,60	0,46	0,57	0,64	0,72	0,84	0,99	1,22	1,61	2,36	
17	10,00	0,44	0,55	0,62	0,70	0,81	0,96	1,18	1,56	2,28	

Çizelge 7.2. $H=10$ m, $S_v=0,60$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,60$ m		$z=5,40$ m		$z=10,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	2,22	-	0,73	-	0,44	-
10 °	2,73	23,33	0,90	23,33	0,55	23,33
15 °	3,07	38,38	1,01	38,38	0,62	38,38
20 °	3,48	57,13	1,15	57,13	0,70	57,13
25 °	4,02	81,61	1,33	81,61	0,81	81,61
30 °	4,77	115,47	1,57	115,47	0,96	115,47
35 °	5,89	166,03	1,94	166,03	1,18	166,03
40 °	7,75	249,89	2,55	249,89	1,56	249,89
45 °	11,36	412,70	3,74	412,70	2,28	412,70

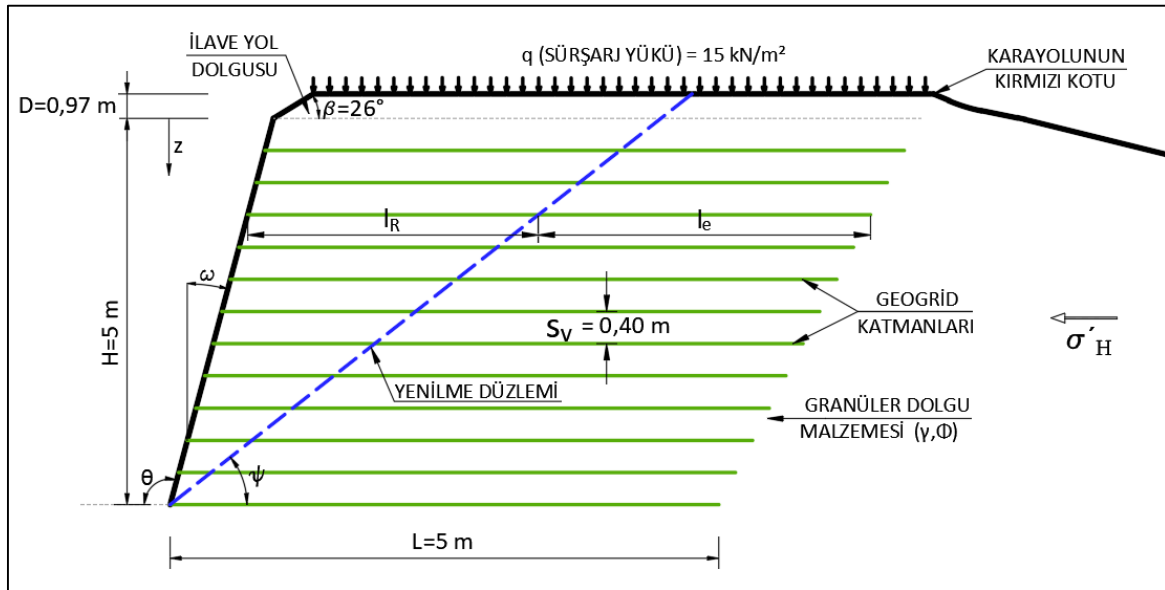


Şekil 7.2. Geogrid – 1 için $H=10,00$ m ve $S_v=0,60$ m çözümlemesinde $z=0,60$ m; $z=5,40$ m ve $z=10,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

8. $H=5$ m İÇİN YAPILAN HESAPLAMALAR

$H=5$ m ve sırasıyla $S_v=0,40$ m, $S_v=0,50$ m ve $S_v=0,60$ m için $\omega=0^\circ$ den 45° ye kadar yapılan çözümlerden elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur. Bu hesaplamalar Geogrid – 1 (Tensar 40RE) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hesaplamalarda diğer değişkenler aynı iken sadece geogrid düşey yerleştirme aralığı değiştirilmiştir. Hesap adımları Bölüm 5'te verilen hesap adımlarıyla aynı olduğundan tekrardan kaçınmak için bu bölümde ayrıntılı bir şekilde hesap adımları tekrar verilmemiştir. Sunum kolaylığı sağlamak için ön yüz eğim açısına karşılık elde edilen güvenlik katsayıları tek bir çizelge halinde verilmiştir.

8.1. $S_v=0,4$ m İçin Yapılan Çözümler



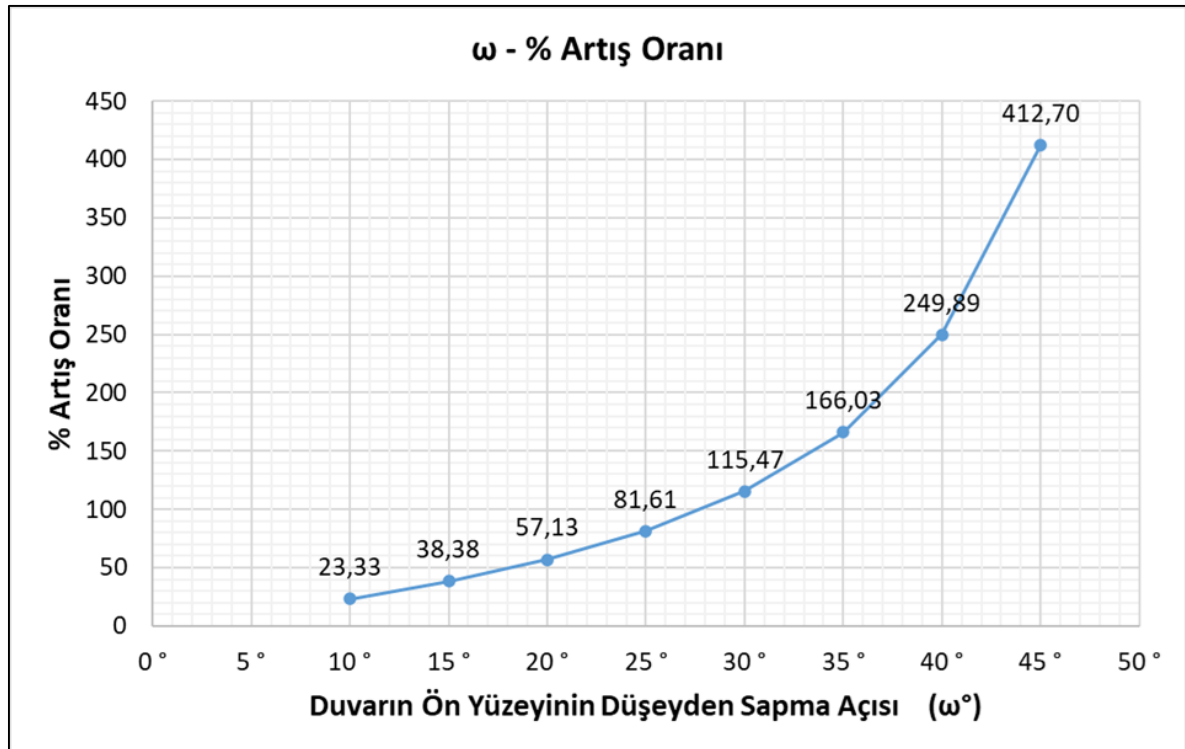
Şekil 8.1. $H=5$ m ve $S_v=0,4$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 8.1. $H=5$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{K.opma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,40	3,63	4,48	5,02	5,71	6,59	7,82	9,66	12,70	18,62	
2	0,80	3,06	3,78	4,24	4,81	5,56	6,60	8,15	10,72	15,71	
3	1,20	2,65	3,27	3,67	4,16	4,81	5,71	7,05	9,27	13,58	
4	1,60	2,33	2,88	3,23	3,67	4,24	5,03	6,21	8,17	11,97	
5	2,00	2,09	2,57	2,89	3,28	3,79	4,49	5,55	7,30	10,69	
6	2,40	1,89	2,32	2,61	2,96	3,42	4,06	5,02	6,60	9,67	
7	2,80	1,72	2,12	2,38	2,70	3,12	3,71	4,58	6,02	8,82	
8	3,20	1,58	1,95	2,19	2,48	2,87	3,41	4,21	5,53	8,11	
9	3,60	1,46	1,80	2,02	2,30	2,66	3,15	3,89	5,12	7,50	
10	4,00	1,36	1,68	1,88	2,14	2,47	2,93	3,62	4,76	6,98	
11	4,40	1,27	1,57	1,76	2,00	2,31	2,74	3,39	4,45	6,53	
12	4,80	1,20	1,47	1,65	1,88	2,17	2,58	3,18	4,18	6,13	
13	5,00	1,16	1,43	1,61	1,82	2,11	2,50	3,09	4,06	5,95	

