T.C.
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI ÜZERİNE PARAMETRİK ÇALIŞMA

ALİ POLAT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Banu YAĞCI** **(Tez Danışmanı)**
Dr. Öğr. Üyesi Arzu OKUCU
Dr. Öğr. Üyesi Eyyüb KARAKAN

BALIKESİR, EYLÜL-2020

ETİK BEYAN

Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Yazım Kurallarına uygun olarak tarafımca hazırlanan **"Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı Üzerine Parametrik Çalışma"** başlıklı tezde;

- Tüm bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Kullanılan veriler ve sonuçlarda herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Tüm bilgi ve sonuçları bilimsel araştırma ve etik ilkelere uygun şekilde sunduğumu,
- Yararlandığım eserlere atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,

beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Ali POLAT

ÖZET

GEOSENTETİK DONATILI İSTİNAT DUVARI ÜZERİNE PARAMETRİK ÇALIŞMA
YÜKSEK LİSANS TEZİ
ALİ POLAT
BALIKESİR ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
(TEZ DANIŞMANI: DR. ÖĞR. ÜYESİ BANU YAĞCI)
BALIKESİR, EYLÜL - 2020

Bu çalışma kapsamında, geosentetik donatılı duvarlar için parametrik analizler yapılmıştır. Çalışmada, Geo5 ve Plaxis olmak üzere iki ayrı yazılım kullanılarak farklı duvar yükseklikleri için, dolgu zemin sınıfında ki değişimin sonuçları araştırılmıştır. Dolgu zemini için farklı granülometri ve plastisitede zeminler belirlenmiş ve ön tasarım boyutları literatürdeki formüller ile hesaplanarak sonuçlar donatı boyu/duvar yüksekliği oranları cinsinden irdelenmiştir. Geo5 programı ile analizlerde, toptan göçme güvenlik sayılarının dolgu zemini rijitliğine ve donatı boyuna dayalı değişimleri incelenmiştir. Plaxis programı ile gerçekleştirilen analizlerde seçilen duvar tasarımlarının göçme güvenlikleri Geo5 programından elde edilen değerler ile karşılaştırılmış ve duvar deformasyonları hesaplanmıştır. Ayrıca duvardaki deformasyonlar ve göçme güvenlik sayıları üzerinde dolgu zemini parametrelerinden hangilerinin daha etkili olduğu belirlenmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Geoduvar, geosentetik, Plaxis, Geo5

Bilim Kod / Kodları : 91105, 91132 Sayfa Sayısı : 68

ABSTRACT

PARAMETRIC ANALYSIS ON GEOSYNTHETIC REINFORCED RETAINING WALL
MSC THESIS
ALI POLAT
BALIKESIR UNIVERSITY INSTITUTE OF SCIENCE
CIVIL ENGINEERING
(SUPERVISOR: ASSIST. PROF. DR. BANU YAGCI)
BALIKESİR, SEPTEMBER - 2020

In this study, parametric analyzes have been made for geosynthetic reinforced walls. Using two software, Geo5 and Plaxis, the results of changes in the filling soil class was investigated for different wall heights. Soils in different granulometry and plasticity were determined for filling. Preliminary design dimensions are calculated with the formulas in the literature and results are discussed in terms of reinforcement length/wall height. In the analysis with Geo5 program, the variations of collapse safety numbers were investigated based on the filling soil stiffness and the length of the reinforcement. In the analyzes carried out with the Plaxis program, the collapse safety numbers of the selected wall designs were compared with the values obtained from the Geo5 program and wall deformations are calculated. In addition, it was determined which of the filling soil parameters are more effective on deformations and collapse safety numbers.

KEYWORDS: Geowall, geosynthetic, Plaxis, Geo5

Science Code / Codes : 91105, 91132 Page Number : 68

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
İÇİNDEKİLER ..... **iii**
TABLO LİSTESİ ..... **vi**
SEMBOL LİSTESİ ..... **vii**
ÖNSÖZ ..... **viii**
1. GİRİŞ **1**
2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR **3**
3. GEOSENTETİK DONATILI DUVARLAR **9**
3.1 Geosentetikler 9
3.1.1 Geotekstil 10
3.1.1.1 Örgülü Geotekstil 10
3.1.1.2 Örgüsüz Geotekstil 10
3.1.2 Geogrid 11
3.1.3 Geomembran 11
3.1.4 Geokompozit 12
3.2 Geosentetik Donatılı Duvarlar 12
3.2.1 Geosentetik Donatılı Duvarların Avantaj ve Dezavantajları 14
3.2.2 Geosentetik Donatılı Duvar Elemanları 15
3.2.2.1 Ön Cephe Elemanları 15
3.2.2.2 Geosentetik Donatılar 16
3.2.2.3 Dolgu Malzemesi 17
3.2.3 Geosentetik Donatılı Duvar Tasarımı 19
3.2.3.1 Duvar Gömülme Derinliği ve Donatı Uzunluğunun Belirlenmesi 19
3.2.3.2 Genel Tasarım İlkeleri 20
3.2.3.2.1.1 İç Stabilite Hesapları 21
3.2.3.2.1.2 Dış Stabilite Hesapları 23
4. PARAMETRİK ANALİZLER **26**
4.1 Ön Tasarım Boyutlarının Belirlenmesi 27
4.2 Geo5 Programı ile Analizler 30
4.2.1 Geo5 Programı Uygulama Örneği 31
4.2.1.1 Geo5 Programı Veri Girişi 31
4.2.1.2 Geo5 Programında Tahkikler 34
4.2.2 Geo5 Programı Analiz Sonuçları 38
4.3 Plaxis Programı ile Analizler 42
4.3.1 Plaxis Programı Uygulama Örneği 45
4.3.2 Plaxis Programı Analiz Sonuçları 53
4.3.3 Plaxis Analizlerinde Ek Düzenlemeler 55
4.3.4 Plaxis Analizlerinde Dolgu Parametrelerindeki Değişimin Etkisi 56
5. SONUÇLAR **62**
6. KAYNAKLAR **65**
ÖZGEÇMİŞ **68**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 3.1: Geosentetik çeşitleri. 9
Şekil 3.2: Örgülü, örgüsüz geotekstiller. 10
Şekil 3.3: Tek eksenli, iki eksenli, üç eksenli Geogridler. 11
Şekil 3.4: Geogrid dolgu kenetlenme mekanizması. 11
Şekil 3.5: Geomembran. 12
Şekil 3.6: Geokompozit. 12
Şekil 3.7: Geosentetik donatılı istinat duvarı genel görünümü. 13
Şekil 3.8: Geosentetik donatılı istinat duvarı elemanları. 14
Şekil 3.9: Duvar ön yüz eleman şekilleri. 16
Şekil 3.10: Stabilite Tahkikleri. 20
Şekil 3.11: Donatı uzunluğu. 21
Şekil 3.12: Donatı kaplama oranı. 22
Şekil 3.13: Duvar üzerine etkiyen kuvvetler. 23
Şekil 4.1: Her bir dolgu zemini için hesaplanan S_v donatı aralıklarının duvar yüksekliğine göre değişimi. 28
Şekil 4.2: Hesaplanan L donatı boyları ve L/H oranlarının değişimi (S_v= değişken). 29
Şekil 4.3: Hesaplanan L donatı boyları ve L/H oranlarının değişimi (S_v= 0,4 m sabit). 30
Şekil 4.4: L/H oranlarının dolgu zemin sınıfına dayalı değişimi. 30
Şekil 4.5: Geo5 program uygulamaları. 31
Şekil 4.6: Geo5 proje ayarları. 31
Şekil 4.7: Geo5 programında geometrinin tanımlanması. 32
Şekil 4.8: Geo5 programında donatı türünün tanımlanması. 32
Şekil 4.9: Geo5 programında doğal zemin özelliklerinin tanımlanması. 33
Şekil 4.10: Geo5 programında dolgu zemini özelliklerinin tanımlanması. 33
Şekil 4.11: Geo5 programında duvar önü direnç parametrelerinin tanımlanması. 34
Şekil 4.12: Geo5 dış stabilite (tüm duvar için dönme ve kayma) tahkikleri. 35
Şekil 4.13: Geo5 boyutlandırma tahkikleri. 36
Şekil 4.14: Geo5 taşıma kapasitesi analizi sonuçları. 36
Şekil 4.15: Geo5 donatı boyunca kayma tahkikleri. 37
Şekil 4.16: Geo5 iç stabilite tahkikleri. 37
Şekil 4.17: Geo5 global stabilite (toptan göçme) tahkiki. 38
Şekil 4.18: L/H oranları ve toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi 41
Şekil 4.19: Zemin sınıfları ile toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi. 41
Şekil 4.20: H=15 m duvarda L/H oranlarına göre toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi. 42
Şekil 4.21: H=7 m duvar için Geo5 modeli. 43
Şekil 4.22: H=13 m duvar için Geo5 modeli. 44
Şekil 4.23: Plaxis programı doğal şev geometrisi (şev açısı: 30^o). 45
Şekil 4.24: Plaxis programı doğal şev stabilitesi. 46
Şekil 4.25: Plaxis programı kazı şev analizi (şev açısı: 55^o). 46
Şekil 4.26: Plaxis programı kazı şevi güvenlik analizi (şev açısı: 55^o). 47
Şekil 4.27: Plaxis duvar geometrik modeli (H=7 m). 48
Şekil 4.28: Geoduvarın plaxis sonlu elemanlar ağı (H=7 m). 48
Şekil 4.29: Geogrid donatılı duvar inşası (H=7 m). 49
Şekil 4.30: Geoduvar için plaxis inşaat aşamaları (H=7 m). 49

Şekil 4.31: Geoduvarın deforme olmuş sonlu elemanlar ağı (H=7 m). 50
Şekil 4.32: Geoduvarda toplam yer değiştirmeler (H=7 m)..... 50
Şekil 4.33: Geoduvarda yatay yer değiştirmeler (H=7 m). 51
Şekil 4.34: Geoduvarda düşey yer değiştirmeler (H=7 m). 51
Şekil 4.35: Geoduvar güvenlik analizi eğrisi (H=7 m). 52
Şekil 4.36: Güvenlik analizi aşamasında ölçekli deforme ağ (H=7 m). 52
Şekil 4.37: Güvenlik analizi aşamasında ölçekli toplam yer değiştirmeler (H=7 m). 53
Şekil 4.38: Geoduvar sisteminin göçme güvenlik sayıları (H=7 m). 54
Şekil 4.39: Geoduvar sisteminin göçme güvenlik sayıları (H=13 m). 54
Şekil 4.40: Duvar arkası donatılandırılan sistemin geometrik modeli (H=13 m). 55
Şekil 4.41: Geoduvar sistemlerinin göçme güvenlik sayılarının karşılaştırılması. 56
Şekil 4.42: Dolgu parametrelerindeki değişimin yanal deplasman üzerindeki etkisi 60
Şekil 4.43: Dolgu parametrelerindeki değişimin düşey deplasman üzerindeki etkisi 61

TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 3.1: Ön yüz elemanları özellikleri. 16
Tablo 3.2: Geotekstil donatı özellikleri. 17
Tablo 3.3: Geogrid donatı özellikleri. 17
Tablo 3.4: Dolgu malzemesi özellikleri..... 18
Tablo 3.5: Geotekstil donatı kullanımında zemin granülometri dağılımı. 18
Tablo 3.6: Geogrid donatı kullanımında zemin granülometri dağılımı. 19
Tablo 3.7: Minimum donatı uzunluğu hesabı. 19
Tablo 3.8: Duvar gömülme derinliğinin belirlenmesi. 20
Tablo 3.9: Azaltma katsayıları. 22
Tablo 3.10: Dolgu tiplerine göre C_i değerleri. 23
Tablo 3.11: Terzaghi taşıma gücü faktörleri..... 25
Tablo 4.1: Dolgu zemin sınıfları. 26
Tablo 4.2: Zemin parametrelerine ait değer aralıkları. 26
Tablo 4.3: Zemin parametrelerine ait ortalama değerler. 26
Tablo 4.4: Hesaplanan S_v donatı aralıkları ve L donatı boyları. 28
Tablo 4.5: Sabit donatı aralıkları için hesaplanan L donatı boyları ve L/H oranları. 29
Tablo 4.6: Geo5 programı donatı parametreleri. 38
Tablo 4.7: H=5 m duvar için Geo5 analiz sonuçları. 39
Tablo 4.8: H=7 m duvar için Geo5 analiz sonuçları. 39
Tablo 4.9: H=10 m duvar için Geo5 analiz sonuçları. 39
Tablo 4.10: H=13 m duvar için Geo5 analiz sonuçları. 40
Tablo 4.11: H=15 m duvar için Geo5 analiz sonuçları. 40
Tablo 4.12: L/H oranları ve GS-toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi. 41
Tablo 4.13: H=15 m duvar için sabit L/H oranları ile Geo5 analiz sonuçları. 42
Tablo 4.14: H=7 m duvar için Geo5 analiz sonuçları-2. 44
Tablo 4.15: H=13 m duvar için Geo5 analiz sonuçları-2. 44
Tablo 4.16: Plaxis yüzey elemanı parametreleri. 48
Tablo 4.17: Plaxis geogrid parametreleri. 48
Tablo 4.18: Plaxis analiz sonuçları (H=7 m). 53
Tablo 4.19: Plaxis analiz sonuçları (H=13 m). 54
Tablo 4.20: Duvar arkası donatılandırılmış sistemin plaxis analiz sonuçları. 55
Tablo 4.21: Geoduvar sistemlerinin deplasman miktarlarının karşılaştırılması. 56
Tablo 4.22: SC dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları. 57
Tablo 4.23: SM dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları. 57
Tablo 4.24: GC dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları. 58
Tablo 4.25: GM dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları. 58
Tablo 4.26: SP dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları. 58
Tablo 4.27: GP dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları. 59

SEMBOL LİSTESİ

B : Topuk bölgesi genişliği (m)
c : kohezyon (kN/m^2)
C_i : Zemin geogrid etkileşim oranı
C_r : Donatı kaplama oranı
D : Topuk bölgesi yüksekliği (m)
d : Kalınlık (m)
E : Deformasyon modülü (MPa)
EA : Uzama rijitliği (kN/m)
EI : Eğilme rijitliği (kNm^2/m))
FS,GS : Güvenlik sayısı
w : Kuvvet (kN)
H : İstinat duvarı yüksekliği (m)
K_a : Aktif yanal basınç katsayısı
K_p : Pasif zemin basınç katsayısı
L : Duvar uzunluğu (m)
L_e : Donatı gömülme uzunluğu (m)
L_r : Donatı rankine uzunluğu (m)
N_c, N_q : Taşıma gücü faktörleri
ϕ : İçsel sürtünme açısı (º)
S_v : Donatılar arası düşey mesafe
T_{all} : Donatı izin verilebilir gerilme direnci (kN/m)
T_{ult} : Donatı nihai gerilme direnci (kN/m)
R_{Fcr} : Sürtünme için azaltma faktörü
R_{Fid} : Yapım hasarı için azaltma faktörü
R_{Fcdb} : Biyolojik ve kimyasal bozunma için azaltma faktörü
t : Duvar servis ömrü
U_y : Düşey Deplasman (mm)
U_x : Yatay Deplasman (mm)
ν : Poisson oranı
γ : Birim hacim ağırlık (kN/m^2)
q : Trafik sürşarj yükü (kN/m)
q_{ult} : Zemin Taşıma gücü (kN/m^2)
σ_y : Düşey gerilme (kN/m)
A : İvme (m/s^2)
ψ : Dilatasyon açısı (º)
ΣM_R : Devrilmeye karşı koyan momentler toplamı (kNm)
ΣM_0 : Devrilmeye zorlayan momentler toplamı (kNm)

ÖNSÖZ

Tez konusunun seçiminde, araştırmalarımda ve çalışmanın hazırlanmasında bana destek veren, yol gösteren ve karşılaştığım her sorunda bana sabırla yardımını esirgemeyen hocam Dr. Öğr. Üyesi Banu YAĞCI' ya ayrıca hayatımın her anında yer alan bana maddi manevi her türlü destek veren sevgili eşim, hayat arkadaşım Dt. Şenay POLAT' a ve canım aileme içtenlikle teşekkürü bir borç bilirim.

Balıkesir, 2020 **Ali POLAT**

1. GİRİŞ

Geosentetiklerin filtrasyon, drenaj, zemin ayırma, yük aktarma, yalıtım vb. birçok işlevi vardır. İnşaat mühendisliğinde artan bir şekilde yol inşaatları, su yapıları, katı atık depoları, istinat duvarları gibi farklı alanlarda kullanılmakta ve kullanımı olumlu özelliklerinden dolayı hızla artmaktadır. Geosentetik donatılı istinat duvarları geleneksel istinat duvarları ve ağırlık duvarları ile kıyaslandığında, hızlı ve çabuk imal edilebilmeleri, daha ekonomik olması, hizmet ömrü süresince daha iyi performans sergilemesi ve kullanılan ön yüz elemanları vasıtasıyla doğa ile daha uyumlu olmaları gibi birçok avantajları olması sebebi ile daha çok tercih edilmeye başlanmıştır.

Literatürdeki geosentetik donatılı duvarlar ile ilgili çalışmaların büyük bir çoğunluğunu vaka analizleri bir diğer kısmını da parametrik çalışmalar oluşturmaktadır. Bu tez çalışmasının ikinci bölümünde literatürdeki bazı çalışmalar özetlenmiştir. Üçüncü bölümde geosentetik donatılı duvarlar hakkında bilgi verilmiştir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünü oluşturan parametrik analizler, üç alt bölüme ayrılmıştır. İlk kısımda 5 ile 15 m arasındaki duvar yüksekliklerinde, farklı granülometri ve plastisitedeki dolgu zeminleri için literatürdeki formüller ile Sv donatı aralıkları ve L donatı boyları (ön tasarım boyutları) hesaplanmıştır. Hesaplanan L donatı boyları, beklenildiği gibi artan duvar yüksekliği ile artmakta ve artan zemin rijitliği ile azalmaktadır. Ancak L/H oranları, artan zemin rijitliği ile azalmakta ve çalışılan zemin sınıfları için ortalama olarak 0,63 ile 0,48 arasında değişen bu oranların FHWA' ın önerisi olan L/H=0,7 değerinden düşük olduğu görülmektedir.

Parametrik çalışmaların ikinci kısmında, limit denge analizleri çalışma prensibine sahip Geo5 programı ile analizler gerçekleştirilmiştir. Analizlerde 5 farklı yükseklikteki duvar, 6 farklı dolgu zemini için sabit donatı aralıkları ile hesaplanmış olan L donatı boyları kullanılmıştır. Sonuçlar, L/H oranları ve GS-toptan göçme güvenlik sayıları cinsinden karşılaştırılmıştır. Göçme güvenlik sayıları artan dolgu zemini rijitliğine rağmen az da olsa düşüş göstermiştir. Bunun sebebi, hesaplanan L değerleri için L/H oranlarının, artan zemin rijitliği ile azalması olarak belirlenmiş ve sabit L/H=0.7 oranı için Geo5 analizleri tekrarlanarak, göçme güvenlik sayılarının artan zemin rijitliği ile az da olsa bir yükselme gösterdiği görülmüştür.

Parametrik çalışmaların üçüncü kısmında, geoteknik mühendisliği problemlerinin sayısal analizi için geliştirilmiş bir sonlu elamanlar yazılımı olan Plaxis programı kullanılmıştır. Bu aşamada iki ayrı duvar yüksekliği ve L=0.7 H sabit donatı boyu için gerçekleştirilen analizlerde, göçme güvenlik sayıları ve duvar deformasyonları belirlenmiştir. Tasarlanan geoduvar sistemleri için plaxis analizlerinin, geo5 çözümlerine oranla daha düşük güvenlikte sonuçlar verdiği görülmüş ve deformasyonların literatürdeki sınır değerleri genel olarak aştığı belirlenmiştir. Bir duvar örneği için arkası donatılandırılarak analizler tekrarlanmış, göçme güvenlik sayılarında bir miktar artış gözlenmiş ancak deplasman miktarlarında belirgin bir azalma meydana gelmemiştir. Aynı zamanda plaxis analizleri ile duvardaki deformasyonlar ve göçme güvenlik sayıları üzerinde dolgu zemini parametrelerinden hangilerinin daha etkili olduğu belirlenmeye çalışılmıştır.

2. LİTERATÜRDEKİ ÇALIŞMALAR

Güler ve Demirkan 2002 çalışmasında, temel doğal zemini farklı zemin grubu üzerine geoduvar tasarlanmıştır. Geotekstil (EI=2000 kN/m) ve geogrid (EI=1000 kN/m) donatılar uygulanarak statik, dinamik yükleme durumlarında duvar yatay deplasmanları ve donatılardaki çekme kuvvetleri Plaxis programı ile hesaplanmıştır. Donatı eksenel dayanımının artması duvardaki deplasman miktarını azaltmıştır.

Han ve Leshchinsky 2004 çalışmasında, duvar düşey eğiminin değişimiyle kritik kayma yüzeylerini karşılaştırılması, limit denge ve süreklilik mekaniği yöntemlerine göre yapılmıştır. Yapılan analizlerde limit denge yönteminin kritik kayma yüzeylerinin belirlenmesi için daha uygulanabilir bir yöntem olduğu görülmüştür.

Emir 2005 çalışmasında, zemini kum olan ve stabil olmayan bir şev için geosentetik donatılı bir istinat duvarı modeli ABD karayolları şartnamesine göre tasarlanıp plaxis programı ile analizler yapılmıştır. Tasarımda duvar için farklı sıklıklarda donatılar serilmiş ve bu donatılar arasında dolgu malzemesi olarak kumlu zemin kullanılmıştır. Tensar UX1600 (EA=1750 kN/m, Tu=59 kN/m^2), Tensar UX1700 (EA=2350 kN/m, Tu=75.1 kN/m^2) tipi donatı kullanımı ve duvar arkasına donatılı dolgu yapılmasının güvenlik sayısı ve toplam deplasman üzerindeki etkisi incelenmiştir. Donatı uzama rijitliği ve çekme dayanımının artması göçme güvenlik sayısını değiştirmemiş, toplam deplasman miktarını azaltmıştır. Duvar arkasına Tensar UX1700 kullanarak yapılan donatılı dolgu durumunda göçme güvenlik sayısı artmış, toplam deplasman miktarı azalmıştır.

İncecik, Balkaya ve Afatoğlu 2006 çalışmasında, yumuşak kil tabakası üzerine kademeli olarak inşa edilen yol dolgusunun geosentetikler ve taş kolonlarla taşıma gücü güvenliğinin arttırılması ve oluşacak oturmaların azaltılması Plaxis programı yardımı ile incelenmiştir. Zemin yüzeyine kum malzemeden oluşan bir dolgu yapılmış ve dolgu içerisine örgülü geotekstil donatılar yerleştirilmiştir. Yapılan analizlerde geotekstil kullanılması sonucunda meydana gelen oturmalar önemli miktarda azalmış, güvenlik faktörlerinde ise gözle görünür bir artış meydana gelmiştir.

Yılmaz ve Aklık 2006 çalışmasında, geosentetik donatılı duvarlar üzerine yapılmış olan çalışmaların sonuçları derlenmiştir. Bu çalışmalardan biri Krishnaswamy ve Isaac 1995

çalışmasında, üniform ince kum üzerine ara yüz sürtünme katsayısı (ϕ =38-38.5°) ve çapları (d=38-100 mm) farklı örgülü, örgüsüz geotekstil ve doğal lif (ϕ =41º) kullanılarak hazırlanan 1 veya 2 donatılı 150 adet numuneye üç eksenli basınç deneyi yapılarak sıvılaşmaya neden olan dairesel gerilme oranı saptanmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında tüm örneklerde donatı çapının artması sıvılaşmaya karşı olan direnci arttırmıştır. Aynı zamanda sürtünme katsayısı, donatı tabaka artışı da sıvılaşmaya karşı olan direnci arttırmıştır. Derlenen çalışmalardan bir diğeri Yılmaz, Eskişar ve Aklık 2005 çalışmasında, geosentetik donatılı duvarın farklı yatay deprem ivmesi kullanılarak gerçekleştirilen tasarımlarında deprem ivmesi arttıkça hesaplanan gerekli donatı miktarının da hızla arttığı ortaya çıkmıştır.

Özkol 2006 çalışmasında, şev bozulmaları gözlenen arazi Oasys slope programı kullanarak zemin ankrajı, zemin çivisi ve geoduvar uygulamaları ile teorik olarak ıslah edilmeye çalışılmıştır. Yapılan analizlerde ankrajlar, zemin çivileri gibi zemin iyileştirme yöntemleri uygulandığında toptan göçmeye karşı güvenlik sayısı yetersiz çıkmıştır. Toptan göçmeye karşı şev ön ve topuk bölgesine kohezyonsuz dolgular yapılarak yeterli güvenlik sayısına ulaşılmış ancak şev stabilitesi sağlanamamıştır. Dolgular arasında Geolon tipi donatı uygulandığında ise şev stabilitesinin sağlandığı görülmüştür.

Örnek, Demir, Yıldız ve Laman 2008 çalışmasında, yumuşak kil zemin üzerine yapılmış dairesel temelin üzerine oturacak duvar inşa edilmiştir. Bu duvarda geogrid donatı kullanılmış ve bu donatılar arasına granüler dolgu serilerek dolgu tabaka kalınlığı, ilk donatı derinliği, donatılar arası mesafe, donatı uzunluğu ve donatı sayısı değişiminin taşıma gücü üzerine etkisi Plaxis programı yardımı ile parametrik olarak incelenmiştir. İlk olarak dolgu tabakasının taşıma gücü davranışına etkisi araştırılmış, dolgu tabakası kalınlığı arttıkça taşıma gücünde artış gözlenmiştir. İlk donatı derinliğinin taşıma gücü üzerine etkisi incelendiğinde ise donatının temelden uzaklaşması ile taşıma gücünde azalmalar meydana geldiği görülmüştür. Donatılar arasındaki mesafenin taşıma gücüne etkisine bakıldığında, bu mesafenin 5 cm ye kadar olması durumunda taşıma gücünde önemli değişime neden olamamakla birlikte 5 cm' den fazla olması durumunda taşıma gücünde azalma meydana gelmiştir.

Keskin, Bildik ve Laman 2008 çalışmasında, geogrid ile güçlendirilmiş şevli zemin üzerine oturacak şerit temelin şev tepesine olacak uzaklığı, ilk donatı derinliği, donatı tabaka sayısı,

donatılar arası mesafe, geogrid donatı boyu değişiminin taşıma kapasitesi üzerine etkisi incelenmiştir. Küçük ölçekli model ve bu modelin 10 katı boyutlarında prototip üzerinde plaxis programı yardımı ile ölçek etkisine parametrik olarak bakılmıştır. İlk aşamada temelin şev tepesine olan uzaklığının artması taşıma kapasitesini arttırmıştır. İlk donatı tabakası derinliği artışının taşıma kapasitesi ilişkisine bakıldığında ise küçük model analizlerde elde edilen sonuçlar prototipe göre daha büyük çıkmıştır. Donatı boyunun artışı ile küçük model analizlerde elde edilen taşıma kapasitesi artışı prototipe göre daha büyük olduğu görülmüştür. Donatı tabakaları arası düşey derinliği artışının taşıma gücü üzerine belirgin bir etkisi görülmemiş ama model analizlerde taşıma kapasitesi artışı daha yüksek çıkmıştır.

Yardımcı 2013, çalışmasında doğal zemin üzerine iki basamaklı geogrid donatılı duvar oluşturulup donatılar arasında ise kohezyonlu (c=25 kN/m^2, ϕ =5°) ve kohezyonsuz (c =1 kN/m^2, ϕ =38°) dolgular kullanılmıştır. Duvar uzunluğu, duvarlar arasındaki mesafenin değişiminin bu dolgular için güvenlik sayısı ve yatay maksimum yer değiştirme üzerine etkisi Plaxis programı ile parametrik olarak incelenmiştir. Duvar uzunluğu ve duvarlar arası mesafe arttıkça güvenlik sayısı artmış, yatay yer değiştirme miktarı azalmıştır. Her iki dolgu kullanımı karşılaştırıldığında ise kohezyonsuz dolgu kullanımında güvenlik sayısı ve yatay maksimum yer değiştirme miktarı daha yüksek çıkmıştır. Aynı zamanda kohezyonsuz dolgu malzemesi daha kısa duvar uzunluğu ile çalışmaya imkân vermiştir.

Bilgin ve Mansour 2013 çalışmasında, metal çubuk, metal şerit, geotekstil ve geogrid gibi dört farklı donatı türü kullanımı ile tasarlanmış duvarda minimum donatı uzunluğuna dolgu/geri dolgu, donatı aralığı ve temel zemini etkisi parametrik olarak incelenmiştir. Dolgu/geri dolgu, temel için kohezyonsuz zemin kullanılmıştır. İlk olarak donatı tipi değişiminin donatı uzunluğu üzerine önemli bir etkisinin olduğu gözlenmiştir. En uzun donatı metal şerit, en kısa donatı uzunluğunun ise metal çubuk türü donatıda olduğu görülmüştür. Tüm donatı türleri için dolgu/geri dolgu birim hacim ağırlığındaki (γ_n=16-20 kN/m^2) artış ile donatı uzunluğu üzerine belirgin etkisi gözlenmemiştir. İçsel sürtünme açısındaki artış (ϕ =25-45°) ile de donatı uzunluğunda azalma meydana gelmiştir. Donatı aralığının değişiminin donatı uzunluğu üzerine belirgin bir etkisi olmamıştır. Temel zemin birim hacim ağırlığı (16-20 kN/m^2) ve içsel sürtünme açısındaki (ϕ =25-45°) artışın farklı donatı türleri için minimum donatı uzunluğu üzerine belirgin bir etkisinin olmadığı gözlenmiştir. Duvar yüksekliği ve içsel sürtünme açısı arttıkça donatı türünün değişiminin donatı uzunluğu üzerine etkisinin azaldığı gözlenmiştir.

Suliman, Mohamed, Kuo-Hsin Yang ve Wen-Yi Hung 2014 çalışmasında, kumlu zemin üzerine oturacak iki katlı prototip geoduvar oluşturulmuştur. Duvarda geotekstil donatı kullanılmış ve bu donatılar arasına dolgu zemin yerleştirilmiştir. Duvar uzunlukları ve duvarlar arası mesafelerin değiştirilmesi ile oluşacak deformasyonlar sonlu elemanlar (Plaxis), limit denge (Slide) programları yardımı ile hesaplanmıştır. Aynı zamanda prototip üzerindeki kameralar sayesinde deformasyonlar, kusurlu bölgeler izlenmiş sonlu elemanlar ve limit denge yöntemlerinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Termal kameralar verileri ile Plaxis ve slide programları vasıtası ile elde edilen sonuçlar kıyaslandığında sonlu elemanlar analizi ile daha yakın sonuçlar bulunmuştur.

Çiçek, Güler ve Yetimoğlu 2015 çalışmasında, yumuşak killer üzerine inşa edilecek dik eğimli geosentetik donatılı sev şeddenin genel stabilitesi incelenmiş, sonlu elemanlar analizleri ile donatı uzunluğu, donatı sayısı ve şev eğiminin stabiliteye etkisi parametrik olarak değerlendirilmiştir. İlk aşamada, yumuşak zemine inşa edilecek dolgunun donatı kullanılmadan inşa edilmeye çalışıldığında şevin sabit kalmadığı anlaşılmıştır. Şevin göçmesini önlemek amacıyla sedde boyunca sürekli serilecek tek yönlü geogrid donatılar kullanılmaya başlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, donatı sayısı arttıkça şevin güvenlik sayısı artmıştır. İkinci aşamada donatının sürekli serilmemesi durumunda yapılan analizler ile güvenlik sayısı ilk duruma göre çok daha düşük çıkmıştır. Üçüncü aşamada şevin eğimi azaltılmış, donatılı ve donatısız analizler yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda donatısız durumda şevin stabil olmadığı görülmüştür. Ayrıca donatı sayısının artması güvenlik sayısını arttırmış ve uzun süreli analizler sonucu çıkan güvenlik sayısı kısa süreli olana göre çok daha yüksek çıkmıştır. Şev eğiminin azalması güvenlik sayısını düşürmüş, bu azalan güvenlik sayısı donatı sayısında artışa sebep olmuştur.

Bajlan 2016 çalışmasında, kumlu bir zemine oturacak geosentetik donatılı duvarı oluşturulmuştur. Oluşturulan duvarda geogrid donatı tercih edilmiş, donatılar arasında ise kohezyonsuz dolgu kullanılmıştır. Donatı uzunluğu, donatı aralığı, donatı uzama rijitliği, duvar kalınlığı, duvar gömülme derinliğindeki değişmelerin güvenlik sayısı ve yer değiştirme üzerine etkileri plaxis yardımı ile incelenmiştir. Donatı uzunluğunun artması güvenlik sayısını arttırmıştır, yer değiştirme miktarını azaltmıştır. Donatı aralığının kısalması güvenlik sayısı üzerine belirgin etkisi olmamış, yer değiştirme miktarını azaltmıştır. Duvar ön yüz elemanının kalınlığında meydana gelecek artış güvenlik sayısına etki göstermemiş, yer değiştirme miktarını arttırmıştır. Duvarın gömülme derinliğindeki

artış güvenlik sayısını değiştirmemiştir. Donatı uzama rijitliğinin artışı (EI=5000-100000 kN/m) güvenlik sayısını etkilememiş, EI=20000 kN/m'ye kadar yer değiştirme miktarını azaltmış ama bu seviyeden sonraki artış yer değiştirme üzerine belirgin bir etkiye sebebiyet vermemiştir.

Başar 2017 çalışmasında, karma bir zemin örneğinden hazırlanmış donatısız, tek donatılı, çift donatılı, üç donatılı örneklere üç eksenli basınç deneyleri (konsolidasyonsuz, drenajsız) yapılmıştır. Gözenek açıklığı 2 mm (EI=1200 N/m), 4 mm (EI=700 N/m) olan iki farklı donatı kullanılarak deviatör gerilme (kayma gerilmesi) birim deformasyon eğrileri oluşturulmuştur. Donatı sayısı arttıkça sabit eksenel birim deformasyon değerinde oluşacak deviatör gerilme artmıştır. Donatı katmanlarının artması zeminde kırılma sonrası meydana gelecek gerilme azalmasını ciddi yavaşlatmış, zeminde süneklik artışı meydana gelmiştir. 2 mm açıklığa sahip donatının sürtünme yüzeyi fazla olduğundan taneler arası kenetlenme artmış ve daha yüksek kırılma değerleri elde edilmiştir.

Pınarlık, Öztürk, Karadoğan ve Demircan 2017 çalışmasında, şevli bir yüzey incelenmiş, şev ve dolgu zeminlerin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değişimlerinin şev stabilitesinin üzerine etkisi limit denge programı yardımı ile parametrik olarak belirlenmiştir. Daha rijit olan doğal zeminin üzerindeki şevin ilk değerlendirmede kendini taşıyamadığı ve stabil durumunu kaybedeceği anlaşılmıştır. Şevin topuk bölgesine dolgu yapılıp dolgu üzerine ise trafik yükü etkitildikten sonra şev stabilitesinin yine sağlanamadığı gözlenip geotekstil ile güçlendirilmiş ve yapılan analizlerde şev stabilitesinin sağladığı görülmüştür. Şev ve dolgu birimlerinin kohezyon değerleri arttırıldığında ise (0,5-2 kPa) güvenlik sayılarına az da olsa olumlu katkı yaptığı görülmüştür. Şev ve dolgu birimlerinin içsel sürtünme açısı (25-35°) arttırılarak yapılan analizler sonucunda güvenlik sayısına katkısı kohezyon arttırımına göre çok daha fazla olmuştur.