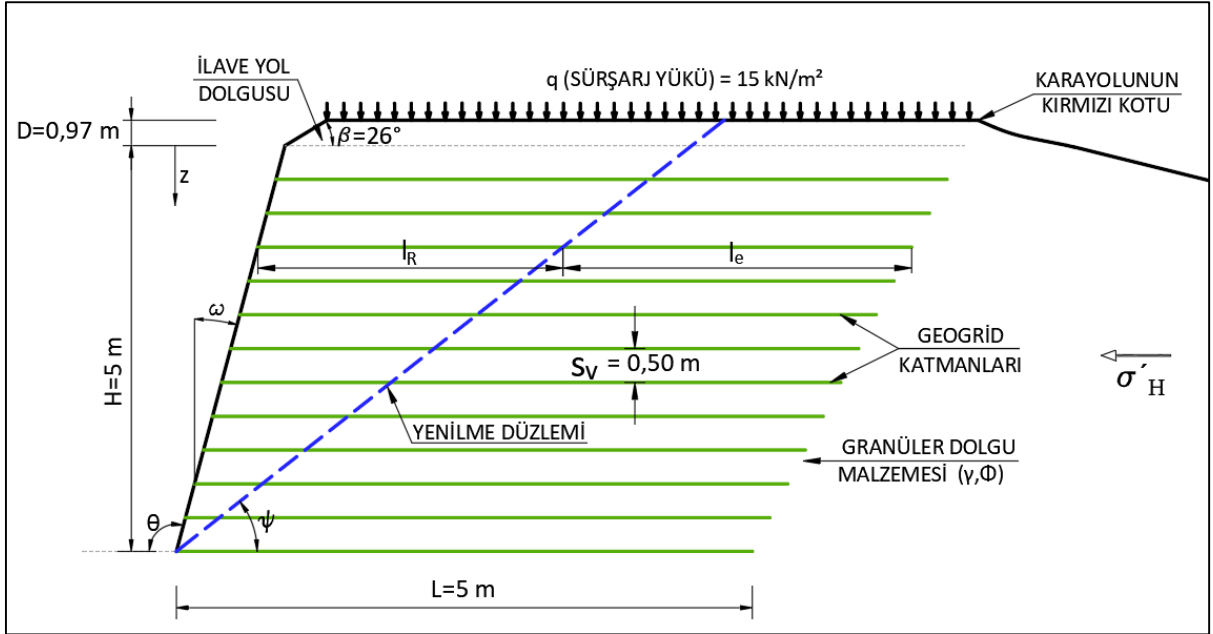
Çizelge 8.2. $H=5$ m, $S_v=0,40$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,40$ m		$z=2,40$ m		$z=5,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	3,63	-	1,89	-	1,16	-
10 °	4,48	23,33	2,32	23,33	1,43	23,33
15 °	5,02	38,38	2,61	38,38	1,61	38,38
20 °	5,71	57,13	2,96	57,13	1,82	57,13
25 °	6,59	81,61	3,42	81,61	2,11	81,61
30 °	7,82	115,47	4,06	115,47	2,50	115,47
35 °	9,66	166,03	5,02	166,03	3,09	166,03
40 °	12,70	249,89	6,60	249,89	4,06	249,89
45 °	18,62	412,70	9,67	412,70	5,95	412,70



Şekil 8.2. Geogrid – 1 için $H=5,00$ m ve $S_v=0,40$ m çözümlemesinde $z=0,40$ m; $z=2,40$ m ve $z=5,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

8.2. $S_v=0,5$ m İçin Yapılan Çözümlemeler



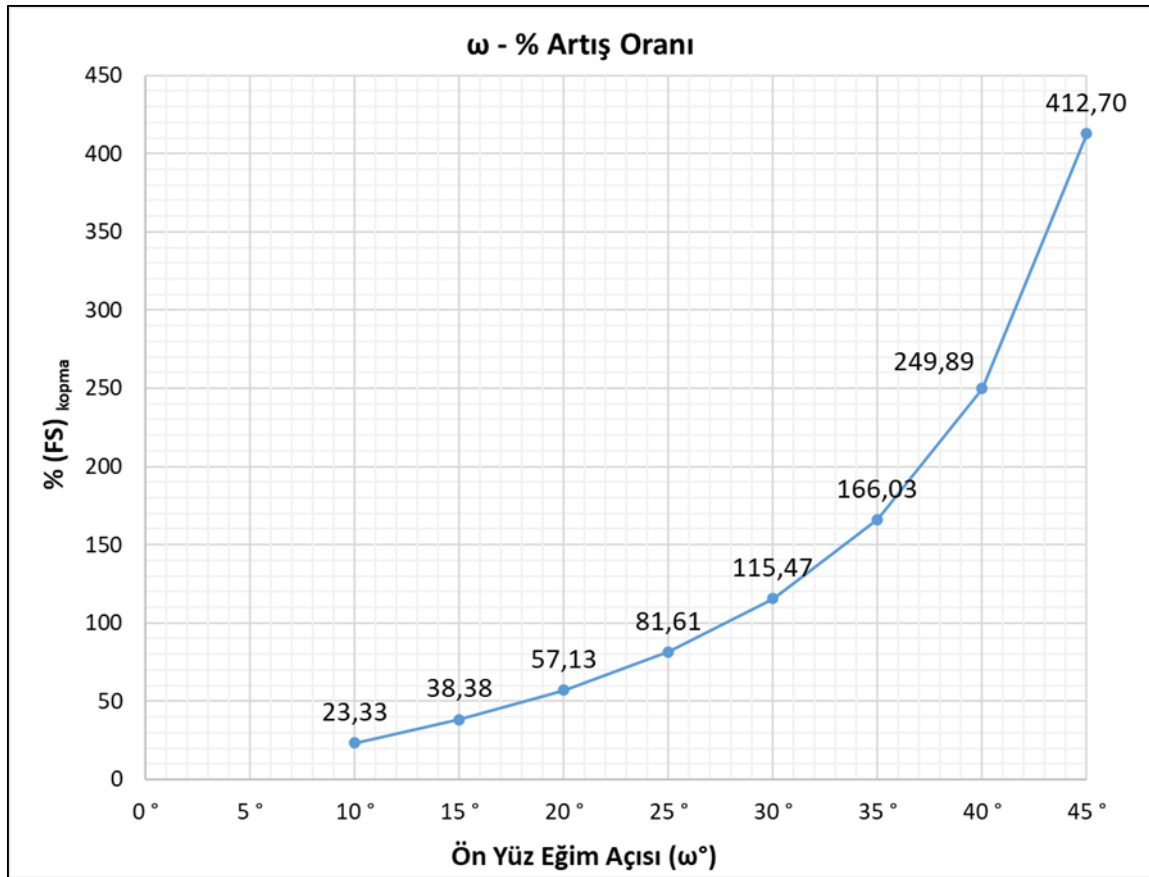
Şekil 8.3. $H=5$ m ve $S_v=0,5$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 8.3. $H=5$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,50	2,78	3,42	3,84	4,36	5,04	5,98	7,39	9,71	14,23	
2	1,00	2,27	2,80	3,15	3,57	4,13	4,90	6,05	7,95	11,66	
3	1,50	1,92	2,37	2,66	3,02	3,50	4,15	5,12	6,73	9,87	
4	2,00	1,67	2,06	2,31	2,62	3,03	3,60	4,44	5,84	8,55	
5	2,50	1,47	1,82	2,04	2,31	2,67	3,17	3,92	5,15	7,55	
6	3,00	1,32	1,63	1,82	2,07	2,39	2,84	3,51	4,61	6,76	
7	3,50	1,19	1,47	1,65	1,87	2,17	2,57	3,17	4,17	6,12	
8	4,00	1,09	1,34	1,51	1,71	1,98	2,35	2,90	3,81	5,58	
9	4,50	1,00	1,24	1,39	1,57	1,82	2,16	2,67	3,51	5,14	
10	5,00	0,93	1,14	1,28	1,46	1,69	2,00	2,47	3,25	4,76	

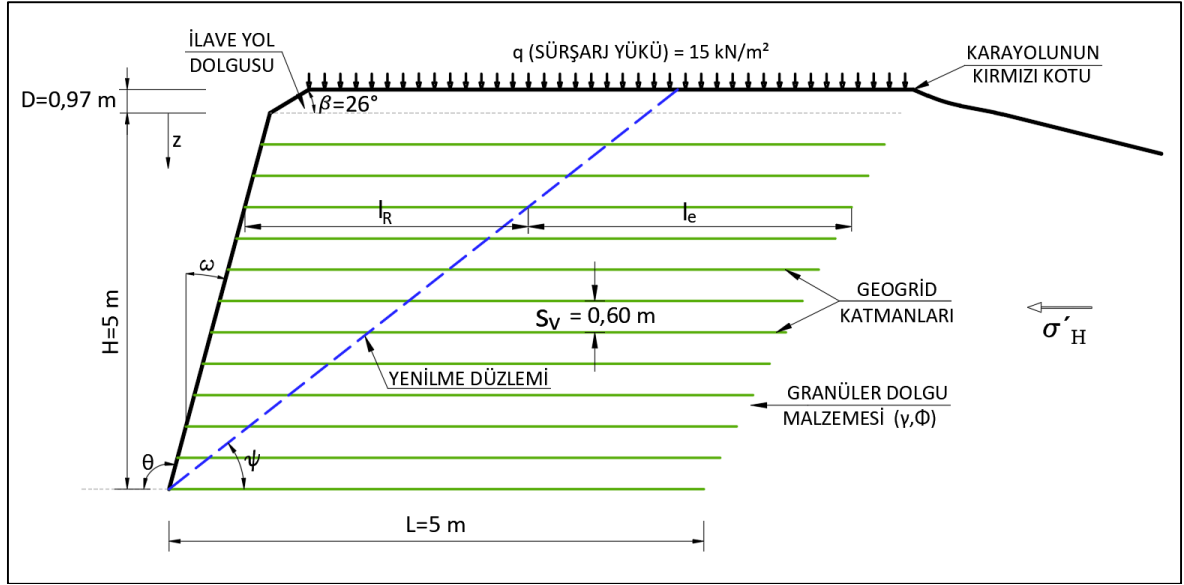
Çizelge 8.4. $H=5$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,50$ m		$z=2,50$ m		$z=5,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	2,78	-	1,47	-	0,93	-
10 °	3,42	23,33	1,82	23,33	1,14	23,33
15 °	3,84	38,38	2,04	38,38	1,28	38,38
20 °	4,36	57,13	2,31	57,13	1,46	57,13
25 °	5,04	81,61	2,67	81,61	1,69	81,61
30 °	5,98	115,47	3,17	115,47	2,00	115,47
35 °	7,39	166,03	3,92	166,03	2,47	166,03
40 °	9,71	249,89	5,15	249,89	3,25	249,89
45 °	14,23	412,70	7,55	412,70	4,76	412,70