Kaymakçı, Gündoğdu ve Özçelik 2017 çalışmasında, vaka analizi olarak İstanbul ili Esenler ilçesinde taşıma gücü bakımından zayıf olan zemin belirli bir miktar kazılarak yüksek çekme dayanımına sahip geogridler serildikten sonra kaya dolgu yapılarak zemin güçlendirilmesi yapılmış ve sonra güçlendirilmiş zemin üzerine ön yüzü garbion olan geosentetik donatılı istinat duvarı yapılarak limit denge yöntemi ile analizi sunulmuştur. Yapılan analizlerde zemin güçlendirme çalışması ile duvar altındaki taşıma gücünde 1,5 kat artış gözlenmiştir.

Can 2017 çalışmasında, temel zemini üzerine farklı yüksekliklerde geosentetik donatılı istinat duvarları inşa edilmiş ve farklı uzunluklarda geogrid donatılar kullanılmıştır. Plaxis programı yardımıyla güvenlik sayısı, oturma miktarı, yanal deplasman incelemesi yapılmıştır. Yapılan analizlerde duvar yüksekliği arttırıldığında oturma miktarı, duvardaki yanal deplasman ve beklenenin aksine güvenlik sayısında artış meydana gelmiştir. Temel zeminin elastisitesi arttırıldığında temeldeki oturma, yanal deplasman ve beklenenin dışında güvenlik sayısının azaldığı fakat gerilmelerin arttığı gözlenmiştir. Dolgunun içsel sürtünme açısı arttırıldığında ise oturma miktarı, duvardaki yanal deplasmanın beklenmeyen şekilde güvenlik sayısında azalma meydana gelmiştir. Aynı zamanda temel zeminin içsel sürtünme açısı artarsa oturma miktarı ve güvenlik sayısı artarken yanal deplasmanda azalma olmuştur. Dolgunun elastisitesi artması durumunda oturma miktarı, yanal deplasman ve beklenmeyen şekilde güvenlik sayısında azalma olduğu gözlemlenmiştir.

3. GEOSENTETİK DONATILI DUVARLAR

3.1 Geosentetikler

Geosentetikler insan yapımı çeşitli sentetiklerin geoteknik çalışmasında kullanımı şeklinde tanımlanabilir. Sentetik maddeler kauçuk fiberglass ve lastik gibi plastik malzemelerden yapılan maddelerdir (Selek, 2011). Son otuz yıldan bugüne geosentetikler dünya çapında inşaat mühendisliğinin çeşitli alanlarında başarılı bir şekilde kullanılmakta ve şimdilerde iyi bilinen bir yapı malzemesidir. Geosentetikler özellikle istinat duvarları, şevler gibi çoğu inşaat mühendisliği uygulamalarına alternatif olarak çok daha uygun ekonomik çözümler sunmaktadır. Güçlendirme fonksiyonu olarak geosentetik kullanımı beton da kullanılan çelik donatı ile birçok benzerliğe sahiptir. Her iki durumda da sıkışan özelliğe (zemin, beton) sahip materyaller, iyi derecede çekme gerilmesi direncine sahip malzemeler (geosentetik, çelik) ile birleştirilerek yeterli derecede basınç ve çekme gerilmesi direncine sahip bir yapı oluşturmaktır (Astarcı, 2008). Geosentetikler Şekil 3.1' de görüleceği gibi geotekstil, geogrid, geomembran, geokomposit vb olarak sınıflandırılabilir.

Şekil 3.1: Geosentetik çeşitleri.

3.1.1 Geotekstil

Geotekstiller zeminin performansını yükseltmek ve stabilize etmek için sentetik materyallerin ince, esnek, geçirgen hale getirilmesidir. Tasarım ve uygulamalar ile geotekstiller filtrasyon, drenaj, zemini ayırma ve donatı gibi işlevsellikler kazanır. Geotekstiller geosentetiklerin son 30 yıldan bugüne en büyük gruplarındandır. Geotekstiller sadece geleneksel ipek, pamuk, yün gibi tekstil ürünlerinden ziyade sentetik fiberlerden meydana gelir. Geotekstiller Şekil 3.2' de görüleceği üzere mühendislik fonksiyonu polimer bileşeni, üretim tekniği açısından örgülü (wowen) ve örgüsüz (nonwowen) geotekstiller diye iki alt gruba ayrılabilir.

Şekil 3.2: Örgülü, örgüsüz geotekstiller.

3.1.1.1 Örgülü Geotekstil

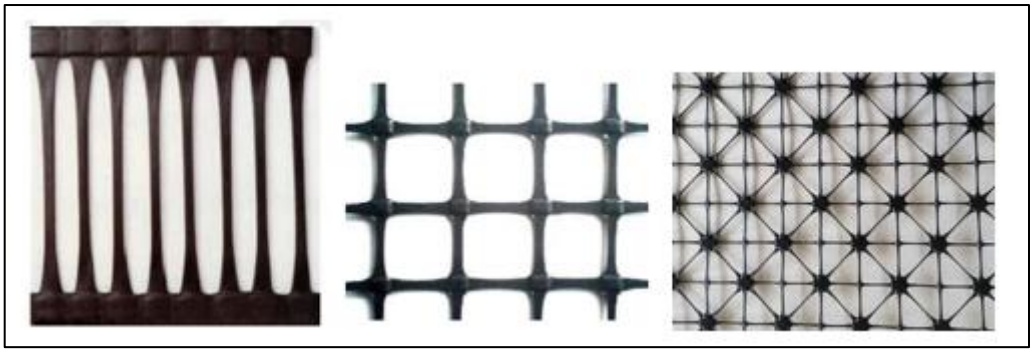
Örgülü geotekstiller tıpkı dokunmuş kumaş olan malzemelerdir. Örgülü geotekstiller, iplikçiklerin biri üretim yönünde, diğeri buna dik doğrultuda uzanması ile değişik şekillerde örülmesi gibi imal edilir (Özkol, 2006). Mukavemeti yüksek olması sebebi ile yükü dağıtma, takviye, zemini ayırma gibi fonksiyonlara sahiptir. İplikçiklerin örüm tekniği ve genişlik faklılıklarına göre tek filamentli, çok flamentli, şerit esaslı ve kesikli film gibi gruplara ayırmak mümkündür.

3.1.1.2 Örgüsüz Geotekstil

Örgüsüz geotekstiller mekanik (iğneleme), termal (ısıl), ve kimyasal yöntemler ile örülmeden keçe haline getirilmesi ile imal edilen malzemelerdir. Bu malzemelerin mukavemeti elyafların birbirine içine karışması ve ısıl işlemler yardımı ile meydana gelir (Özkol, 2006). Örgüsüz geotekstiller filtrasyon, drenaj ve bitüm ile emdirilmesi ile izolasyon işlerinde kullanılmaktadır (Emir, 2005). Sınıflandırılması mekanik, termik (ısı yoluyla), kimyasal bağlama gibi üretim metotlarına göre yapılmaktadır.

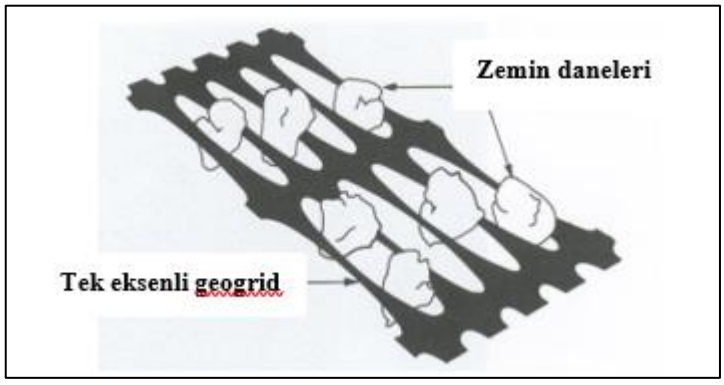
3.1.2 Geogrid

Geogridler bağlanma ve sürtünme mekanizması yardımı ile zemine çekme gerilmesi veren geniş açıklıklı gridlerdir. Dolgu için kullanılan granüler zeminler geogridin bu sürtünme mekanizmasını arttırmak için kullanılır, ayrıca geogridler zemin yatay drenajına yardımcı olur. Geogridler bir, iki veya üç yönlü imal edilebilir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3: Tek eksenli, iki eksenli, üç eksenli Geogridler.

Geogrid türünün seçimi kuvvet aktarma şekline göre değişir. Yol inşaatlarında tek eksenli Geogridler kullanılabilirken, geosentetik donatılı istinat duvarlarında ise iki eksenli ve üç eksenli Geogridler kullanılabilmektedir. Geogridlerin anahtar özelliği Şekil 3.4' de gösterildiği gibi zemin parçacıklarının çevrelenmesi ile yeteri kadar kenetlenme yaptıracak açıklıktır (Astarcı, 2008).



Şekil 3.4: Geogrid dolgu kenetlenme mekanizması.

3.1.3 Geomembran

Geomembranlar Şekil 3.5' de gösterildiği gibi yalıtım amacıyla geniş alanlara uygulanan her iki yönde de sürekli çalışan geosentetiklerdir. Yalıtım amacı ile kullanıldıkları yerde uzun süre kullanılacakları için her türlü zorlanma durumunda kullanımını devam ettirmek zorundadırlar. Bundan dolayı genellikle yüksek yoğunluklu polietilen maddesinden

üretilirler. Geomembranlar su yapıları ve atık depolama sahalarında kullanılabilmektedirler (Astarcı, 2008). Geomembranlar geniş yüzeylerde sürekli çalışan elemanlar olduklarından birleştirme noktaları kaynak işlemi veya imalat şekline bağlı olarak yapıştırma ile de yapılabilmektedir (Özkol, 2006).

Şekil 3.5: Geomembran.

3.1.4 Geokompozit

Geokompozitler Şekil 3.6' da gösterildiği gibi geosentetik ürünlerinin bir arada kullanılması ile birden fazla fonksiyonu yerine getirerek daha fazla probleme bir arada çözüm sunabilme imkânı vermektedir.

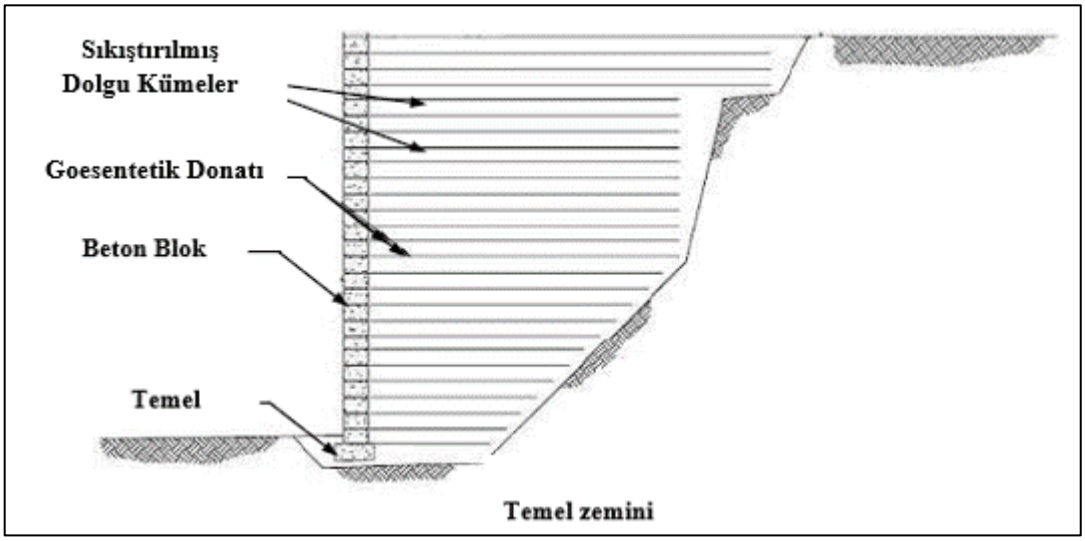
Şekil 3.6: Geokompozit.

3.2 Geosentetik Donatılı Duvarlar

Geosentetik donatılı istinat duvarı genel anlamda geosentetik ile güçlendirilmiş istinat duvarı diye adlandırılabilir. Geosentetik ile zeminin birleşimi beton ve çeliğin birleşimi ile benzer bir birleşime sahiptir. Geosentetikler düşük basınç gerilmesine sahip olmasına rağmen büyük çekme gerilmelerine karşı koyabilmektedirler. Buna karşın zemin basınç

gerilmelerine dayanımı geosentetik donatılardan çok daha yüksektir. Zemin materyali diğer yandan geosentetik donatıya göre daha ucuz ve büyük miktarlarda bulunabilir malzemelerdir. Tüm bunlar bir arada düşünüldüğünde, bu iki maddenin bir arada kullanılması oluşacak zayıflıkları güçlendirerek oluşacak yapının özelliklerini geliştirecektir (Karaoğlan, 2014).

Genel görünümü Şekil 3.8' de gösterilen Geosentetik donatılı istinat duvarı öncelikle temel betonu imal edilmesi ile başlanır, temel üzerine ön yüz elemanın monte edildikten sonra dolgu malzemesi serilip sıkıştırılır. Dolgu malzemesi Şekil 3.7' de görüldüğü gibi serildikten sonra geosentetik duvar uzunluğunca serilir ve bu işlemler istenilen duvar uzunluğuna ulaşıncaya dek tekrarlanır.



Şekil 3.7: Geosentetik donatılı istinat duvarı genel görünümü.

Şekil 3.8: Geosentetik donatılı istinat duvarı elemanları.

3.2.1 Geosentetik Donatılı Duvarların Avantaj ve Dezavantajları

Geosentetik donatılı istinat duvarlarını geleneksel istinat duvarları ile ağırlık duvarları ile karşılaştırdığımızda birçok avantaja sahiptir. Bunlardan bazılarını sayacak olursak:

- Geosentetik donatılı istinat duvarının imalatı hızlı ve basit imal edilebilmektedir.
- Duvar imal edilirken kalifiye elemanlara gerektirmez. Yapımı diğer istinat duvarlarına göre daha basittir.
- Duvar yapımı için diğer alternatiflerine göre daha alan gerektirir.
- Geosentetik donatılı istinat duvarı rijitlik gerektirmediğinden deformasyona toleranslıdır. En büyük avantajlarından biride zayıf temel koşullarında bile deformasyonu emmesi, rijitliği ve esneyebilirliğidir.
- Üretim materyali maliyetlerinin düşük olması, hızlı inşa edilmesi ve farklı üreticiler arasındaki rekabetten dolayı maliyeti alternatif türlerine göre daha düşüktür.
- Değişik şekillerde ve biçimlerde ön yüz elemanları imal edilip uygulanabilirliği geosentetik donatılı istinat duvarına estetik ve doğa ile uyumlu görünüş verilmesini sağlar (Elias vd. 2001).

Her yapıda olabileceği gibi Geosentetik donatılı istinat duvarı aynı zamanda bazı dezavantajlara da sahiptir. Bunlar:

- İç ve dış stabiliteyi sağlamak için göreceli olarak daha büyük duvar arkası genişliğine ihtiyaç vardır.
- Granüler dolgu malzeme geosentetik donatılı duvar için belirli kriterler içerdiğinden içerdiğinden doğal zeminin bunu karşılayamaması durumunda uygun dolgu malzemesini getirmek maliyeti fazlalaştıracaktır.
- Bu tür yapılar için şartname ve uygulama yönetmelikleri halen tam anlamı ile standartlaşmamıştır.
- Geosentetik donatıyı korozyondan korumak için donatılı duvarı kriterlere uygun bir şekilde tasarım tapılması gerekmektedir. Ayrıca ultraviyole ışınları, tabandaki polimer donatının potansiyel yozlaşmadan korunmalı ve yüzey elemanları ile temas ettiği noktaların bozunması önlenmelidir (Elias vd. 2001).

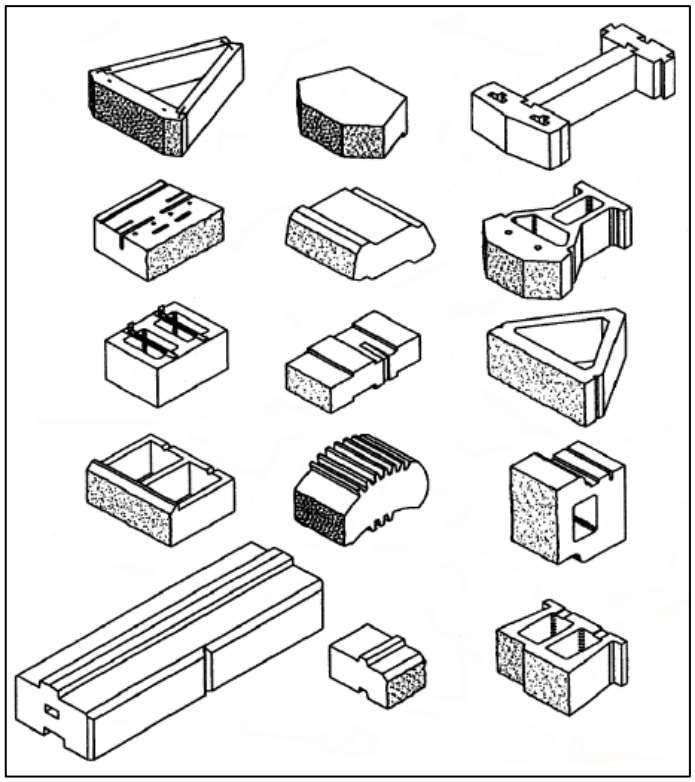
3.2.2 Geosentetik Donatılı Duvar Elemanları

3.2.2.1 Ön Cephe Elemanları

Ön cephe elemanlarının geosentetik donatılı istinat duvarlarında kullanımı için herhangi bir standart şekli yoktur. Şekil 3.9 da görüleceği gibi çeşitli şekil ve boyutlarda ön cephe elemanları üretmek mümkündür. Bu ön cephe elemanlarının geoduvarda kullanımı başlıca iki sebepten ötürüdür:

- Duvarın ön yüzündeki toprağın dökülmesini önlemek.
- Farklı tipte ön yüz elemanları kullanarak duvara estetik bir görüntü oluşturulması (Güler, 2006).