Şekil 8.4. Geogrid – 1 için $H=5,00$ m ve $S_v=0,50$ m çözümlemesinde $z=0,50$ m; $z=2,50$ m ve $z=5,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

8.3. $S_v=0,6$ m İçin Yapılan Çözümlmeler



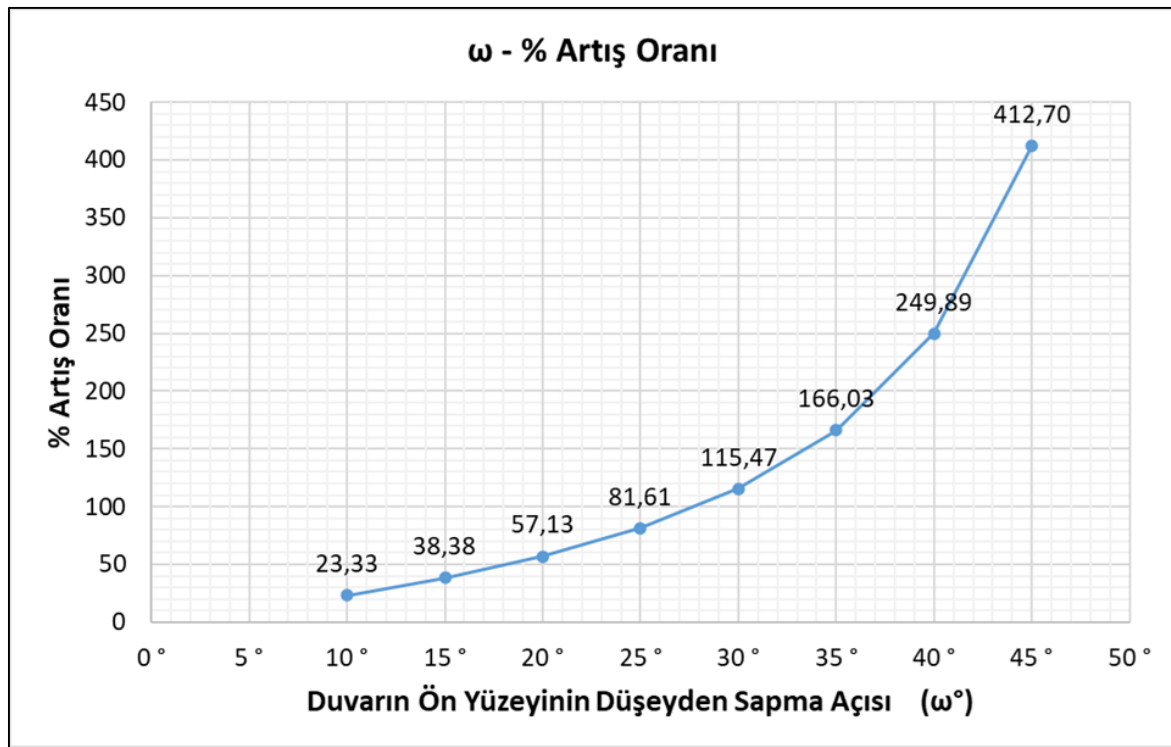
Şekil 8.5. $H=5$ m ve $S_v=0,6$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 8.5. $H=5$ m, $S_v= 0,60$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})								
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °
1	0,60	2,22	2,73	3,07	3,48	4,02	4,77	5,89	7,75	11,36
2	1,20	1,77	2,18	2,44	2,78	3,21	3,81	4,70	6,18	9,06
3	1,80	1,47	1,81	2,03	2,31	2,67	3,16	3,91	5,14	7,53
4	2,40	1,26	1,55	1,74	1,97	2,28	2,71	3,34	4,40	6,44
5	3,00	1,10	1,35	1,52	1,73	1,99	2,37	2,92	3,84	5,63
6	3,60	0,98	1,20	1,35	1,53	1,77	2,10	2,59	3,41	5,00
7	4,20	0,88	1,08	1,21	1,38	1,59	1,89	2,33	3,07	4,50
8	4,80	0,80	0,98	1,10	1,25	1,45	1,72	2,12	2,79	4,09
9	5,00	0,77	0,95	1,07	1,22	1,40	1,67	2,06	2,71	3,97

Çizelge 8.6. $H=5$ m, $S_v=0,60$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,60$ m		$z=2,40$ m		$z=5,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	2,22	-	1,26	-	0,77	-
10 °	2,73	23,33	1,55	23,33	0,95	23,33
15 °	3,07	38,38	1,74	38,38	1,07	38,38
20 °	3,48	57,13	1,97	57,13	1,22	57,13
25 °	4,02	81,61	2,28	81,61	1,40	81,61
30 °	4,77	115,47	2,71	115,47	1,67	115,47
35 °	5,89	166,03	3,34	166,03	2,06	166,03
40 °	7,75	249,89	4,40	249,89	2,71	249,89
45 °	11,36	412,70	6,44	412,70	3,97	412,70



Şekil 8.6. Geogrid – 1 için $H=5,00$ m ve $S_v=0,60$ m çözümlemesinde $z=0,60$ m; $z=2,40$ m ve $z=5,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

Çizelge 9.1. $H=15$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile (FS)_{kopma} arasındaki ilişki (1/2)

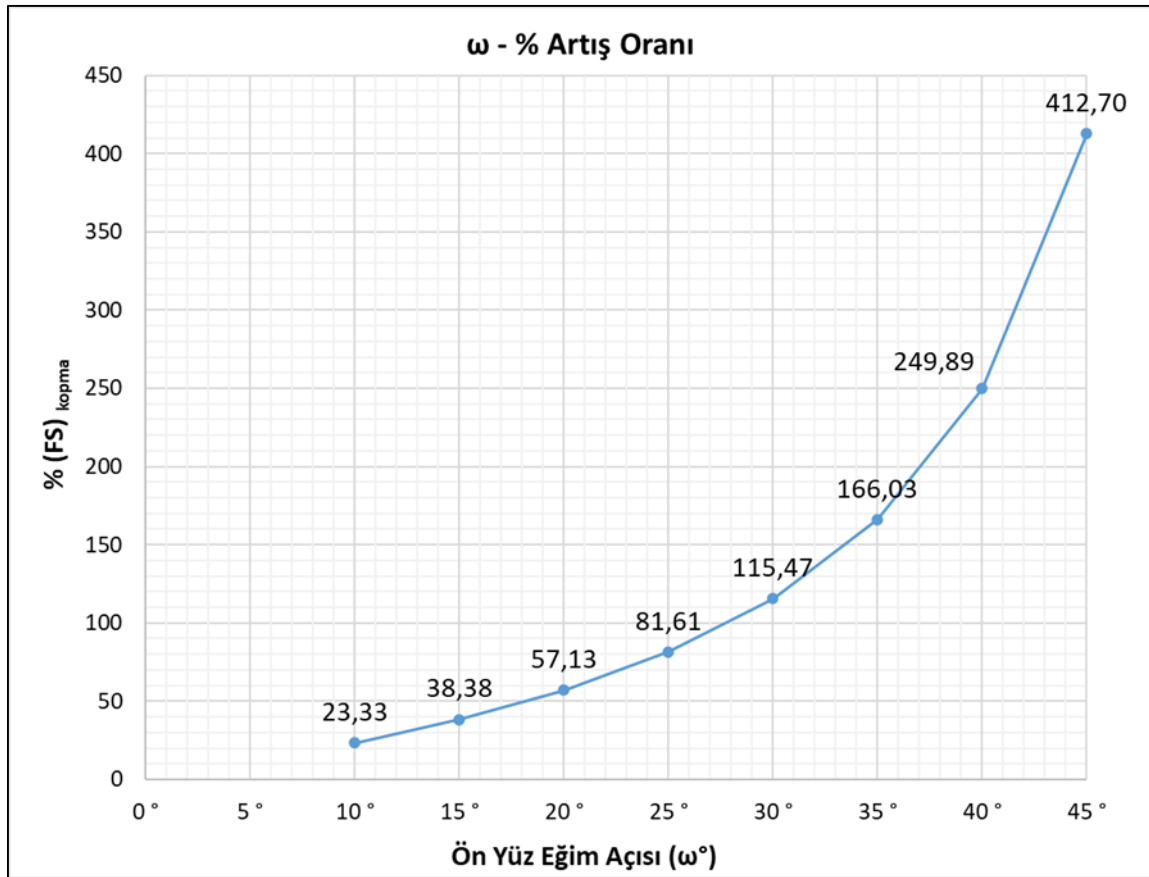
Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,40	3,63	4,48	5,02	5,71	6,59	7,82	9,66	12,70	18,62	
2	0,80	3,06	3,78	4,24	4,81	5,56	6,60	8,15	10,72	15,71	
3	1,20	2,65	3,27	3,67	4,16	4,81	5,71	7,05	9,27	13,58	
4	1,60	2,33	2,88	3,23	3,67	4,24	5,03	6,21	8,17	11,97	
5	2,00	2,09	2,57	2,89	3,28	3,79	4,49	5,55	7,30	10,69	
6	2,40	1,89	2,32	2,61	2,96	3,42	4,06	5,02	6,60	9,67	
7	2,80	1,72	2,12	2,38	2,70	3,12	3,71	4,58	6,02	8,82	
8	3,20	1,58	1,95	2,19	2,48	2,87	3,41	4,21	5,53	8,11	
9	3,60	1,46	1,80	2,02	2,30	2,66	3,15	3,89	5,12	7,50	
10	4,00	1,36	1,68	1,88	2,14	2,47	2,93	3,62	4,76	6,98	
11	4,40	1,27	1,57	1,76	2,00	2,31	2,74	3,39	4,45	6,53	
12	4,80	1,20	1,47	1,65	1,88	2,17	2,58	3,18	4,18	6,13	
13	5,20	1,13	1,39	1,56	1,77	2,05	2,43	3,00	3,94	5,78	
14	5,60	1,07	1,31	1,47	1,67	1,93	2,30	2,83	3,73	5,46	
15	6,00	1,01	1,25	1,40	1,59	1,84	2,18	2,69	3,54	5,18	
16	6,40	0,96	1,19	1,33	1,51	1,75	2,07	2,56	3,36	4,93	
17	6,80	0,92	1,13	1,27	1,44	1,66	1,97	2,44	3,21	4,70	
18	7,20	0,88	1,08	1,21	1,38	1,59	1,89	2,33	3,06	4,49	
19	7,60	0,84	1,03	1,16	1,32	1,52	1,81	2,23	2,93	4,30	
20	8,00	0,80	0,99	1,11	1,26	1,46	1,73	2,14	2,81	4,12	

Çizelge 9.2. $H=15$ m, $S_v= 0,40$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile (FS)_{kopma} arasındaki ilişki (2/2)

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
21	8,40	0,77	0,95	1,07	1,21	1,40	1,66	2,05	2,70	3,96	
22	8,80	0,74	0,92	1,03	1,17	1,35	1,60	1,98	2,60	3,81	
23	9,20	0,72	0,88	0,99	1,12	1,30	1,54	1,90	2,50	3,67	
24	9,60	0,69	0,85	0,96	1,08	1,25	1,49	1,84	2,42	3,54	
25	10,00	0,67	0,82	0,92	1,05	1,21	1,44	1,77	2,33	3,42	
26	10,40	0,64	0,80	0,89	1,01	1,17	1,39	1,72	2,26	3,31	
27	10,80	0,62	0,77	0,86	0,98	1,13	1,35	1,66	2,18	3,20	
28	11,20	0,61	0,75	0,84	0,95	1,10	1,30	1,61	2,12	3,10	
29	11,60	0,59	0,72	0,81	0,92	1,07	1,26	1,56	2,05	3,01	
30	12,00	0,57	0,70	0,79	0,90	1,03	1,23	1,52	1,99	2,92	
31	12,40	0,55	0,68	0,77	0,87	1,01	1,19	1,47	1,94	2,84	
32	12,80	0,54	0,66	0,75	0,85	0,98	1,16	1,43	1,88	2,76	
33	13,20	0,52	0,65	0,73	0,82	0,95	1,13	1,39	1,83	2,69	
34	13,60	0,51	0,63	0,71	0,80	0,93	1,10	1,36	1,79	2,62	
35	14,00	0,50	0,61	0,69	0,78	0,90	1,07	1,32	1,74	2,55	
36	14,40	0,49	0,60	0,67	0,76	0,88	1,05	1,29	1,70	2,49	
37	14,80	0,47	0,58	0,66	0,74	0,86	1,02	1,26	1,66	2,43	
38	15,00	0,47	0,58	0,65	0,74	0,85	1,01	1,24	1,64	2,40	

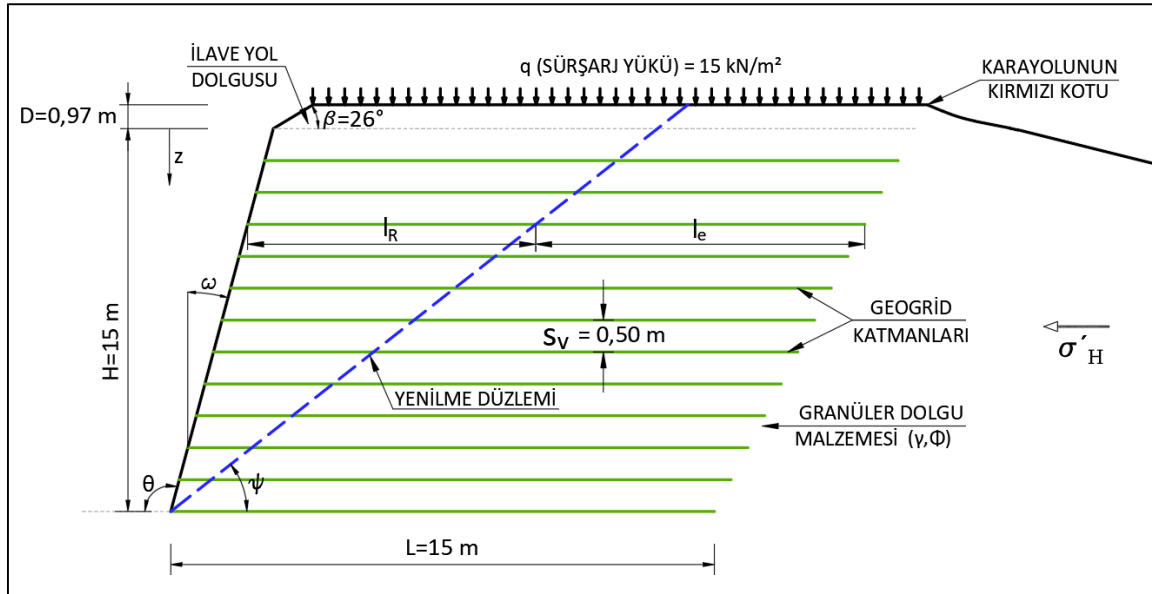
Çizelge 9.3. $H=15$ m, $S_v=0,40$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,40$ m		$z=7,60$ m		$z=15,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	3,63	-	0,84	-	0,47	-
10 °	4,48	23,33	1,03	23,33	0,58	23,33
15 °	5,02	38,38	1,16	38,38	0,65	38,38
20 °	5,71	57,13	1,32	57,13	0,74	57,13
25 °	6,59	81,61	1,52	81,61	0,85	81,61
30 °	7,82	115,47	1,81	115,47	1,01	115,47
35 °	9,66	166,03	2,23	166,03	1,24	166,03
40 °	12,70	249,89	2,93	249,89	1,64	249,89
45 °	18,62	412,70	4,30	412,70	2,40	412,70



Şekil 9.2. Geogrid – 1 için $H=15,00$ m ve $S_v=0,40$ m çözümlemesinde $z=0,40$ m; $z=7,60$ m ve $z=15,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

9.2. $S_v=0,5$ m İçin Yapılan Çözümler



Şekil 9.3. $H=15$ m ve $S_v=0,5$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 9.4. $H=15$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile (FS)_{kopma} arasındaki ilişki (1/2)