Ön yüz elemanları donatı ile birleştiği, dolguyu geride tuttuğu sürece Tablo 3.1’ de gösterilen tasarım kriterlerine uygun bir biçimde ister rijit ister esnek olarak seçilebilir. Betonarme paneller rijit, modüler bloklar ise esnek ön yüz elemanlarına örnek olarak verilebilir (Karaoğlan, 2014). Ön cephe elemanları kullanım ömrü boyunca atmosfer şartlarına maruz kalacağı için bu elemanların durabilite özelliklerinin de mutlaka incelenmesi gereklidir.



Şekil 3.9: Duvar ön yüz eleman şekilleri.

Tablo 3.1: Ön yüz elemanları özellikleri.

Özellik	Değer
Bloğun yapımında kullanılan beton sınıfı	BS30
Bloğun minimum basınç dayanımı	16 Mpa
Su emme (ağırlıkça)	% 6-8
Bloklar arası minimum sürtünme direnci	0,5

3.2.2.2 Geosentetik Donatılar

Geosentetik donatılı istinat duvarlarında metal, polimer donatılar kullanılmayıp bütün alanı kaplayan geosentetik donatı kullanılarak hem noktasal zayıflıkların sebep olacağı problemleri minimuma indirilmekte hem de sürtünme yüzeyi arttırılmaktadır. Donatının sürekli olup ön yüz elemanı ile bağlantısının sürtünme ile sağlandığı için noktasal bağlantıya gerek kalmayacak ve noktasal bağlantının neden olacağı riskini de ortadan kaldıracaktır (Güler, 2006). Tablo 3.2 ve Tablo 3.3' de kullanılacak donatıların özellikleri verilmiştir.

Tablo 3.2: Geotekstil donatı özellikleri.

Özellik	Değer
Üretim yöntemi	Örgülü
Minimum birim alan ağırlığı (DIN-EN-965)	190 g/m^2
Minimum çekme mukavemeti (DIN-EN-ISO 10319)	40 kN/m
Örgü yönünde % 5 deformasyon altında minimum çekme kuvveti (DIN-EN-ISO 10319)	18 kN/m
Maksimum çekme kuvveti altında çözgü ve örgü yönünde maksimum deformasyon (DIN-EN-ISO 10319)	%22
Minimum CBR statik delme deneyi (DIN-EN-ISO 12237)	4 kN
Minimum permabilite (EN ISO 11058)	1x10^{-3} m/s
Maksimum karakteristik açıklık büyüklüğü (EN ISO 12956)	250 micron
500 saat sonunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum ultraviyole dayanımı (ASTM-D-43 55)	%80
Mikrobiyolojik degradasyon sonucunda çekme mukavemetinin %'si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12225)	%80

Tablo 3.3: Geogrid donatı özellikleri.

Özellik	Değer
Maksimum çekme dayanımı, her iki doğrultuda (EN ISO 10319)	40 kN/m
Kopmada minimum uzama, her iki doğrultuda (EN ISO 10319	10%
Atmosfer koşullarında degradasyon sonucunda çekme mukavemetinin %' si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12224)	%85
Asit ve Alkali (H_2SO_4, Ca $(OH)_2$) ortamlarda çekme mukavemetinin %' si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 14030)	%99
Mikrobiyolojik degradasyon sonucunda çekme mukavemetinin %' si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12225)	%95
Hidroliz sonucunda çekme mukavemetinin %' si cinsinden minimum çekme dayanımı (EN 12447)	%99

3.2.2.3 Dolgu Malzemesi

Dolgu malzemesinin kalitesi geosentetik donatılı duvar üzerinde hayati bir etkiye sahiptir. Amerikan Karayolları Şartnamesine göre geosentetik donatılı duvar için kullanılacak dolgu malzemesinin durabilite, inşa edilebilirlik, donatılı zemin tabakaları arasındaki bağlantı için iyi bir gradasyona sahip olması gerektiğini söylemektedir. Geosentetik donatılı istinat duvarları, donatı ve dolgu tabakaları arasındaki sürtünmeye bağlı olarak çalıştığı için yüksek

sürtünme özelliğine sahip dolgu malzemesi seçilmelidir (İçöz, 2014). Dolgu malzemesi seçiminde aşağıda verilen kriterler göz önünde tutulmalıdır;

- İçsel sürtünme açısı doğal zeminin içsel sürtünme açısından büyük, dolgu donatı etkileşim sağlayacak büyüklükte seçilmelidir.
- Maksimum tane büyüklüğü kompaksiyon veya donatıların yerini olumsuz bir şekilde etkilememesi için çok büyük olmamalıdır.
- Nem oranı kompaksiyon sırasında zorluk yaşanmaması için sınırlandırılmalıdır.
- Aşırı miktarda aşınma yapmamalıdır.
- Bitkisel toprak, organik maddeler, killi marnlı zeminler, artık maddeler ve ağırlıkça %20'den fazla jips bulunmamalıdır. Ayrıca dolgu malzemesinin sahip olması gereken özellikleri Tablo 3.4' de verilmiştir.

Tablo 3.4: Dolgu malzemesi özellikleri.

Özellik	Değer
Likit Limit (TS 1900, AASHTO T-89)	≤ 50
Plastik Limit (PI)	≤ 20
Maksimum Kuru Birim Ağırlık (Standart Proktor)	≥ 17 kN/m^3

Kullanılacak dolgunun granümetri özellikleri Tablo 5 ve Tablo 6' da gösterildiği gibi donatının türüne göre farklılık göstermektedir. Hangi donatı türünde kullanılırsa kullanılsın maksimum tane çapı büyüklüğü serilen toprak tabakasının kalınlığının yarısından fazla olmamalıdır (Güler, 2006).

Tablo 3.5: Geotekstil donatı kullanımında zeminin granülometri dağılımı.

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

Tablo 3.6: Geogrid donatı kullanımında zeminin granülometri dağılımı.

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

3.2.3 Geosentetik Donatılı Duvar Tasarımı

3.2.3.1 Duvar Gömülme Derinliği ve Donatı Uzunluğunun Belirlenmesi

Minimum donatı uzunlukları Tablo 3.7' de gösterildiği gibi yükleme durumu esas alınarak bulunabilir. Her ne durumda olursa olsun donatı uzunluğu 2,5 m den büyük olmalıdır (FHWA). 2.5 m taşıma aletlerinin üzerinde kullanılan kompaksiyon ekipmanlarının kullanımı için tavsiye edilir. Eğer küçük kompaksiyon ekipmanları kullanılacak ve duvar tasarım ihtiyaç şartları karşılanacak ise 2,5 m yerine 1,8 m de düşünülebilir.

Tablo 3.7: Minimum donatı uzunluğu hesabı.

Durum	Minimum L/H Oranları
Statik veya Trafik Sürşarj Yüklemesi	0.7
Eğimli Geri Dolgu Yüklemesi	0.8
Sismik Yükleme	0.8-1.1

Genellikle donatı uzunluğu bütün duvar uzunluğu boyunca üniform olmalıdır. Duvar temelinde donatı uzunluğunun kısa olduğu yapılar, duvarın tepe noktasında donatı tabakalarının daha uzun kullanıldıkları özel yapı tipleri istisna olarak donatı uzunluğu yapı boyunca üniform değildir. Duvar gömülme derinliği taşıma kapasitesi, oturma ve şev stabilitesi için oluşturulmaktadır. Duvar gömülme derinliği Tablo 3.8'de verildiği gibi her ne olursa minimum 2 ft (0,6 m) olmalıdır. Taban betonu 20-40 cm kalınlığında, 40 cm genişliğinde imal edilebilir (Güler, 2006).

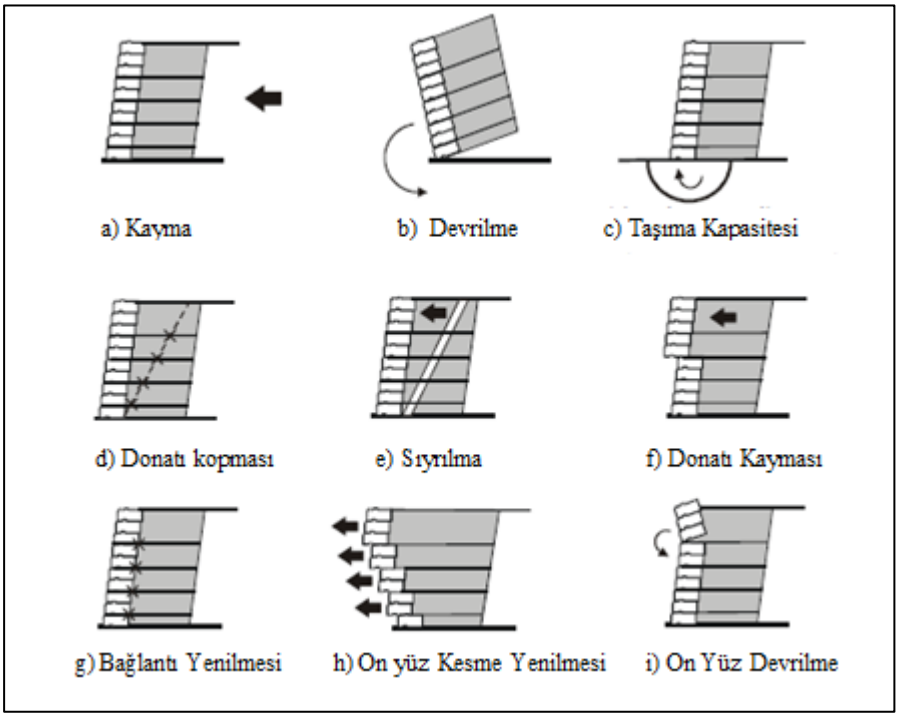
Tablo 3.8: Duvar gömülme derinliğinin belirlenmesi.

Duvar Önündeki Eğim	Temel Ayağının Minimum Gömülme Derinliği
Tüm Durumlarda	0,6 m Minimum
Yatay (Duvar)	H/20
Yatay (köprü ayağı)	H/10
3H:1V	H/10
1H:1V	H/7
1.5H:1V	H/5

3.2.3.2 Genel Tasarım İlkeleri

Donatılı istinat duvarlarının tasarım ilkelerini genel olarak, iç stabilite gereksinimlerinin karşılanması ve duvarın dış stabilite kontrolü diye iki sınıfa ayrılabilir. Şekil 3.10' da karşılanması gereken stabilite tahkikleri gösterilmiştir.

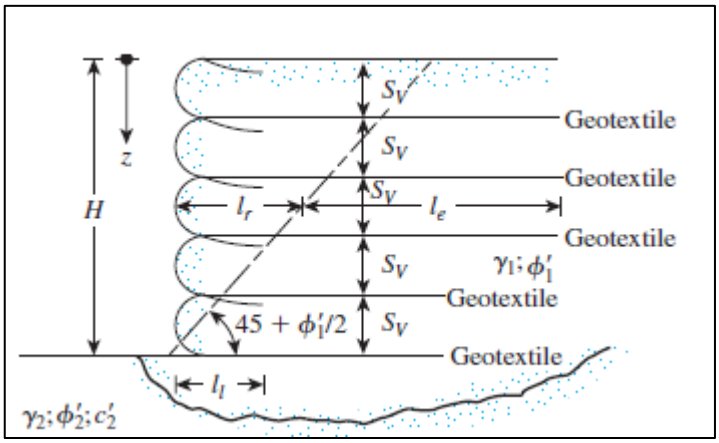
İç stabilite kontrolü ön yüz elemanlarının bütünlüğünün anlaşılması, donatının çekme ve gerilme dirençlerinin belirlenmesin içerir. Dış stabilite kontrolleri duvarın kayma, devrilme, taşıma gücü ve toptan göçme yenilmesini içerir (Das, 2011).



Şekil 3.10: Stabilite Tahkikleri.

3.2.3.2.1.1 İç Stabilite Hesapları

Şekil 3.11' de verilen iç stabilite hesapları için gerekli geosentetik donatılı duvarda donatı uzunluğu, gömülme uzunluğu (l_e) ile Rankine uzunlukları (l_r) toplamıdır. Donatılar arası mesafe ise S_v ile gösterilmiştir (Das, 2011).



Şekil 3.11: Donatı uzunluğu.

Adım 1: Öncelikle aktif toprak basıncı belirlenir.

$$\sigma'_a = K_a \sigma'_0 = K_a \gamma_1 z \tag{3.1}$$

K_a = Aktif Rankine toprak basıncı =tan^2 (45- ϕ_1/2)

γ_1 = Granüler dolgunun birim hacim ağırlığı

ϕ_1 = Granüler dolgunun içsel sürtünme açısı

Adım 2: İzin verilebilir gerilme direnci (T_{all}), donatı nihai gerilme direncinin (T_{ult}) azaltma faktör katsayılarına bölünmesi ile bulunur. Donatı için izin verilebilir gerilme direnci aşağıdaki şekilde hesaplanabilir (Koerner, 2005).

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF_{id} \times RF_{cr} \times RF_{cbd}} \tag{3.2}$$

T_{ult} =Geogrid donatı nihai gerilme direnci

RF_{id} = Yapım hasarı için azaltma faktörü

RF_{cr} = Sürtünme için azaltma faktörü

RF_{cdb} = biyolojik ve kimyasal bozunma için azaltma faktörü

Tavsiye edilen azaltma değerleri Tablo 3.9'da gösterilmiştir (Koerner, 2005).

Tablo 3.9: Azaltma katsayıları.

RF_{id}	1.1-1.4
RF_{cr}	2-3
RF_{cdb}	1.1-1.5

Adım 3. Herhangi bir z derinliğinde donatı tabakaları arasındaki mesafenin belirlenmesi:

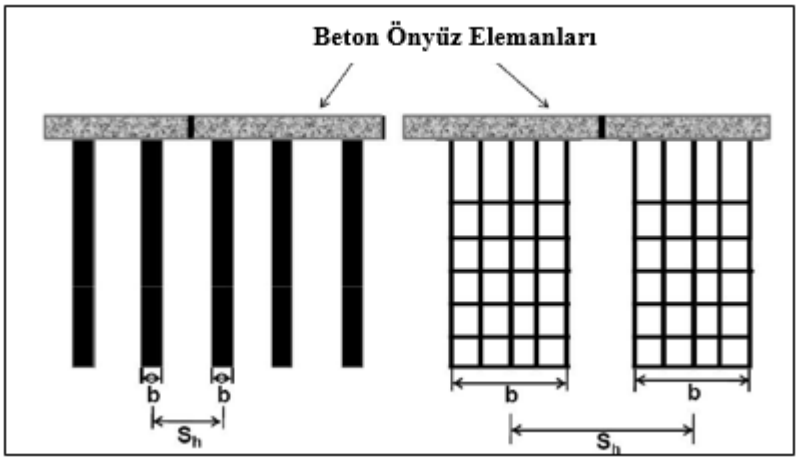
$$S_v = \frac{T_{all}\, C_r}{\sigma'_a FS_{(B)}} = \frac{T_{all}\, C_r}{(\gamma_1 H K_a)(FS_{(B)})} \tag{3.3}$$

$FS_{(B)}$ = Bağ kopmasına karşı güvenlik sayısı 1,5 alınır.

C_r = Geogrid için kaplama oranı (Şekil 3.12) hesaplanması:

$$C_r = \frac{b}{S_h} \tag{3.4}$$

Sürekli donatılarda kaplama oranı 1 olmaktadır.



Şekil 3.12: Donatı kaplama oranı.

Adım 4: Geogrid donatı uzunluğu Şekil 3.11 referans alınarak şu şekilde belirlenir:

$$L = l_r + l_e \tag{3.5}$$

$$l_r = \frac{H - z}{\tan\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)} \tag{3.6}$$

$$l_e = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{2 C_r C_i tan\phi} \tag{3.7}$$

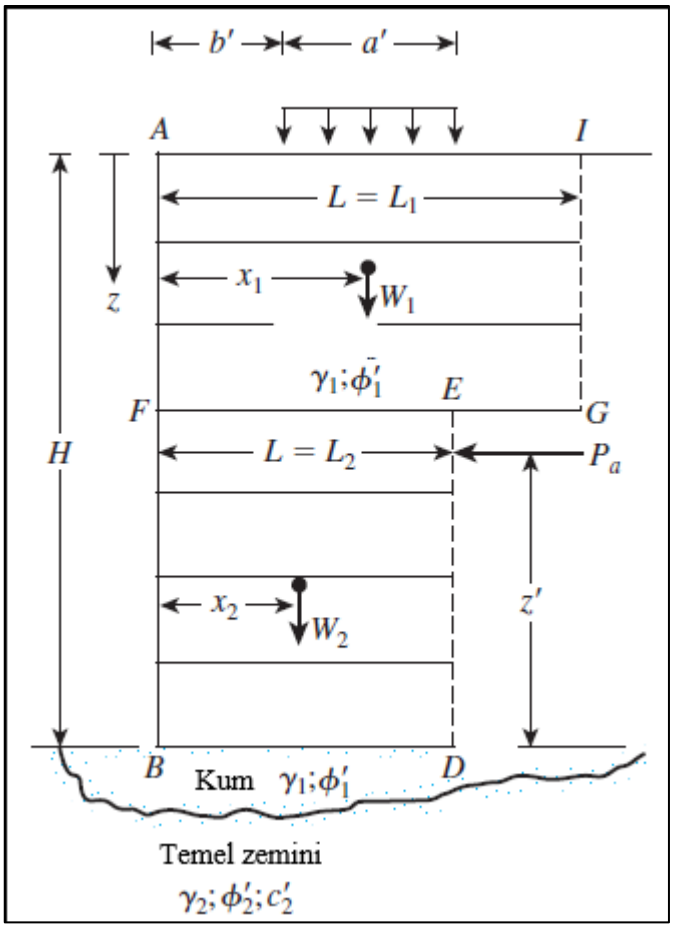
C_i = zemin geogrid etkileşim oranı, laboratuvar deney sonuçlarına göre belirlenebilir. Tablo 3.10'da dolgu tiplerine göre yaklaşık C_i değerleri gösterilmiştir.