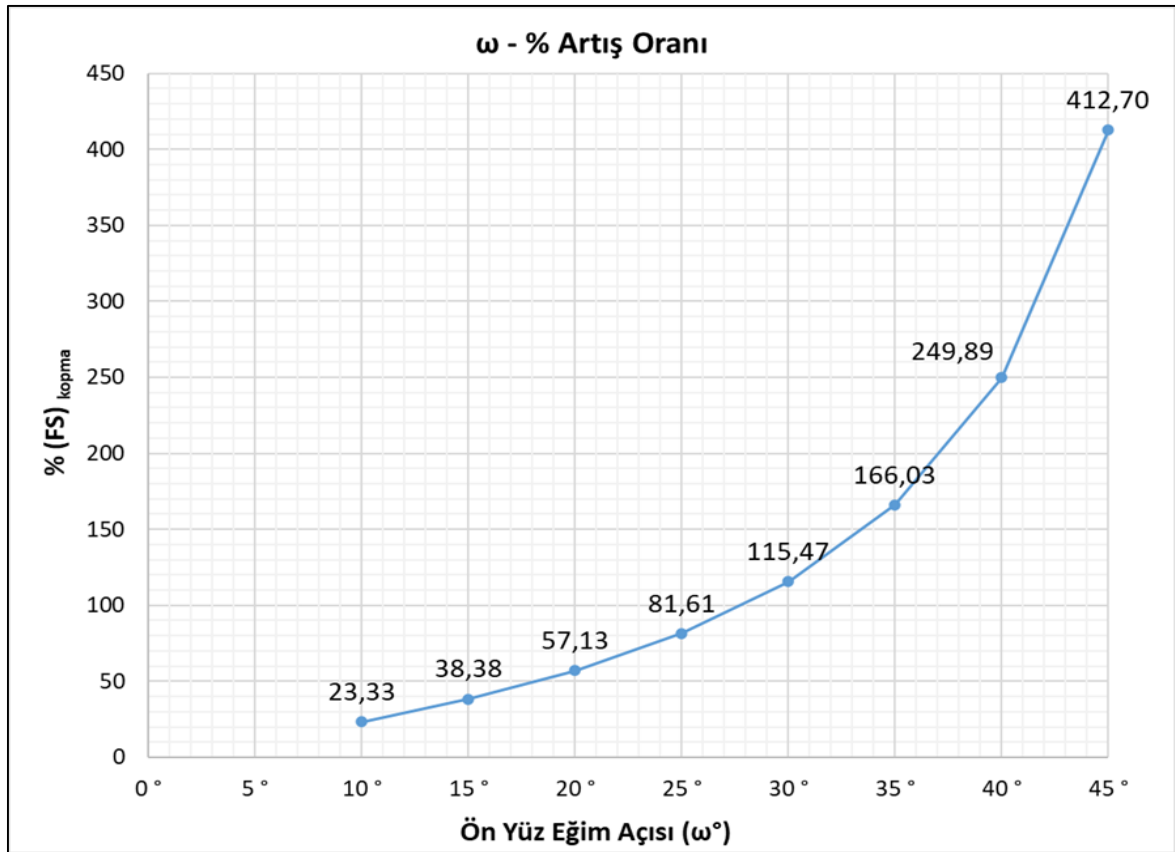
Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,50	2,78	3,42	3,84	4,36	5,04	5,98	7,39	9,71	14,23	
2	1,00	2,27	2,80	3,15	3,57	4,13	4,90	6,05	7,95	11,66	
3	1,50	1,92	2,37	2,66	3,02	3,50	4,15	5,12	6,73	9,87	
4	2,00	1,67	2,06	2,31	2,62	3,03	3,60	4,44	5,84	8,55	
5	2,50	1,47	1,82	2,04	2,31	2,67	3,17	3,92	5,15	7,55	
6	3,00	1,32	1,63	1,82	2,07	2,39	2,84	3,51	4,61	6,76	
7	3,50	1,19	1,47	1,65	1,87	2,17	2,57	3,17	4,17	6,12	
8	4,00	1,09	1,34	1,51	1,71	1,98	2,35	2,90	3,81	5,58	
9	4,50	1,00	1,24	1,39	1,57	1,82	2,16	2,67	3,51	5,14	
10	5,00	0,93	1,14	1,28	1,46	1,69	2,00	2,47	3,25	4,76	
11	5,50	0,86	1,07	1,20	1,36	1,57	1,86	2,30	3,02	4,43	
12	6,00	0,81	1,00	1,12	1,27	1,47	1,74	2,15	2,83	4,14	
13	6,50	0,76	0,94	1,05	1,19	1,38	1,64	2,02	2,66	3,89	
14	7,00	0,72	0,88	0,99	1,13	1,30	1,54	1,91	2,51	3,67	
15	7,50	0,68	0,84	0,94	1,06	1,23	1,46	1,80	2,37	3,47	
16	8,00	0,64	0,79	0,89	1,01	1,17	1,38	1,71	2,25	3,30	
17	8,50	0,61	0,75	0,85	0,96	1,11	1,32	1,63	2,14	3,13	
18	9,00	0,58	0,72	0,81	0,92	1,06	1,26	1,55	2,04	2,99	
19	9,50	0,56	0,69	0,77	0,88	1,01	1,20	1,48	1,95	2,86	
20	10,00	0,53	0,66	0,74	0,84	0,97	1,15	1,42	1,87	2,73	

Çizelge 9.5. $H=15$ m, $S_v= 0,50$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzeyinin düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki (2/2)

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
21	10,50	0,51	0,63	0,71	0,80	0,93	1,10	1,36	1,79	2,62	
22	11,00	0,49	0,61	0,68	0,77	0,89	1,06	1,31	1,72	2,52	
23	11,50	0,47	0,58	0,65	0,74	0,86	1,02	1,26	1,66	2,43	
24	12,00	0,46	0,56	0,63	0,72	0,83	0,98	1,21	1,60	2,34	
25	12,50	0,44	0,54	0,61	0,69	0,80	0,95	1,17	1,54	2,26	
26	13,00	0,43	0,52	0,59	0,67	0,77	0,92	1,13	1,49	2,18	
27	13,50	0,41	0,51	0,57	0,65	0,75	0,89	1,09	1,44	2,11	
28	14,00	0,40	0,49	0,55	0,63	0,72	0,86	1,06	1,39	2,04	
29	14,50	0,39	0,48	0,53	0,61	0,70	0,83	1,03	1,35	1,98	
30	15,00	0,37	0,46	0,52	0,59	0,68	0,81	1,00	1,31	1,92	

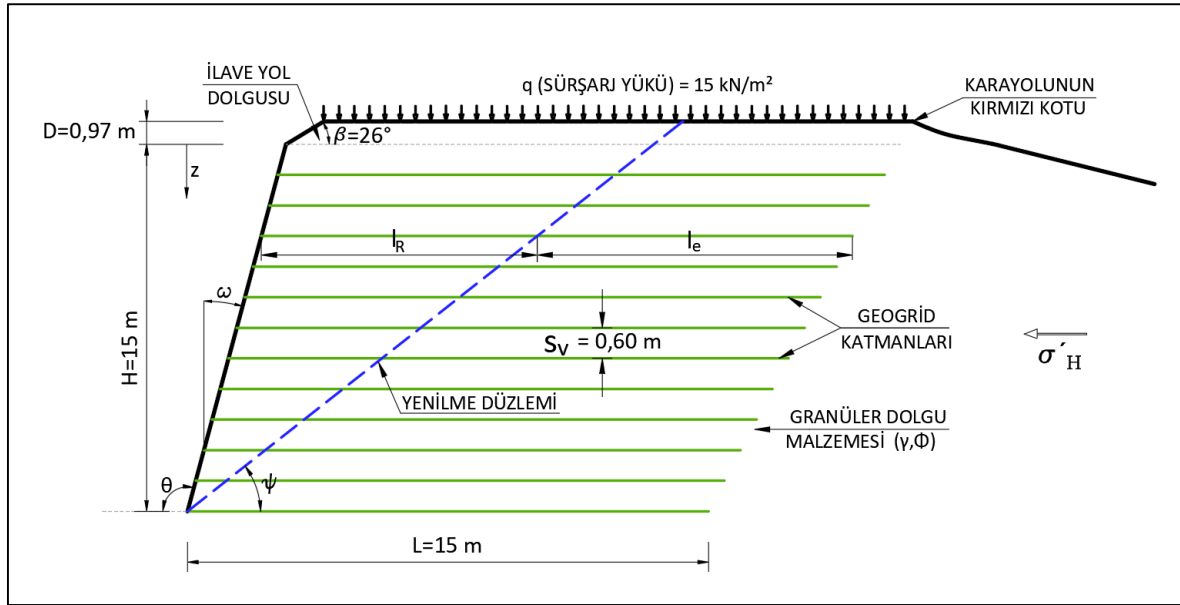
Çizelge 9.6. $H=15$ m, $S_v=0,50$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,50$ m		$z=7,50$ m		$z=15,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	2,78	-	0,68	-	0,37	-
10 °	3,42	23,33	0,84	23,33	0,46	23,33
15 °	3,84	38,38	0,94	38,38	0,52	38,38
20 °	4,36	57,13	1,06	57,13	0,59	57,13
25 °	5,04	81,61	1,23	81,61	0,68	81,61
30 °	5,98	115,47	1,46	115,47	0,81	115,47
35 °	7,39	166,03	1,80	166,03	1,00	166,03
40 °	9,71	249,89	2,37	249,89	1,31	249,89
45 °	14,23	412,70	3,47	412,70	1,92	412,70



Şekil 9.4. Geogrid – 1 için $H=15,00$ m ve $S_v=0,50$ m çözümlemesinde $z=0,50$ m; $z=7,50$ m ve $z=15,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

9.3. $S_v=0,6$ m İçin Yapılan Çözümler



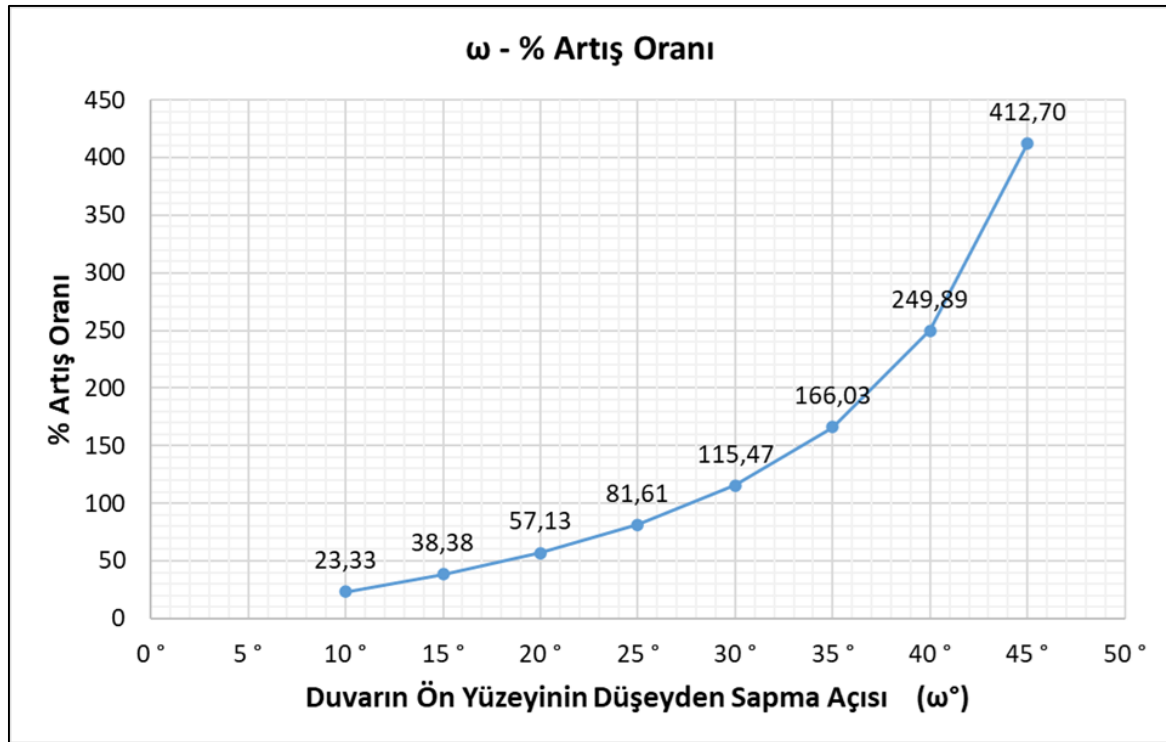
Şekil 9.5. $H=15$ m ve $S_v=0,6$ m olarak tasarlanan GGD duvarın ön tasarım çizimi

Çizelge 9.7. $H=15$ m, $S_v= 0,60$ m olarak ve Geogrid – 1 için tasarlanan GGD duvarın ön yüzünün düşeyden sapma açısı (ω°) ile $(FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

Katman No	Derinlik (z) (m)	Kopmaya Karşı Güvenlik Katsayısı (FS _{kopma})									
		ω= 0 °	ω= 10 °	ω= 15 °	ω= 20 °	ω= 25 °	ω= 30 °	ω= 35 °	ω= 40 °	ω= 45 °	
1	0,60	2,22	2,73	3,07	3,48	4,02	4,77	5,89	7,75	11,36	
2	1,20	1,77	2,18	2,44	2,78	3,21	3,81	4,70	6,18	9,06	
3	1,80	1,47	1,81	2,03	2,31	2,67	3,16	3,91	5,14	7,53	
4	2,40	1,26	1,55	1,74	1,97	2,28	2,71	3,34	4,40	6,44	
5	3,00	1,10	1,35	1,52	1,73	1,99	2,37	2,92	3,84	5,63	
6	3,60	0,98	1,20	1,35	1,53	1,77	2,10	2,59	3,41	5,00	
7	4,20	0,88	1,08	1,21	1,38	1,59	1,89	2,33	3,07	4,50	
8	4,80	0,80	0,98	1,10	1,25	1,45	1,72	2,12	2,79	4,09	
9	5,40	0,73	0,90	1,01	1,15	1,33	1,57	1,94	2,55	3,74	
10	6,00	0,67	0,83	0,93	1,06	1,22	1,45	1,79	2,36	3,45	
11	6,60	0,63	0,77	0,87	0,98	1,14	1,35	1,66	2,19	3,21	
12	7,20	0,58	0,72	0,81	0,92	1,06	1,26	1,55	2,04	2,99	
13	7,80	0,55	0,67	0,76	0,86	0,99	1,18	1,45	1,91	2,80	
14	8,40	0,51	0,63	0,71	0,81	0,93	1,11	1,37	1,80	2,64	
15	9,00	0,49	0,60	0,67	0,76	0,88	1,05	1,29	1,70	2,49	
16	9,60	0,46	0,57	0,64	0,72	0,84	0,99	1,22	1,61	2,36	
17	10,20	0,44	0,54	0,60	0,69	0,79	0,94	1,16	1,53	2,24	
18	10,80	0,42	0,51	0,58	0,65	0,76	0,90	1,11	1,46	2,13	
19	11,40	0,40	0,49	0,55	0,62	0,72	0,86	1,06	1,39	2,04	
20	12,00	0,38	0,47	0,53	0,60	0,69	0,82	1,01	1,33	1,95	
21	12,60	0,36	0,45	0,50	0,57	0,66	0,78	0,97	1,27	1,87	
22	13,20	0,35	0,43	0,48	0,55	0,63	0,75	0,93	1,22	1,79	
23	13,80	0,34	0,41	0,46	0,53	0,61	0,72	0,89	1,18	1,72	
24	14,40	0,32	0,40	0,45	0,51	0,59	0,70	0,86	1,13	1,66	
25	15,00	0,31	0,38	0,43	0,49	0,57	0,67	0,83	1,09	1,60	

Çizelge 9.8. $H=15$ m, $S_v=0,60$ m ve Geogrid – 1 ile tasarlanan GGD duvarda seçilen geogrid katmanları için ω değerlerine karşılık FS_{kopma} değerlerindeki % artış oranları

ω°	$z=0,60$ m		$z=7,80$ m		$z=15,00$ m	
	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}	FS_{kopma}	% FS_{kopma}
0 °	2,22	-	0,55	-	0,31	-
10 °	2,73	23,33	0,67	23,33	0,38	23,33
15 °	3,07	38,38	0,76	38,38	0,43	38,38
20 °	3,48	57,13	0,86	57,13	0,49	57,13
25 °	4,02	81,61	0,99	81,61	0,57	81,61
30 °	4,77	115,47	1,18	115,47	0,67	115,47
35 °	5,89	166,03	1,45	166,03	0,83	166,03
40 °	7,75	249,89	1,91	249,89	1,09	249,89
45 °	11,36	412,70	2,80	412,70	1,60	412,70



Şekil 9.6. Geogrid – 1 için $H=15,00$ m ve $S_v=0,60$ m çözümlemesinde $z=0,60$ m; $z=7,80$ m ve $z=15,00$ m kesitinde ω° ve % FS_{kopma} artış oranı grafiği

10. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, GGD duvar tasarımında, ön yüz eğim açısının kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları üzerindeki etkisi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaçla kurgusal olarak tasarlanmış 9 farklı GGD duvar üzerinde iç duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Kurgusal olarak tasarlanmış olan bu duvarlarda, duvar yüksekliği $H=5, 10$ ve 15 m, geogridlerin düşey yerleştirme aralığı ise her bir duvarda $S_v= 0,40$ m, $0,50$ m ve $0,60$ m olarak alınmıştır.

$H=10$ m ve $S_v= 0,50$ m olarak tasarlanan GGD duvarda kopma dayanımları birbirinden farklı 3 tip geogrid kullanılmıştır. Diğer GGD duvar analizlerinde tek tip geogrid kullanılmıştır.

GGD duvar imalatında kullanılan geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısı $\phi=30^\circ$, birim hacim ağırlığı ise $\gamma=19$ kN/m³ olarak kabul edilmiştir. Geri dolgu malzemesinin iri taneli granüler bir malzeme olması nedeniyle kohezyon değeri $c=0$ (sıfır) olarak alınmıştır.

Tüm analizlerde duvarın üzerinde $D=0,97$ m kalınlığında ilave bir dolgunun bulunduğu, dolgunun ön yüzeyinin yatayla $\beta=26^\circ$ açı yaptığı ve bu dolgunun üzerinde $q=15$ kN/m² sürşarj yükü bulunduğu kabul edilmiştir. Tüm analizlerde geogrid serim uzunluğu (L boyu) GGD duvar yüksekliğine eşit kabul edilmiştir.

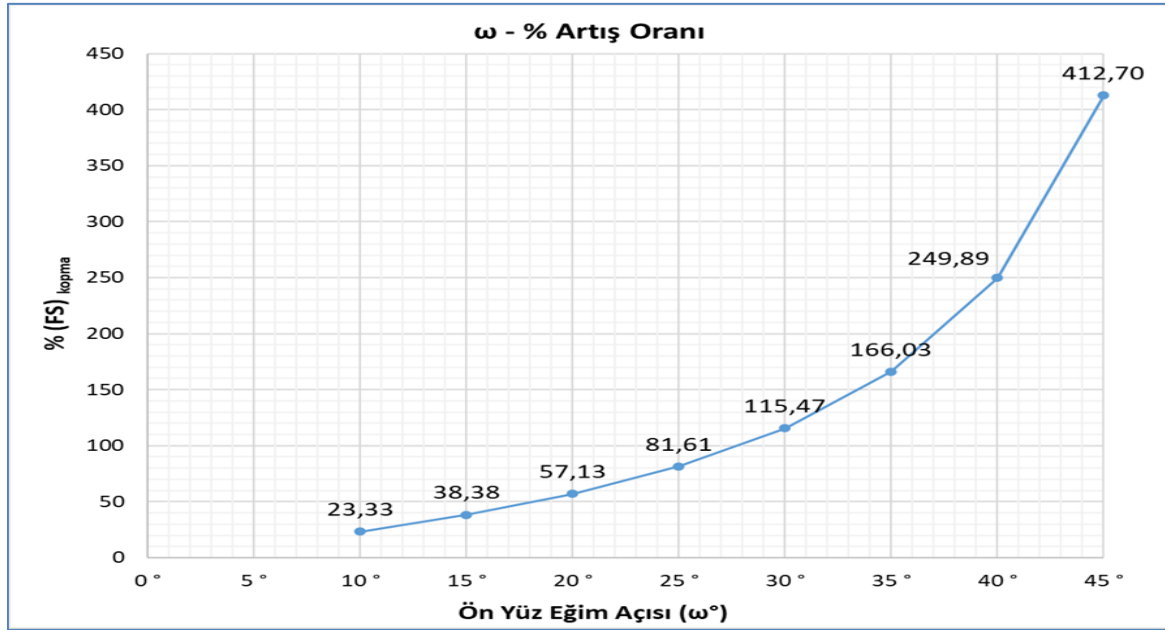
Tüm analizlerde duvarın ön yüz eğim açısı (ω) $0^\circ - 45^\circ$ arasında değiştirilmiştir. Ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ için verilen formüller ön yüz eğim açısı 10° ye kadar geçerli olduğundan ilk etapta ön yüz eğim açısı 0° den 10° ye artırılmış, daha sonra 5'er derecelik artırımlarla 45° ye kadar çıkartılmıştır. Her bir durum için geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayıları hesaplanmıştır. Böylece toplam 102 adet analiz gerçekleştirilmiştir.