Tablo 3.10: Dolgu tiplerine göre C_i değerleri.

Dolgu Türü	C_i
Çakıl, Kumlu Çakıl	0.75-0.8
İyi Derecelendirilmiş Kum, Çakıllı Kum	0.6–0.75
İyi Derecelendirilmiş Kum, Siltli Kum	0.55-0.6

3.2.3.2.1.2 Dış Stabilite Hesapları

Adım 1: Devrilme kontrolü, Şekil 3.13 rehberliğinde yaklaşık B noktasına göre duvarı devirmeye çalışan momentler hesaplanır.



Şekil 3.13: Duvar üzerine etkiyen kuvvetler.

$$M_0 = P_a z' \tag{3.8}$$

$$P_a = Aktif\ güç = \int_0^H \sigma'_a dz \tag{3.9}$$

Duvarın uzunluk boyunca devrilmesine karşı koyan momentler hesaplanır.

$$M_R = W_1 x_1 + W_2 x_2 + \cdots + qa'\left(b' + \frac{a'}{2}\right) \tag{3.10}$$

W_1 = (alan AFEGI) (1) (γ_1)

W_1 = (alan FBDE) (1) (γ_2)

$$FS_{(devrilme)} = \frac{M_R}{M_0} = \frac{W_1 x_1 + W_2 x_2 + \cdots + qa'\left(b' + \frac{a'}{2}\right)}{\left(\int_0^H \sigma'_a dz\right) z'} \tag{3.11}$$

Adım 2. Kayma kontrolü formül 3.11 kullanılarak yapılır.

$$FS_{(kayma)} = \frac{(W_1 + W_1 + \cdots + qa')[\tan(k\phi'_1]}{P_a} \tag{3.12}$$

$k \cong 2/3$ alınabilir.

Adım 3: Taşıma gücü yenilmesi kontrolü için öncelikle zeminin taşıma gücü hesaplanır.

$$q_{ult} = c'_2 N_c + \frac{1}{2}\gamma_2 L_2 N_y \tag{3.13}$$

Taşıma gücü faktörleri N_c ve N_q içsel sürtünme açısına bağlı olarak Tablo 3.11' den alınarak işlemlere katılır.

Taşıma gücü yenilmesine karşı güvenlik faktörü şu şekilde hesaplanabilir:

$$FS_{(taşıma\ gücü)} = \frac{q_{ult}}{\sigma'_{0(H)}} \tag{3.14}$$

Genellikle, minimum güvenlik sayısı faktörleri devrilme, kayma, taşıma gücü yenilmesi için 3 alınması tavsiye edilir.

Tablo 3.11: Terzaghi taşıma gücü faktörleri.

ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ	ϕ'	N'_c	N'_q	N'_γ
0	5.70	1.00	0.00	26	15.53	6.05	2.59
1	5.90	1.07	0.005	27	16.30	6.54	2.88
2	6.10	1.14	0.02	28	17.13	7.07	3.29
3	6.30	1.22	0.04	29	18.03	7.66	3.76
4	6.51	1.30	0.055	30	18.99	8.31	4.39
5	6.74	1.39	0.074	31	20.03	9.03	4.83
6	6.97	1.49	0.10	32	21.16	9.82	5.51
7	7.22	1.59	0.128	33	22.39	10.69	6.32
8	7.47	1.70	0.16	34	23.72	11.67	7.22
9	7.74	1.82	0.20	35	25.18	12.75	8.35
10	8.02	1.94	0.24	36	26.77	13.97	9.41
11	8.32	2.08	0.30	37	28.51	15.32	10.90
12	8.63	2.22	0.35	38	30.43	16.85	12.75
13	8.96	2.38	0.42	39	32.53	18.56	14.71
14	9.31	2.55	0.48	40	34.87	20.50	17.22
15	9.67	2.73	0.57	41	37.45	22.70	19.75
16	10.06	2.92	0.67	42	40.33	25.21	22.50
17	10.47	3.13	0.76	43	43.54	28.06	26.25
18	10.90	3.36	0.88	44	47.13	31.34	30.40
19	11.36	3.61	1.03	45	51.17	35.11	36.00
20	11.85	3.88	1.12	46	55.73	39.48	41.70
21	12.37	4.17	1.35	47	60.91	44.45	49.30
22	12.92	4.48	1.55	48	66.80	50.46	59.25
23	13.51	4.82	1.74	49	73.55	57.41	71.45
24	14.14	5.20	1.97	50	81.31	65.60	85.75
25	14.80	5.60	2.25				

4. PARAMETRİK ANALİZLER

Bu çalışmada Geo5 ve Plaxis olmak üzere iki ayrı yazılım ile farklı H duvar yükseklikleri için, dolgu zemin sınıfındaki değişimin sonuçları incelenmiştir. Dolgu zemini için 6 farklı granülometri ve plastisitede zemin belirlenmiş (Tablo 4.1) ve parametreler Geo5 programının veri tabanından alınmıştır (Tablo 4.2, 4.3). Doğal zemin sert kıvama sahip kumlu kil bir zemin olarak varsayılmıştır.

Tablo 4.1: Dolgu zemin sınıfları.

Elekten Geçen Yüzdeler		Zemin Sınıfı
Elek no 4	Elek no 200	
100	2	SP
100	35	SM
100	35	SC
20	2	GP
35	35	GM
35	35	GC

Tablo 4.2: Zemin parametrelerine ait değer aralıkları.

	Zemin sınıfı	Kohezyon c' (kN/m^2)	İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	Elastisite Modülü E' (MPa)	Birim Hacim Ağırlık $\gamma_{unsat} = \gamma_{sat}$ (kN/m^3)	Poisson Oranı ν'
Doğal zemin	Kumlu Kil - sert	10-18	22-27	4-6	18,5	0,35
Dolgu zemini	SC - sıkı	4-12	26-28	4-12	18,5	0,35
	SM - sıkı	0-10	28-30	5-15	18	0,30
	GC - sıkı	2-10	28-32	40-60	19,5	0,30
	GM - sıkı	0-8	30-35	60-80	19	0,30
	SP - sıkı	-	34-37	30-50	18,5	0,28
	GP - sıkı	-	36-41	170-250	20	0,20

Tablo 4.3: Zemin parametrelerine ait ortalama değerler.

	Zemin sınıfı	Kohezyon c' (kN/m^2)	İçsel Sürtünme Açısı ϕ' (°)	Elastisite Modülü E' (kPa)	Birim Hacim Ağırlık $\gamma_{unsat} = \gamma_{sat}$ (kN/m^3)	Poisson Oranı ν'
Doğal zemin	Kumlu Kil - sert	14	24	5000	18,5	0,35
Dolgu zemin	SC - sıkı	8	27	8000	18,5	0,35
	SM - sıkı	5	29	10.000	18	0,30
	GC - sıkı	6	30	50.000	19,5	0,30

Tablo 4.3 (devam)

	Zemin sınıfı	Kohezyon	İçsel Sürtünme Açısı	Elastisite Modülü	Birim Hacim Ağırlık	Poisson Oranı
		c'	ϕ'	E'	$\gamma_{unsat} = \gamma_{sat}$	ν'
		(kN/m^2)	(˚)	(kPa)	(kN/m^3)	
Dolgu zemin	GM - sıkı	4	32	70.000	19	0,30
	SP - sıkı	-	35	40.000	18,5	0,28
	GP - sıkı	-	38	210.000	20	0,20

4.1 Ön Tasarım Boyutlarının Belirlenmesi

Farklı H duvar yükseklikleri (5 m, 7 m, 10 m, 13 m, 15 m) ve her bir dolgu zemin sınıfı için literatürdeki formüller ile S_v donatı aralıkları ve L donatı boyları hesaplanmıştır. Donatı olarak Geo5 veri tabanından Tensar 160RE geogrid türü donatı (T_{ult}= 173 kN/m) seçilmiştir. Örnek olarak 5 m duvar yüksekliği için, SC (ϕ =27º, γ=18.5 kN/m^3, C_i=0.55) dolgu kullanıldığında donatı aralığı S_v;

$$T_{all} = \frac{T_{ult}}{RF_{id} \times RF_{cr} \times RF_{cbd}} = \frac{173}{1{,}25x2{,}5x1{,}3} = 42{,}58\ kN/m$$

$$S_v = \frac{T_{all} C_r}{\sigma'_a FS_{(B)}} = \frac{T_{all}\ C_r}{(\gamma_1 H K_a)(FS_{(B)})} = \frac{42{,}58\ x\ 1}{18{,}5\ x\ z\ x\ tan^2(45 - {}^{27}/_{2})\ x1{,}5}$$

z= 5 m için S_v= 0,8 m elde edilir.

S_v = 0,8 m donatı aralığı için donatı uzunluğu L;

$$L = l_r + l_e$$

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

$$l_e = \frac{S_v K_a [FS_{(P)}]}{2 C_r C_i tan\phi}$$

$$L = \frac{5 - z}{\tan\left(45 + \frac{27}{2}\right)} + \frac{0{,}8\ xtan^2\left(45 - \frac{27}{2}\right) x1{,}5}{2\ x\ 1\ x\ 0{,}55\ x\ tan27}$$

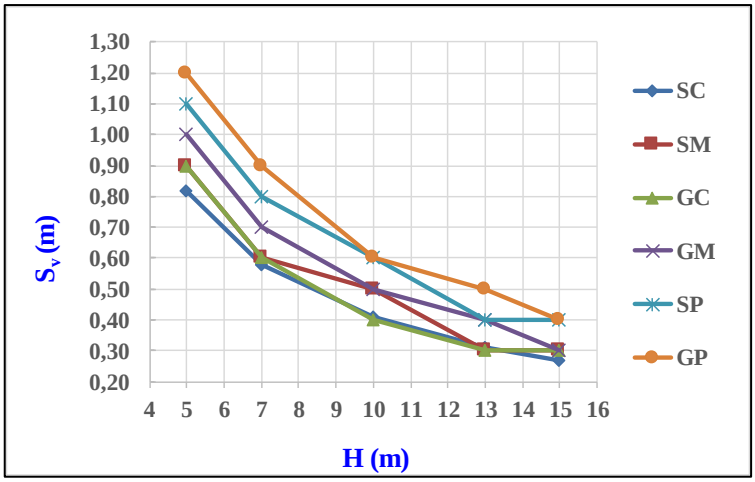
z = 0,8 m için L = 2,56 + 0,82 = 3,4 m elde edilir.

Duvarın tepe noktasında en yüksek L değeri elde edileceğinden daha alt kısımlar için L hesaplamaya gerek yoktur. Tüm duvar yüksekliklerinde, farklı dolgu zemin sınıfları için hesaplanan S_v donatı aralıkları ve L donatı uzunlukları Tablo 4.4' de görüldüğü gibi elde edilmiştir.

Tablo 4.4: Hesaplanan S_v donatı aralıkları ve L donatı boyları.

	SC			SM			GC			GM			SP			GP		
H (m)	S_v (m)	L (m)	L/H	S_v (m)	L (m)	L/H	S_v (m)	L (m)	L/H	S_v (m)	L (m)	L/H	S_v (m)	L (m)	L/H	S_v (m)	L (m)	L/H
5	0,8	3,4	0,68	0,9	3,2	0,64	0,9	2,9	0,58	1,0	2,7	0,55	1,1	2,5	0,50	1,2	2,2	0,44
7	0,6	4,5	0,65	0,6	4,3	0,61	0,6	4,1	0,58	0,7	3,9	0,55	0,8	3,6	0,51	0,9	3,3	0,47
10	0,4	6,3	0,63	0,5	6,0	0,60	0,4	5,8	0,58	0,5	5,5	0,55	0,6	5,1	0,51	0,6	4,8	0,48
13	0,3	8,1	0,62	0,3	7,8	0,60	0,3	7,5	0,58	0,4	7,2	0,55	0,4	6,7	0,52	0,5	6,3	0,48
15	0,3	9,3	0,62	0,3	8,9	0,59	0,3	8,7	0,58	0,3	8,3	0,55	0,4	7,8	0,52	0,4	7,2	0,48

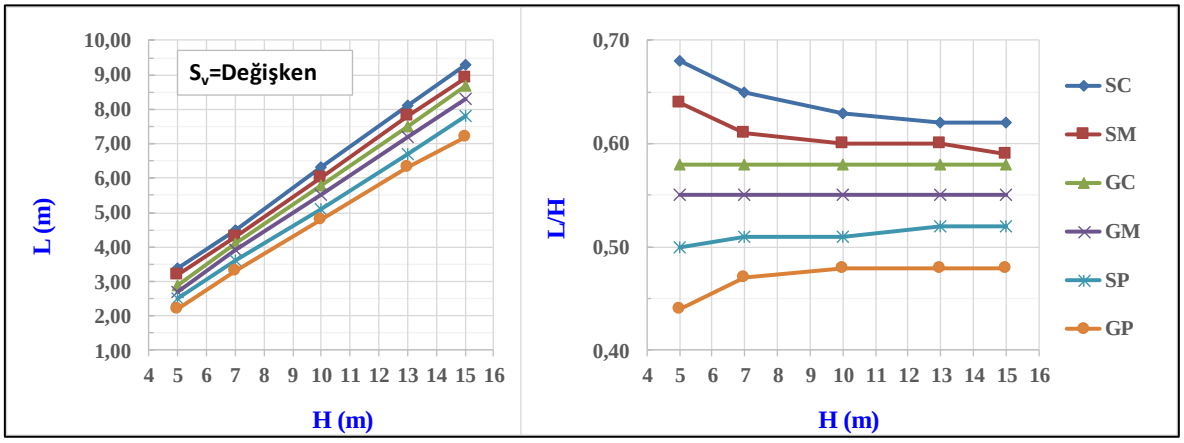
Her bir dolgu zemin sınıfı için geçerli olmak üzere, duvar yüksekliği arttıkça hesaplanan S_v donatı aralıkları beklenildiği gibi azalmaktadır (Şekil 4.1). S_v donatı aralıklarının artan zemin rijitliği ile artışı da yine beklenebileceği üzere tüm duvar yükseklikleri için geçerli görünmektedir.



Şekil 4.1: Her bir dolgu zemini için hesaplanan S_v donatı aralıklarının duvar yüksekliğine göre değişimi.

Belirlenen S_v donatı aralıkları için hesaplanan L donatı boyları benzer şekilde, artan duvar yüksekliği ile artmakta ve artan zemin rijitliği ile azalmaktadır (Şekil 4.2). Ancak hesaplanmış olan donatı boyları L/H oranları ile ifade edilecek olursa; artan duvar yüksekliği ile SC ve SM sınıfı düşük rijitlikteki dolgular için L/H oranlarının düştüğü görülmektedir. Bu oran GC ve GM sınıfı orta rijitlik seviyelerindeki dolgu zeminleri için sabit olarak ifade

edilebilecek iken, SP ve GP sınıfı yüksek rijitlikteki zeminlerde duvar yüksekliği arttıkça L/H oranı da artmaktadır (Şekil 4.2).

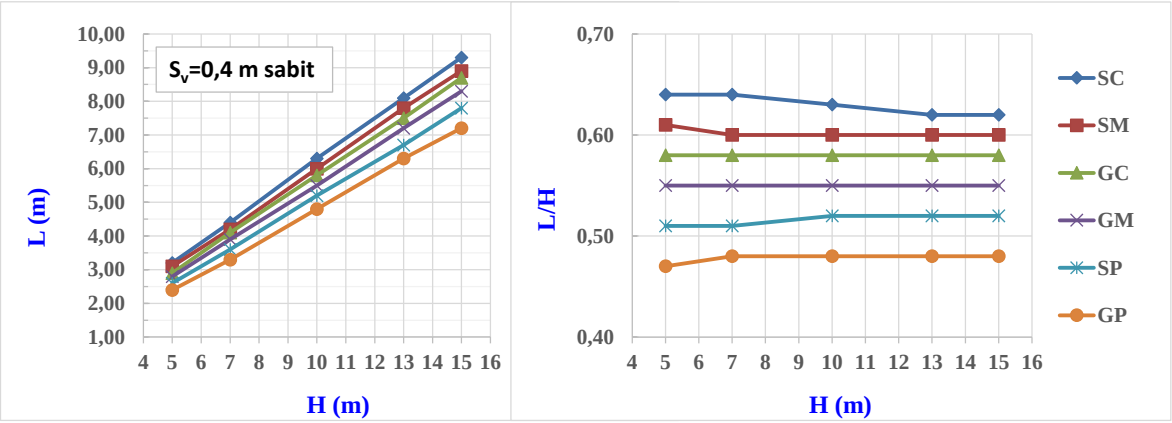


Şekil 4.2: Hesaplanan L donatı boyları ve L/H oranlarının değişimi (S_v= değişken).

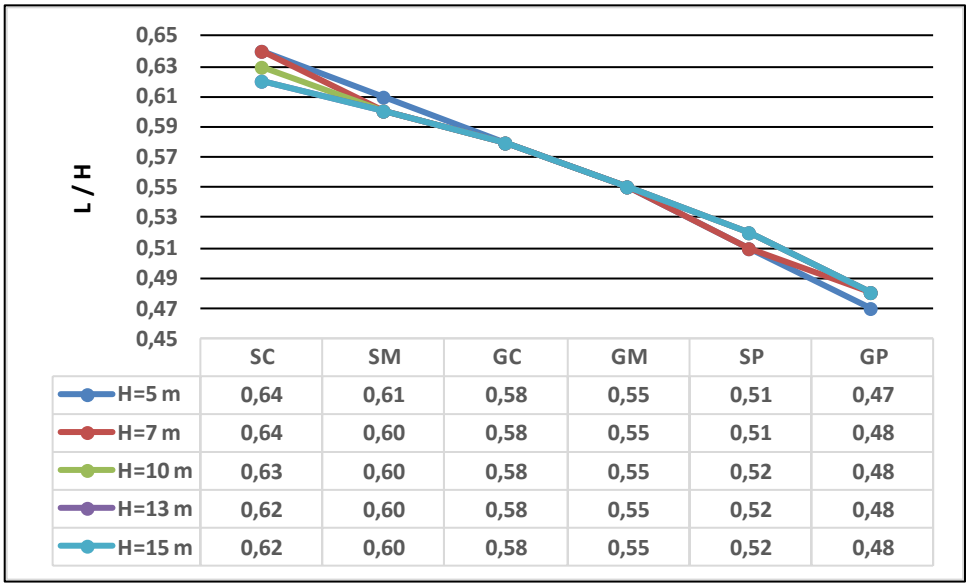
L donatı boyları S_v=0,4 m kabulü ile sabit donatı aralıkları için tekrar hesaplanmış ve sonuçlar Tablo 4.5 ile Şekil 4.3 ve Şekil 4.4' de sunulmuştur. Sabit S_v donatı aralıkları durumunda, L/H oranlarının, her bir zemin sınıfı için artan duvar yüksekliğine rağmen sabit kaldığı söylenebilir (Şekil 4. 3). Diğer yandan her bir duvar yüksekliği için geçerli olmak üzere, hesapla elde edilen L/H oranlarının, artan zemin rijitliği ile azaldığı görülmektedir (Şekil 4. 4). L/H oranlarının çalışılan zemin sınıfları için ortalama olarak 0,63 ile 0,48 arasında değiştiği söylenebilir. Diğer yandan FHWA' ya göre minimum donatı boyu L=0,7 H olarak önerilmektedir.

Tablo 4.5: Sabit donatı aralıkları için hesaplanan L donatı boyları ve L/H oranları.

		SC		SM		GC		GM		SP		GP	
H (m)	S_v (m)	L (m)	L/H	L (m)	L/H	L (m)	L/H	L (m)	L/H	L (m)	L/H	L (m)	L/H
5	0,4	3,2	0,64	3,1	0,61	2,9	0,58	2,8	0,55	2,6	0,51	2,4	0,47
7	0,4	4,4	0,64	4,2	0,60	4,1	0,58	3,9	0,55	3,6	0,51	3,3	0,48
10	0,4	6,3	0,63	6,0	0,60	5,8	0,58	5,5	0,55	5,2	0,52	4,8	0,48
13	0,4	8,1	0,62	7,8	0,60	7,5	0,58	7,2	0,55	6,7	0,52	6,3	0,48
15	0,4	9,3	0,62	8,9	0,60	8,7	0,58	8,3	0,55	7,8	0,52	7,2	0,48



Şekil 4.3: Hesaplanan L donatı boyları ve L/H oranlarının değişimi (S_v= 0,4 m sabit**).**

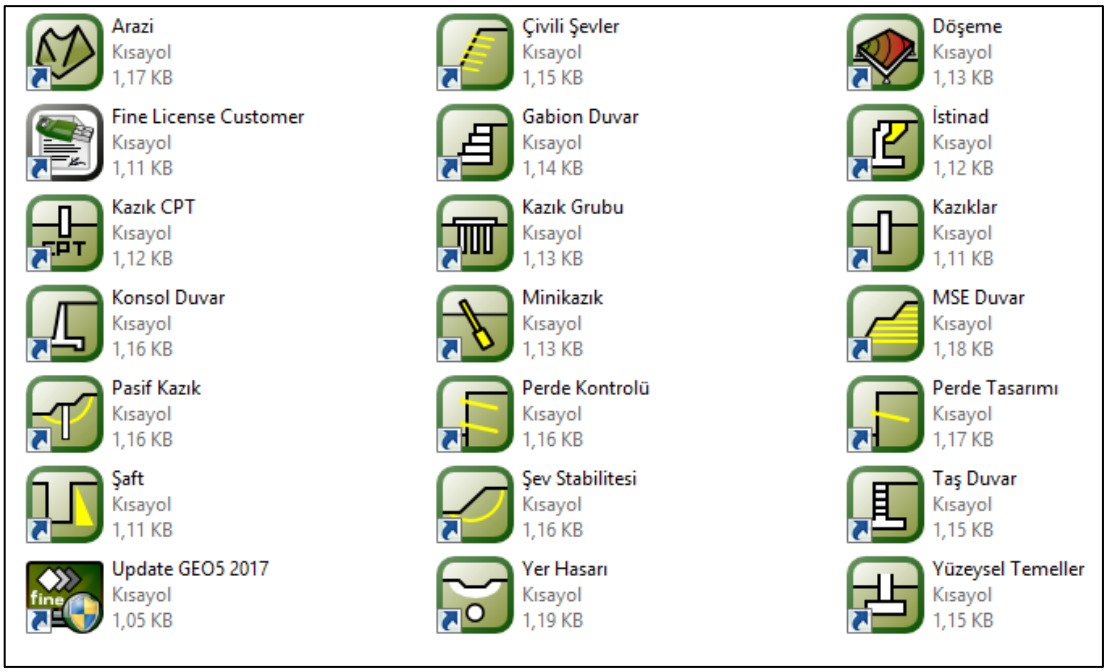


	SC	SM	GC	GM	SP	GP
H=5 m	0,64	0,61	0,58	0,55	0,51	0,47
H=7 m	0,64	0,60	0,58	0,55	0,51	0,48
H=10 m	0,63	0,60	0,58	0,55	0,52	0,48
H=13 m	0,62	0,60	0,58	0,55	0,52	0,48
H=15 m	0,62	0,60	0,58	0,55	0,52	0,48

Şekil 4.4: L/H oranlarının dolgu zemin sınıfına dayalı değişimi.

4.2 Geo5 Programı ile Analizler

Geo5 programı çalışma prensibi limit denge analizlerine dayanmakta olup, kazılar, yüzeysel temeller, derin temeller, tüneller, oturma analizleri ve stabilite analizleri gibi farklı geoteknik problemler için farklı bireysel programlardan oluşmaktadır. Şekil 4.5'de görüleceği gibi farklı birçok geoteknik uygulama Geo5 programı yardımı ile yapılabilmektedir. Bu çalışmada programın MSE Duvar bileşeni kullanılmıştır.



Şekil 4.5: Geo5 program uygulamaları.

Bu aşamada 5 farklı yükseklikteki duvar ve 6 farklı dolgu zemini için Geo5 programı ile analiz yapılmıştır. Analizlerde, S_v= 0,4 m lik sabit donatı aralıkları için hesaplanmış olan L donatı boyları kullanılmıştır.

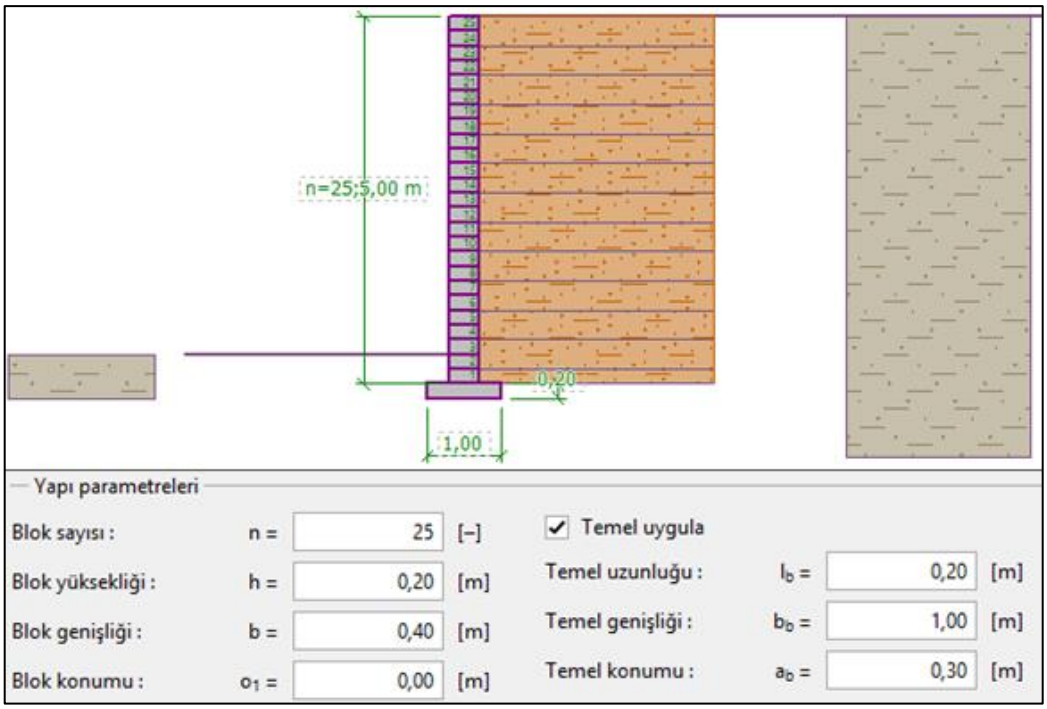
4.2.1 Geo5 Programı Uygulama Örneği

4.2.1.1 Geo5 Programı Veri Girişi

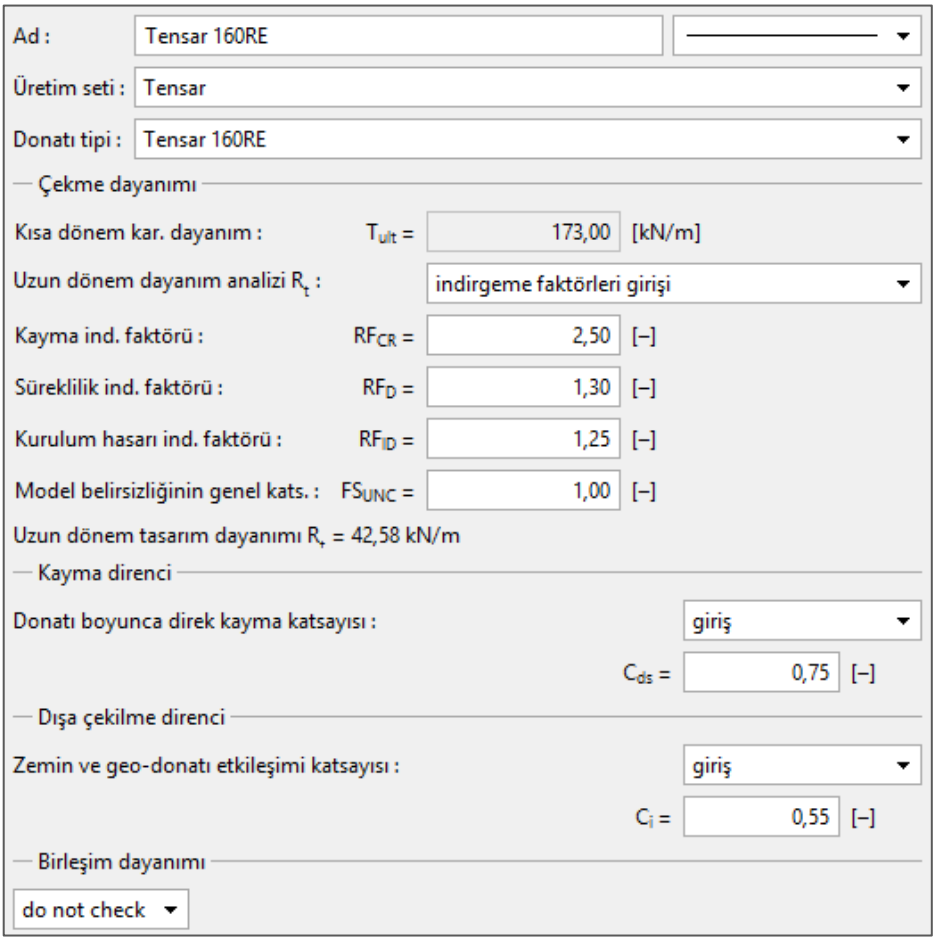
Geo5 programında yürütülen analizler için proje ayarları Şekil 4.6' da gösterilmiştir. Duvarın geometrisi Şekil 4.7' de, donatı türü Şekil 4.8' de, tanımlanmıştır.

Beton yapılar :	EN 1992-1-1 (EC2)
Katsayılar EN 1992-1-1 :	standart
Aktif zemin basıncı hesaplaması :	Coulomb
Pasif zemin basıncı hesaplaması :	Coulomb
Deprem analizi :	Mononobe-Okabe
Zemin kaması biçimi :	Eğri olarak hesapla
İzinverilebilir eksantrisite :	0,333
İç stabilite :	Standart - düz kayma düzlemi
Tahkik yöntemi :	Güvenlik Kaytsayısı (ASD)
Tahkik yöntemi :	Güvenlik Kaytsayısı (ASD)

Şekil 4.6: Geo5 proje ayarları.

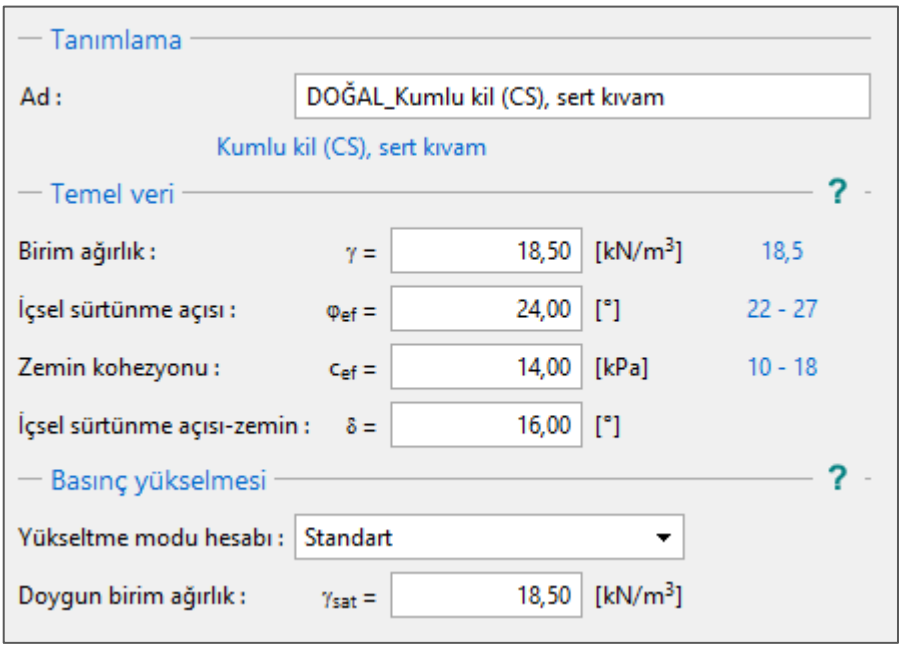


Şekil 4.7: Geo5 programında geometrinin tanımlanması.

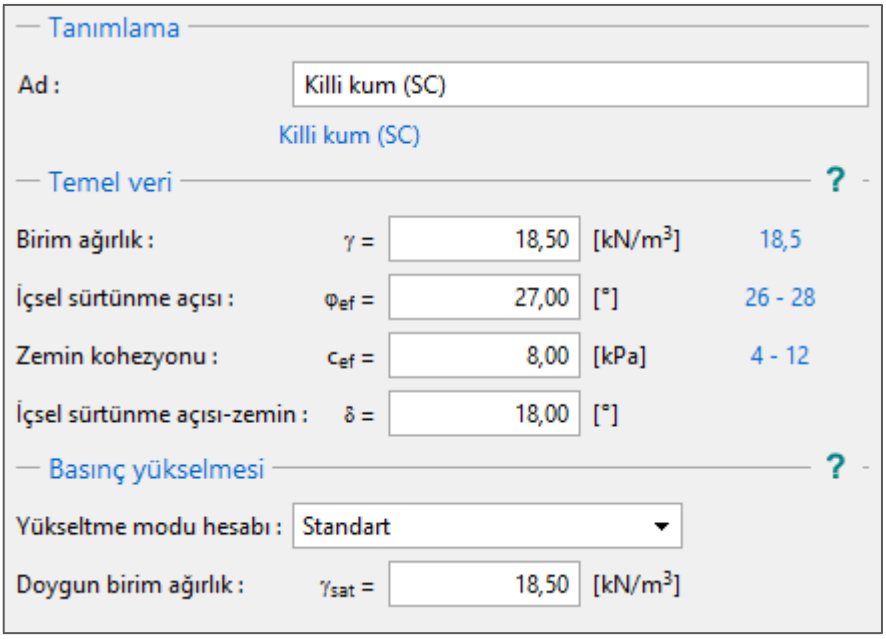


Şekil 4.8: Geo5 programında donatı türünün tanımlanması.