Analizlerde geosentetik literatürüne uygun olarak geogridlerin kopmaya ve sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının kabul edilebilir en küçük değeri $FS=1,50$ olarak kabul edilmiştir [7,9].

Analizlerden elde edilen bulgular ve değerlendirmelere aşağıda başlıklar halinde

sunulmuştur.

- 1) GGD duvarın ön yüz eğim açısının artması ile birlikte geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarının da önemli oranda arttığı belirlenmiştir. Örneğin $H=10$ m ve $S_v= 0,50$ m olarak tasarlanan ve Geogrid 1 kullanılan GGD duvarda, $\omega = 0^\circ$ iken sadece yukarıdan itibaren ilk 3 sıra geogridin kopmaya karşı güvenlik katsayıları yeterli çıkarken, ön yüz eğim açısı $\omega = 40^\circ$ ye ulaştığında bütün geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayılarının 1,5'ten büyük olduğu ve GGD duvarın iç duraylılığının sağlandığı görülmüştür. Aynı duvar tasarımında Geogrid 2 kullanılarak yapılan analizlerde ise ön yüz eğim açısı $\omega = 25^\circ$ ye ulaştığında bütün geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayıları 1,5'ten büyük çıkarak yeterli gelmiştir. Geogrid 3 kullanıldığında ise duvarın ön yüzüne eğim vermeden ($\omega = 0^\circ$) bütün geogrid katmanlarının güvenlik katsayıları yeterli çıkmıştır. Böylece GGD duvar tasarımında iç duraylılığın sağlanması için daha yüksek kopma dayanımına sahip bir geogrid kullanılmasının yanı sıra GGD duvarın ön yüz eğim açısının arttırılmasının da güçlü bir seçenek olarak değerlendirilebileceği görülmüştür. Başka bir ifadeyle, daha yüksek kopma dayanımına sahip bir geogrid kullanılmadan sadece duvarın ön yüz eğim açısı arttırılarak GGD duvarın iç duraylılığının sağlanabileceği gösterilmiştir.
- 2) GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω) ile geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı arasında istikrarlı bir ilişki bulunduğu görülmüştür. GGD duvarın ön yüz eğim açısı belli bir derece arttırıldığında geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayıları da belli bir oranda artmaktadır (Şekil 10.1). Geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı GGD duvar yüksekliğinden (H), geogridlerin düşey yerleştirme aralığından (S_v), geogrid katmanının yüzeyden itibaren bulunduğu derinlikten (z) ve geogridlerin kopma dayanımından (T_u) bağımsızdır. Başka bir ifadeyle, GGD duvar yüksekliği (H), geogridlerin düşey yerleştirme aralığı (S_v), geogrid katmanının yüzeyden itibaren derinliği (z) ve geogridlerin nihai kopma dayanımı (T_u) değişse bile ön yüz eğim açısındaki artışa bağlı olarak geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı değişmemektedir. Örneğin ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ den $\omega = 20^\circ$ ye çıkartıldığında tüm geogrid katmanlarının kopmaya karşı güvenlik katsayıları %57,13 oranında artmaktadır. Bu artış oranı GGD duvar tasarımında kullanılan bütün H , S_v , T_u ve z değerleri için geçerlidir.

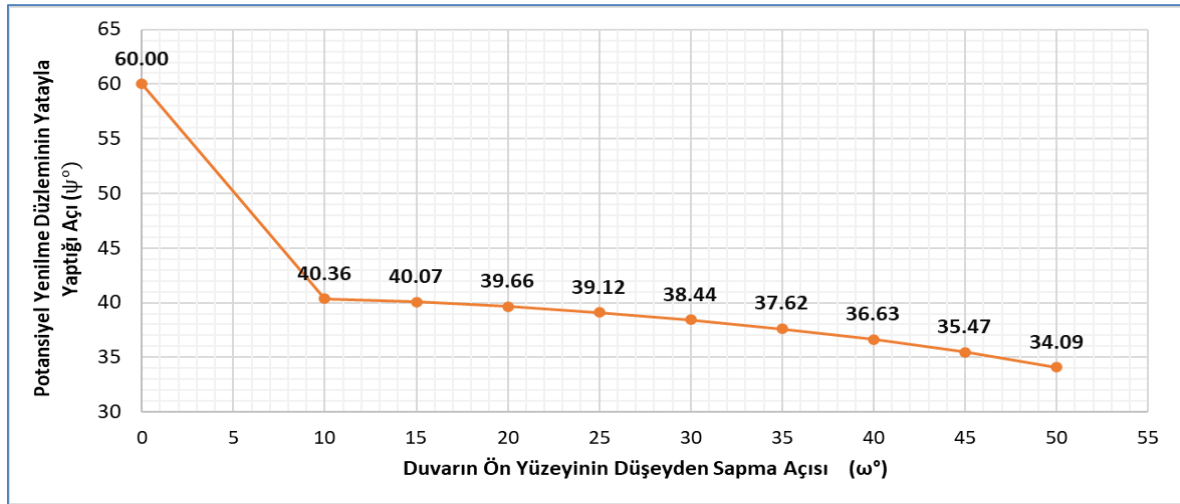


Şekil 10.1. GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω) ile geogridlerin kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı $\% (FS)_{kopma}$ arasındaki ilişki

- 3) GGD duvar tasarımında kopmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranını etkileyen tek değişken geri dolgu malzemesinin içsel sürtünme açısıdır. Dolayısıyla bu çalışmada elde edilen artış oranları $\phi=30^\circ$ için geçerlidir. Farklı bir içsel sürtünme açısına sahip bir geri dolgu malzemesi kullanılması durumunda bu çalışmada elde edilen oranlar değişebilir. Bu nedenle farklı bir içsel sürtünme açısına sahip bir geri dolgu malzemesi kullanılması durumunda bu oranlar yeniden elde edilmelidir. Belli bir ϕ için bu artış oranları bir kez elde edildikten sonra duvar geometrisindeki diğer tüm değişkenler değiştirilse bile elde edilen artış oranları değişmeyecektir.
- 4) Şekil 10.1’de sunulan ilişki $\phi=30^\circ$ granüler geri dolgu malzemesi kullanılan bir GGD duvar tasarımında tüm H , S_v , T_u ve z değerleri için geçerlidir. Dolayısıyla bu ilişki sayesinde, bir GGD duvar tasarımında $\omega = 0^\circ$ için $(FS)_{kopma}$ değerleri bir kez hesaplandıktan sonra duvarın ön yüzünü kaç derece yatırdığımızda (ön yüz eğim açısını kaç derece olduğunda) $(FS)_{kopma}$ değerlerinin kaç olacağı hesaplanabilmektedir. Örneğin $\omega = 0^\circ$ için yapılan hesaplamalar sonucunda, 7 nolu geogrid katmanının kopmaya karşı güvenlik katsayısı $(FS)_{kopma} = 1,19$ olarak elde edilmiştir. Bu duvarın ön yüzünü $\omega = 20^\circ$ ye çıkarttığımızda aynı geogrid katmanının kopmaya karşı güvenlik katsayısı şu şekilde hesaplanabilir. Şekil 10.1’den $\omega = 20^\circ$ ye karşılık gelen $\%FS$ artış oranı $\%57,13$ olarak bulunur. $\omega = 0^\circ$ için elde edilen $(FS)_{kopma} = 1,19$ değeri $\%57,13$ oranında arttırılarak $\omega = 20^\circ$ için kopmaya karşı güvenlik katsayısı $(FS)_{kopma} =$

$1,19 \times 1,5713 = 1,87$ olarak hesaplanır. $\omega = 20^\circ$ için yapılan hesaplamalara bakıldığında aynı değerin elde edildiği görülebilir.

- 5) GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω) arttırıldıkça beklenildiği gibi potansiyel yenilme düzleminin yatayla yaptığı açı da (ψ) artmıştır. Ancak her iki açının aynı oranda artmadığı görülmüştür. Şöyle ki; GGD duvarın ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ den 10° ye çıkartıldığında potansiyel yenilme düzleminin açısı $\psi = 60^\circ$ den $40,36^\circ$ ye ani bir düşüş göstermiştir. Ancak ön yüz eğim açısının $\omega = 10^\circ$ den sonraki artımlarda ψ açısında önemli bir azalma meydana gelmediği görülmüştür. Örneğin ön yüz eğim açısı $\omega = 10^\circ$ den 20° ye çıkartıldığında ψ açısı $40,36^\circ$ den sadece $39,66^\circ$ ye düşmüştür. Yani ω açısındaki 10° lik bir artışa karşılık ψ açısında sadece $0,7^\circ$ lik bir azalma meydana gelmiştir. Benzer bir hesabı $\omega = 40^\circ$ için yapacak olursak, ön yüz eğim açısı 30° arttırılarak $\omega = 10^\circ$ den 40° ye çıkartıldığında ψ açısı sadece $3,73^\circ$ azalarak $40,36^\circ$ den $36,63^\circ$ ye düşmüştür. Yani ω açısındaki 30° lik bir artışa karşılık ψ açısında sadece $3,73^\circ$ lik bir azalma meydana gelmiştir. ω ile ψ arasındaki ilişkiyi daha rahat görebilmek için ω açısına bağlı olarak ψ açısındaki değişimi gösteren bir grafik çizilmiş ve Şekil 10.2’de sunulmuştur.



Şekil 10.2. GGD duvar tasarımında ω - ψ ilişkisi

- 6) GGD duvarın ön yüz eğim açısı (ω) ile geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarındaki artış oranı arasında istikrarlı bir ilişki bulunmadığı görülmüştür. Ön yüz eğim açısı $\omega \leq 20^\circ$ olan GGD duvarlarda üst ve orta kısımlarda yer alan geogridlerin sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının önce azaldığı daha sonra artmaya başladığı görülmüştür. Özellikle ön yüz eğim açısı $\omega=0^\circ$ den $\omega=10^\circ$ ye

yükseltildiğinde GGD duvarın üst ve orta kısımlarda yer alan geogrid katmanlarında sıyrılmaya karşı güvenlik katsayılarının büyük oranda azaldığı görülmüştür. Bunun sebebi, GGD duvarın ön yüz eğim açısı $\omega = 0^\circ$ den 10° ye çıkartıldığında potansiyel yenilme düzleminin açısının $\psi = 60^\circ$ den $40,36^\circ$ ye ani bir düşüş göstermesidir. Hesaplarda geogridin toplam uzunluğu sabit tutulduğundan ve ψ açısındaki artış oranı ω açısındaki artış oranından daha fazla olduğundan geogridlerin l_e boyları azalmış ve buna bağlı olarak da $\omega = 10^\circ$ için yapılan hesaplarda $\omega = 0^\circ$ için yapılan hesaplara kıyasla $(F.S)_{\text{sıyırılma}}$ değerlerinde ani düşüşler meydana gelmiştir. Ön yüz eğim açısı $\omega \geq 10^\circ$ olan GGD duvarlarda ψ açısında önemli bir azalma meydana gelmediğinden ve hesaplarda geogrid boyu sabit tutulduğundan duvarın ön yüz eğim açısı arttıkça geogridler geriye doğru ötelenmiştir. Buna bağlı olarak da geogridlerin l_e boyları artmıştır. Bunun sonucunda da $(F.S)_{\text{sıyırılma}}$ değerlerinde hızlı bir artış görülmüştür.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Türk Standardları Enstitüsü (2015). *Geosynthetics – Part 1: Terms and Definitions* (2. TS EN ISO 10318), URL: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:44885:en>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2024.
2. İnternet: ASTM International (2015). *Standard Terminology for Geosynthetics*, URL: www.astm.org/ Son Erişim Tarihi: 20.12.2024.
3. Özer, M. (2017). Jeosentetikler ve mühendislik uygulamalarında kullanımları. *Yer Mühendisliği Dergisi*, 4(8), 16-23.
4. Güler, E. (2014,16-17 Ekim). *Geoteknik Mühendisliğinde Yeni Bir Devir Başlatan Malzeme: Geosentetikler*. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 15. Ulusal Kongresi, Ankara,15.
5. Das, B. M. (2011). *Principles of Foundation Engineering*, (7. Baskı), Stanford: Global Engineering, 20-40.
6. Özer, M., Çelebi, B. (2024). Geogrid donatılı istinat duvarı yapımında kullanılan dolgu malzemesinin mühendislik özelliklerinin güvenlik katsayıları üzerindeki etkisi. *Politeknik Dergisi*, 27(5), 1681–1695.
7. İnternet: Elias, V., Christopher, B. R., Berg, R. R. Berg, R. R. (2001). Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes: design and construction guidelines (updated version) (No. FHWA-NHI-00-043). URL: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi10024/nhi10024.pdf>, Son Erişim Tarihi: 20.12.2024.
8. Güler, E. (2006, 16-17 Kasım). *Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı (Geoduvvar) Bir Şartname Taslağı*. İkinci Ulusal Geosentetikler Konferansı, İstanbul,221-227.
9. Holtz, R. D., Christopher, B. R., Berg, R. R. (2008). *Geosynthetic design & construction guidelines: reference manual*,Washington: National Highway Institute-U.S. Dept. of Transportation, 9-35.
10. Yıldırım, E. (2019). *Betonarme konsol istinat duvarları ile geogrid donatılı istinat duvarlarının teknik ve ekonomik yönden araştırılması*. Yüksek Lisans Tezi, Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya,1.
11. Yumrutaş, H. İ., Keskin, İ., Aydın, U. (2022). Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı ile Betonarme İstinat Duvarının Karşılaştırmalı Analizi: Kastamonu-Karabük Karayolu Örneği. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(1), 225-240.
12. Koerner, R. M. (2005). *Designing with geosynthetics*, (5. Baskı), New Jersey,: Pearson Prentice Hall, 328-396.
13. Shukla, S. K., Yin, J. H. (2006). *Fundamentals of geosynthetic engineering*. London:Taylor & Francis Group, 1-43.

14. Karagül, B. Ç. (2007). *Yol Dolgularının Geogrid Kullanılarak İyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 6-7.
15. İnternet: GT Örgülü Geotekstil. URL: <https://www.izofen.com/gt-orgulu-geotekstil/> , Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
16. İnternet: Endüstriyel Kesim. URL: <https://endustriyelkesim.com/endustriyel-malzemeler/geotekstil-malzemeler/pet-geotekstil-kece/>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
17. İnternet: Jeosanplastik. URL: <https://www.jeosanplastik.com/urun/geonet/geonet> , Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
18. İnternet: Geomembran. URL: <https://geomembran.com.tr/hdpe-geomembran/>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
19. İnternet: Macrotechyapi. URL: <https://www.macrotechyapi.com.tr/urun/bentonit-membran>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
20. İnternet: Geocell. URL: <https://www.jeosanplastik.com/urun/geocell/geocell>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
21. İnternet: Geofoam. URL: <https://www.orcangroup.com.tr/urun/geopor-geofoam/>, Son Erişim Tarihi: 19.06.2024.
22. Çelebi, B. (2023). *Geosentetik donatılı istinat yapılarının tasarımında zemin parametrelerinin etkisinin örnek bir vaka üzerinde incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 3-18.
23. İnternet: Geogrid. URL: <http://ymngrup.com/urunler/geogrid/>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
24. İnternet: Guide to the Specification of Geosynthetics 2018. URL: https://library.geosyntheticssociety.org/wp-content/uploads/2024/06/IGS-specification-document_20191105.pdf, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
25. İnternet: Geosynthetic. URL: <https://tr.geogridgeotextile.com/geogrid/pp-biaxialgeogrid/extruded-plastics-geogrid>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
26. İnternet: Geogrid. URL: <https://tr.mttvs.com/geogrid/biaxial-steel-plastic-weld-geogrid.html>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
27. İnternet: Çift Yönlü Geogrid. URL: <https://www.istanbulteknik.com/tr/urundetay/14/fortex-gg-cift-yonlu-geogrid> , Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
28. İnternet: Geogrid. URL: <http://turkish.geotextile-fabric.com/sale-1950743-high-strength-uniaxial-geogrid.html>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
29. İnternet: Ekstrude Geogrid. URL: <https://www.ekstrudegeogrid.com/>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.

30. İnternet: Geomembran supplier. URL: https://tr.made-in-china.com/co_geomembranesupplier/product_Airport-Runway-Construction-Cloud-Hltxx-160-Geogrid-Factory-Direct-Sale_ysigogeguy.html, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
31. İnternet: Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes – Volume I. URL: <https://www.fhwa.dot.gov/engineering/geotech/pubs/nhi10024/nhi10024.pdf>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
32. İnternet: Metal şerit ve Geosentetik Donatı Kullanılarak Oluşturulan Donatılı Zemin (Toprakarme) Yapıların Spreadsheet Kullanarak Analizi, URL: <https://ab.org.tr/ab12/bildiri/75.pdf>, Son Erişim Tarihi: 20.06.2024.
33. 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.
34. İnternet: Toprakarme Duvar Uygulaması, URL: www.geoart.com.tr/toprakarme-duvar-uygulamasi, Son Erişim Tarihi: 22.06.2024.
35. İnternet: Toprakarme Duvarın Avantajları, URL: <https://maccaferri.com.tr/macres-toprakarme-duvarin-avantajlari/>, Son Erişim Tarihi: 22.06.2024.
36. Özer M. (2003). Zeminlerin Güçlendirilmesinde Geosentetik Uygulamalar Yüksek Lisans Ders Notları, Yayınlanmamış.
37. İnternet: GEO5 Software-MSE Wall. URL: https://www.finesoftware.eu/geotechnical-software/mse-wall/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwyfe4BhAWEiwAkIL8sOkF-WgPoIvXcZQPw-x4A1_aOUitEYuuugvBFNdjeLuSMLJuDc1xRoCGEoQAvD_BwE., Son Erişim Tarihi: 21.12.2024



Gazili olmak ayrıcalıktır