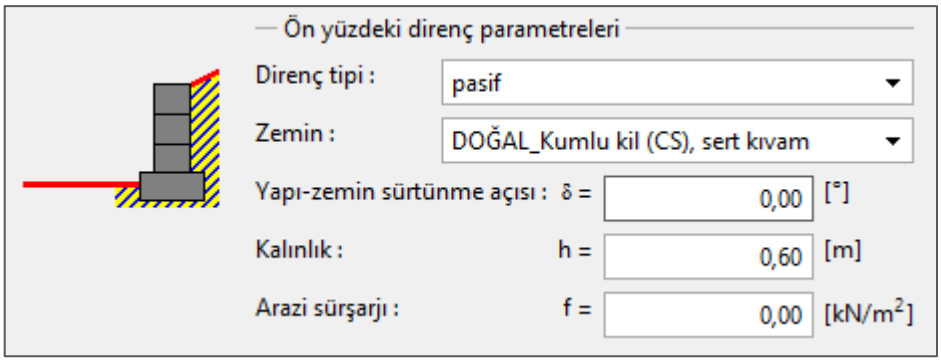
Doğal zemin ve dolgu zemini parametreleri Şekil 4.9 ve Şekil 4.10' da gösterildiği gibi girilmiştir. Duvar önü direnç parametreleri gömülme derinliği minimum 0,6 m kabul edilerek Şekil 4.11' de tanımlanmıştır.



Şekil 4.9: Geo5 programında doğal zemin özelliklerinin tanımlanması.



Şekil 4.10: Geo5 programında dolgu zemini özelliklerinin tanımlanması.



Şekil 4.11: Geo5 programında duvar önü direnç parametrelerinin tanımlanması.

4.2.1.2 Geo5 Programında Tahkikler

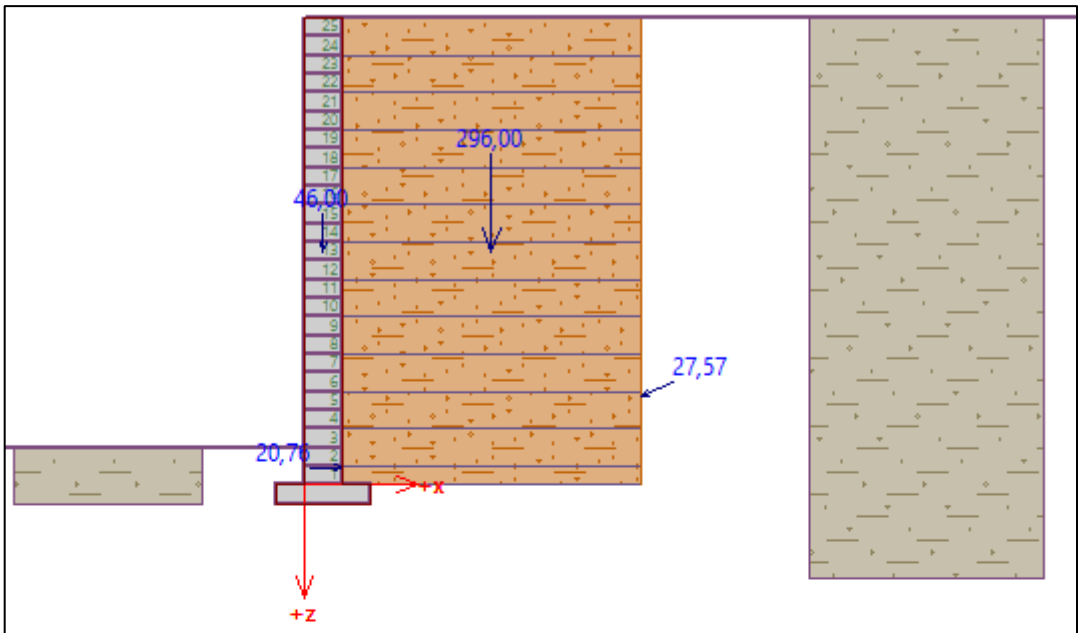
Geo5 programı tahkiklerinin ilkinde, dış stabilite için dönmeye ve kaymaya karşı geoduvarın bir bütün olarak yeterliliği analiz edilmektedir (Şekil 4.12). Bu tahkiklerin sonuçları, programda sağlanması gereken güvenlik sayılarının hesaplanan güvenlik sayılarına oranı ile yüzdelik olarak ifade edilmektedir. Bu yüzdelik ifadeler tahkiklerde, kapasite kullanımının gösterimi olarak açıklanabilir.

Boyutlandırma tahkikleri ile her blok seviyesi, sıfır noktası olarak kabul edilerek donatılı zemin ağırlığı dikkate alınmayıp koruyucu kuvvet olarak kayma düzlemi üzerindeki donatıların çekme kuvveti dikkate alınmaktadır (Şekil 4.13).

Taşıma kapasitesi tahkikinde, doğal zemin için Terzaghi formülüne dayalı olarak hesaplanan 655 kPa nihai taşıma gücü değeri girilmiştir (Şekil 4.14).

İç stabilite tahkikleri, donatının çekme mukavemetinin aşılıp aşılmadığı kontrolü ile donatının zeminden sıyrılmaması kontrollerini içermektedir (Şekil 4.16).

Toptan göçme tahkiki Bishop yöntemine göre yapılmıştır (Şekil 4.17). Bishop yönteminde yatay ve düşey kuvvet dengesi dikkate alınmakta olup dilimler arası kayma kuvvetleri ihmal edilmektedir.



Kuvvet	F_x [kN/m]	F_z [kN/m]	Uygulama noktası x [m]	Uygulama noktası z [m]	Katsayı [–]
FF direnci	20,76	0,00	0,40	-0,19	1,000
Ağırlık - donatılı zemin	0,00	296,00	2,00	-2,50	1,000
Aktif toprak basıncı	-25,19	11,22	3,60	-0,95	1,000
Ağırlık - duvar	0,00	46,00	0,20	-2,50	1,000

Tüm duvarın tahkiki
Doğrulama yeri : blokların altı

Devrilme stabilitesi kontrolü
Karşı koyucu moment M_{res} = 641,58 kNm/m
Devrilme momenti M_{ovr} = 19,98 kNm/m

Güvenlik katsayısı = 32,12 > 1,50
Devrilmeye karşı duvar Yeterli

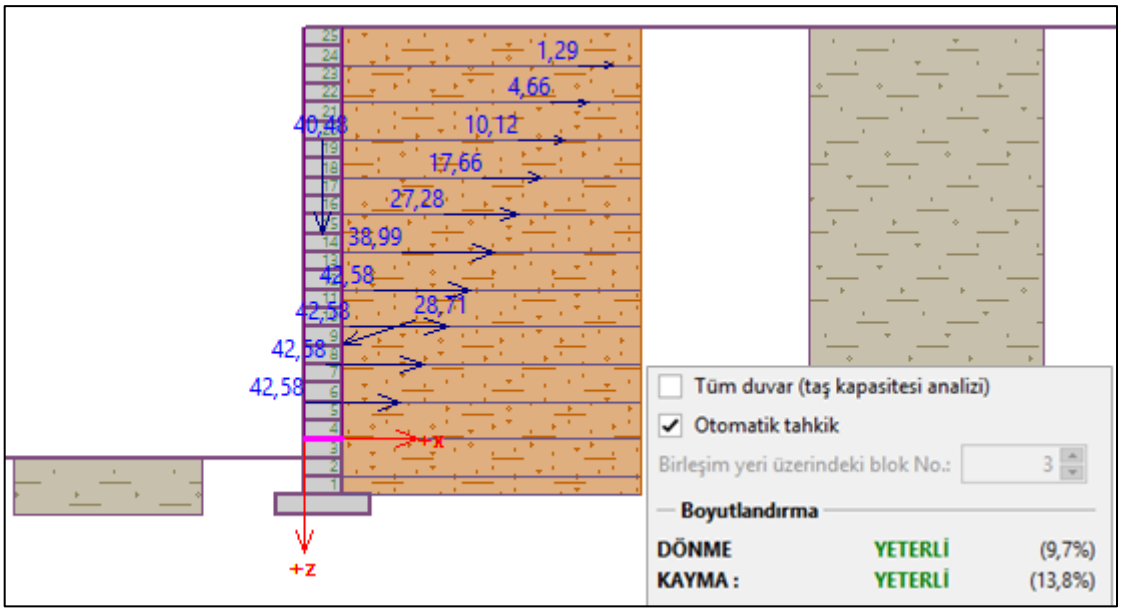
Kayma kontrolü
Yatay karşı koyucu kuvvet H_{res} = 206,54 kN/m
Aktif yatay kuvvet H_{act} = 4,44 kN/m

Güvenlik katsayısı = 46,57 > 1,50
Kaymaya karşı duvar Yeterli

Bütünsel kontrol - DUVAR Yeterli

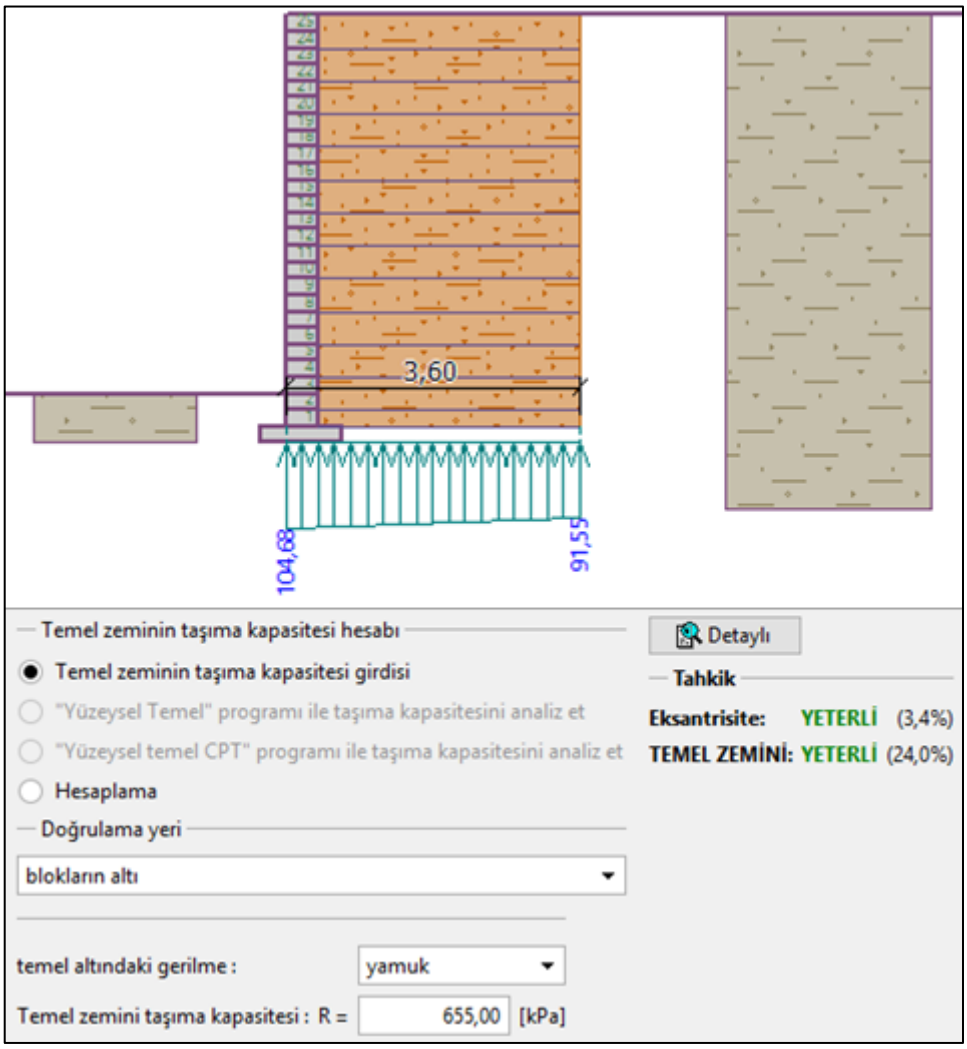
Doğrulama yeri
blokların altı
Tahkik
DÖNME : YETERLİ (4,7%)
KAYMA : YETERLİ (3,2%)

Şekil 4.12: Geo5 dış stabilite (tüm duvar için dönme ve kayma) tahkikleri.

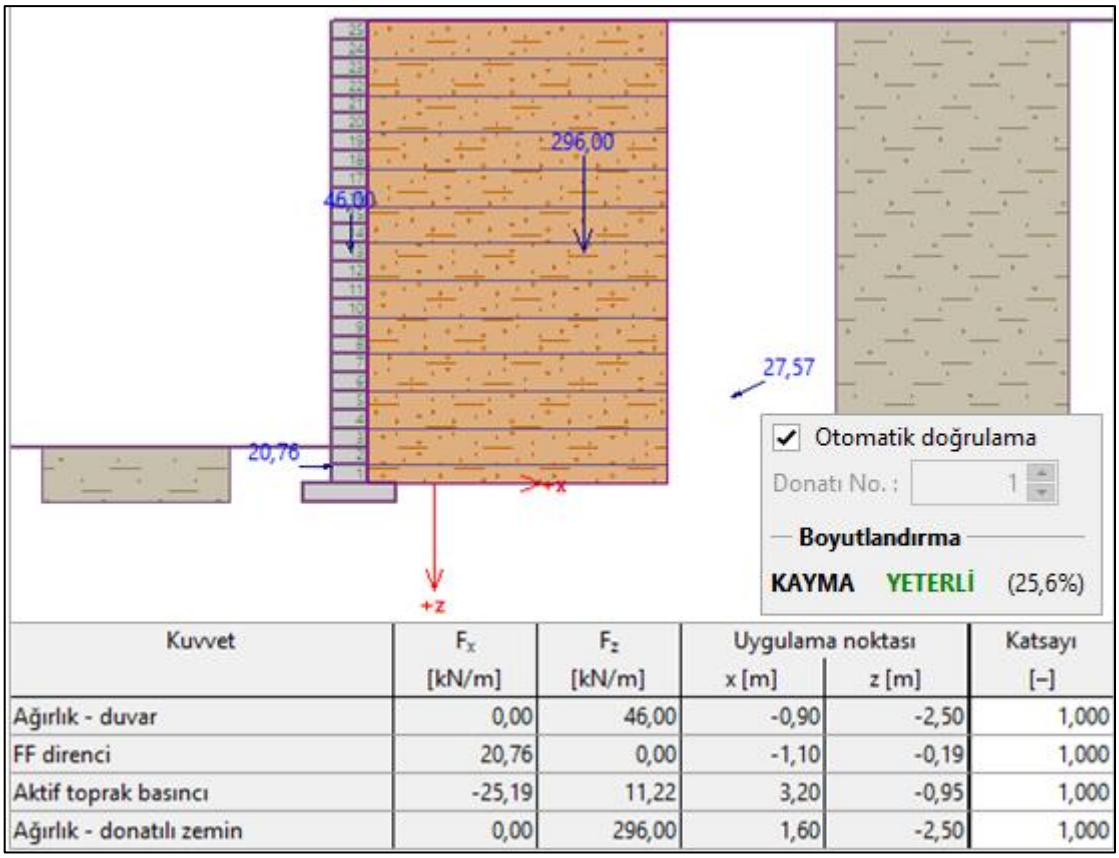


Şekil 4.13: Geo5 boyutlandırma tahkikleri.

.

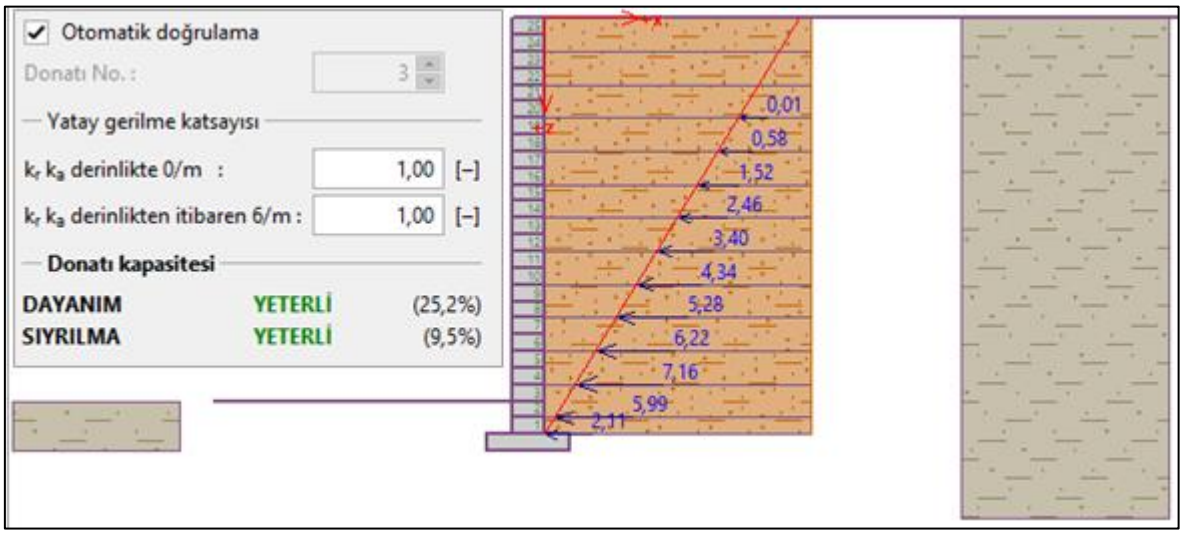


Şekil 4.14: Geo5 taşıma kapasitesi analizi sonuçları.

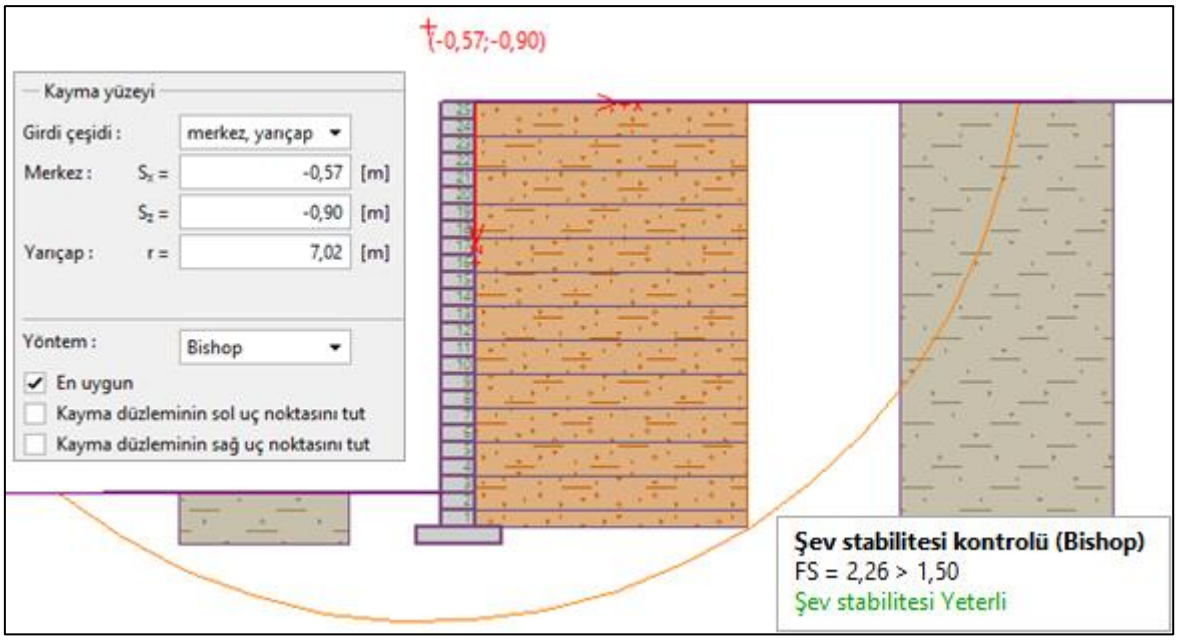


Kuvvet	F_x [kN/m]	F_z [kN/m]	Uygulama noktası x [m]	Uygulama noktası z [m]	Katsayı [–]
Ağırlık - duvar	0,00	46,00	-0,90	-2,50	1,000
FF direnci	20,76	0,00	-1,10	-0,19	1,000
Aktif toprak basıncı	-25,19	11,22	3,20	-0,95	1,000
Ağırlık - donatılı zemin	0,00	296,00	1,60	-2,50	1,000

Şekil 4.15: Geo5 donatı boyunca kayma tahkikleri.



Şekil 4.16: Geo5 iç stabilite tahkikleri.



Şekil 4.17: Geo5 global stabilite (toptan göçme) tahkiki.

4.2.2 Geo5 Programı Analiz Sonuçları

Analizlerde donatı aralığı ve donatı türü sabit olmakla birlikte Tablo 4.6' da gösterilen donatı zemin etkileşimi parametreleri dolgu zemin sınıfına dayalı olarak değişmektedir.

Tablo 4.6: Geo5 programı donatı parametreleri.

Zemin sınıfı	Donatı boyunca direk kayma katsayısı- C_{ds}	Zemin ve geo-donatı etkileşimi katsayısı-C_i
SC	0,75	0,55
SM	0,75	0,55
GC	0,80	0,70
GM	0,80	0,70
SP	0,85	0,70
GP	0,90	0,75

Tablo 4.7 ve Tablo 4.11 arasında 5 ayrı duvar yüksekliği ve 6 farklı dolgu türü için yapılan Geo5 tahkiklerinin sonuçları gösterilmiştir. Analizlerde 7 m lik duvar yüksekliğinden itibaren, sıyrılma direnci ve boyutlandırma gibi donatı boyuna bağımlı tahkiklerde özellikle SP ve GP sınıfı dolgular için tasarımın yetersiz olduğu söylenebilir. Bu durumun, hesaplanan L boyları ile L/H oranlarının SP ve GP gibi rijitliği daha yüksek zeminler için daha düşük olmasına dayandığı düşünülmektedir. Diğer yandan 15 m duvar yüksekliğinde, doğal zemine dayalı olarak taşıma kapasitesi yetersizliği ve donatı türüne bağlı çekme dayanımı yetersizliği de gözlenmektedir.

Tablo 4.7: H=5 m duvar için Geo5 analiz sonuçları.

H=5 m D=0,6 m			Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki	Donatı Kayma Kontrolü	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	L (m)	L/H	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %	%	%	Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	3,2	0,64	4,7	3,2	9,7	13,8	24,0	25,6	25,2	9,5	2,26
SM	3,1	0,61	5,1	3,4	13,3	16,3	23,8	26,6	26,0	11,9	2,28
GC	2,9	0,58	5,3	3,4	11,4	15,0	25,1	25,2	26,0	8,7	2,22
GM	2,8	0,55	5,7	3,5	13,2	15,9	24,9	26,2	25,3	10,6	2,22
SP	2,6	0,51	6,6	3,8	57,0	58,7	25,0	26,9	25,8	75,4	2,19
GP	2,4	0,47	7,1	3,9	54,9	56,7	26,3	25,9	24,4	72,3	2,14

Tablo 4.8: H=7 m duvar için Geo5 analiz sonuçları.

H=7 m D=0,6 m			Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki	Donatı Kayma Kontrolü	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	L (m)	L/H	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %	%	%	Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	4,4	0,64	10,4	21,7	16,1	21,8	35,6	42,8	41,8	9,6	1,93
SM	4,2	0,60	11,5	23,1	19,3	23,5	35,6	45,2	40,8	12,6	1,91
GC	4,1	0,58	11,2	22,2	16,9	22,1	37,6	41,2	41,3	8,4	1,87
GM	3,9	0,55	12,5	23,7	18,3	22,3	37,7	43,6	39	10,7	1,86
SP	3,6	0,51	14,6	25,9	88,2	69,4	38,4	44,9	35,5	94,3	1,84
GP	3,3	0,48	15,5	26,4	90,1	71,5	41,4	43,3	35,4	139,7	1,81

Tablo 4.9: H=10 m duvar için Geo5 analiz sonuçları.

H=10 m D=0,6 m			Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki	Donatı Kayma Kontrolü	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	L (m)	L/H	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %	%	%	Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	6,3	0,63	15,8	37,3	25,7	34,1	54,1	58,9	68,3	9,3	1,68
SM	6,0	0,60	17,6	39,8	28,0	34,5	54,5	62,6	64,5	12,3	1,66
GC	5,8	0,58	17,4	38,6	26,6	33,9	58,1	57,1	65,9	8,6	1,64
GM	5,5	0,55	19,5	41,3	27,3	33,8	58,9	60,8	61,7	11,5	1,63
SP	5,2	0,52	22,0	44,3	121,8	77,8	60,0	61,6	56,3	76,5	1,61
GP	4,8	0,48	23,7	44,8	119,4	76,0	65,5	58,8	53,7	96,7	1,57

Tablo 4.10: H=13 m duvar için Geo5 analiz sonuçları.

H=13 m D=0,65 m			Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki	Donatı Kayma Kontrolü	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	L (m)	L/H	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %	%	%	Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	8,1	0,62	19,6	46,5	35,2	45,2	73,8	69,3	91,5	9,5	1,57
SM	7,8	0,60	21,5	49,2	36,1	44,2	74,2	73,0	85,3	12,0	1,54
GC	7,5	0,58	21,5	47,8	35,4	44,1	79,7	66,7	87,4	8,9	1,53
GM	7,2	0,55	23,6	50,6	34,6	41,9	80,5	70,5	80,3	11,0	1,51
SP	6,7	0,52	27,4	55,1	186,4	101,9	83,4	72,3	72,7	110,0	1,48
GP	6,3	0,48	28,5	54,8	152,7	100,2	90,8	67,8	68,6	73,2	1,45

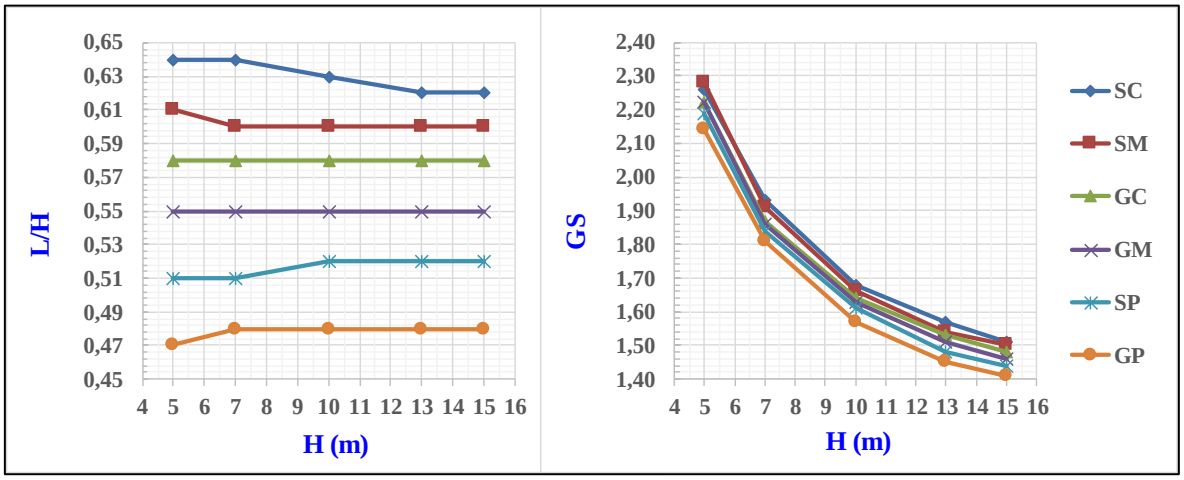
Tablo 4.11: H=15 m duvar için Geo5 analiz sonuçları.

H=15 m D=0,75 m			Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki	Donatı Kayma Kontrolü	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	L (m)	L/H	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %	%	%	Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	9,3	0,62	21,5	50,4	41,9	53,0	87,2	73,9	108,0	9,6	1,51
SM	8,9	0,60	23,8	53,6	42,6	51,4	88,2	78,4	100,7	12,7	1,50
GC	8,7	0,58	23,1	51,3	41,3	51,1	96,9	70,5	102,7	8,6	1,48
GM	8,3	0,55	25,5	54,7	40,4	48,3	95,4	74,9	94,7	11,7	1,46
SP	7,8	0,52	29,3	59,1	223,0	124,2	98,4	76,3	86,5	77,6	1,44
GP	7,2	0,48	31,6	59,6	208,0	116,4	109,1	72,6	79,7	143,0	1,41

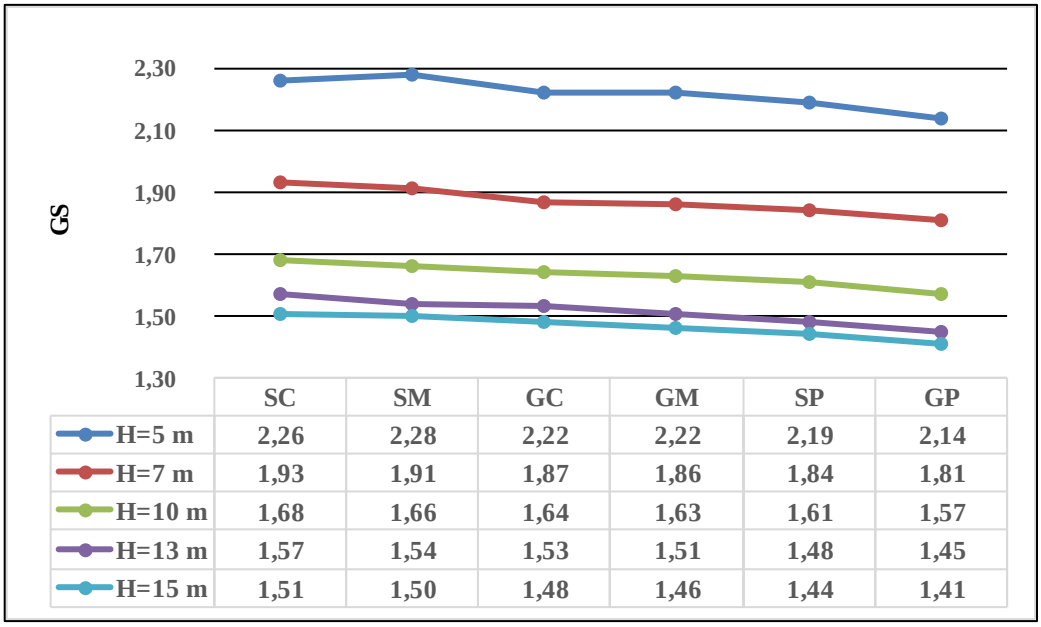
Tüm analiz sonuçları L/H oranları ve GS-toptan göçme güvenlik sayıları cinsinden kıyaslanmıştır (Tablo 4.12, Şekil 4.18, Şekil 4.19). Tüm zeminler için her bir duvar yüksekliğinde L/H oranlarını yaklaşık olarak sabit kabul edebilecek olmamıza rağmen, toptan göçme güvenlik sayıları artan duvar yüksekliği ile azalmaktadır (Şekil 4.18). Diğer yandan tüm duvar yüksekliklerinde geçerli olmak üzere, toptan göçme güvenlik sayıları artan dolgu zemini rijitliğine rağmen az da olsa düşüş göstermektedir (Şekil 4.19). Bu durumun yine hesaplanan L değerleri için L/H oranlarının, artan zemin rijitliği ile azalmış olması sebebiyle gerçekleştiği söylenebilir.

Tablo 4.12: L/H oranları ve GS-toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi.

	SC		SM		GC		GM		SP		GP	
H (m)	**L/H**	**GS**	**L/H**	**GS**	**L/H**	**GS**	**L/H**	**GS**	**L/H**	**GS**	**L/H**	**GS**
5	0,64	2,26	0,61	2,28	0,58	2,22	0,55	2,22	0,51	2,19	0,47	2,14
7	0,64	1,93	0,60	1,91	0,58	1,87	0,55	1,86	0,51	1,84	0,48	1,81
10	0,63	1,68	0,60	1,66	0,58	1,64	0,55	1,63	0,52	1,61	0,48	1,57
13	0,62	1,57	0,60	1,54	0,58	1,53	0,55	1,51	0,52	**1,48**	0,48	**1,45**
15	0,62	1,51	0,60	**1,50**	0,58	**1,48**	0,55	**1,46**	0,52	**1,44**	0,48	**1,41**



Şekil 4.18: L/H oranları ve toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi



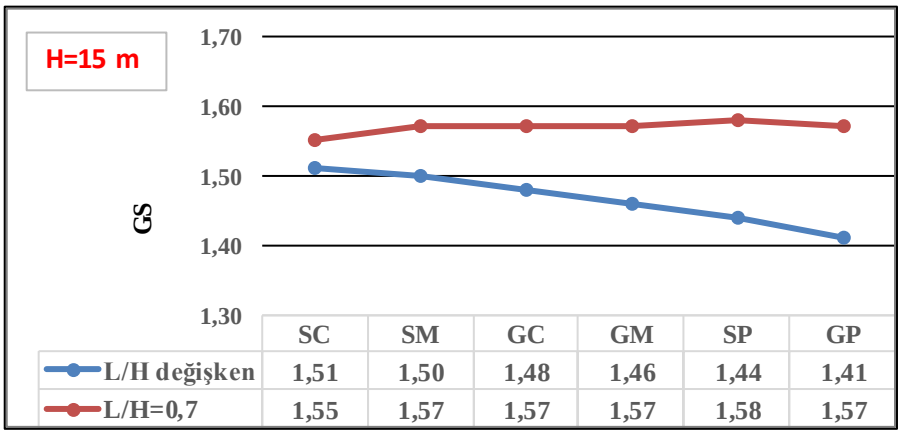
Şekil 4.19: Zemin sınıfları ile toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi.

Donatı boyunun L/H oranı cinsinden etkisini değerlendirmek amacıyla, 15 metrelik duvar için Geo5 analizleri tekrarlanmıştır (Tablo 4.13). Donatı boyu L tüm dolgu zemin sınıfları

için sabit olmak üzere 0,7 H= 10.5 m olarak belirlenmiştir. Sonuçlar donatı boyuna bağımlı sıyrılma direnci ve boyutlandırma tahkiklerinde tasarımın yeterli olduğunu göstermiştir. Duvarın genişliği arttığı için taşıma kapasitesi de dolaylı olarak yeterlilik göstermiştir. İç stabilite tahkiklerinden dayanımın sağlanması için ise çekme dayanımı daha yüksek bir donatı türünün seçilmesi gereklidir ancak bunun donatı boyu ile doğrudan bir ilişkisi bulunmamaktadır. Bu analizlerde GS-toptan göçme güvenlik sayısı da artan zemin rijitliği ile az da olsa bir artış göstermiştir (Şekil 4.20).

Tablo 4.13: H=15 m duvar için sabit L/H oranları ile Geo5 analiz sonuçları.

H=15 m D=0,75 m			Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki	Donatı Kayma Kontrolü	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	L (m)	L/H	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %	%	%	Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	10,5	0,70	17,3	45,2	35,9	49,4	81,5	66,8	108,0	6,0	1,55
SM	10,5	0,70	17,7	46,2	34,6	46,7	80,0	68,3	100,1	5,9	1,57
GC	10,5	0,70	16,5	43,3	33,2	46,2	84,4	60,2	102,7	3,8	1,57
GM	10,5	0,70	16,9	44,2	31,1	42,9	83,0	61,5	94,1	3,5	1,57
SP	10,5	0,70	17,3	45,2	30,4	40,1	81,5	59,6	84,5	5,3	1,58
GP	10,5	0,70	16,2	42,4	27,8	37,2	85,9	52,8	79,7	3,3	1,57



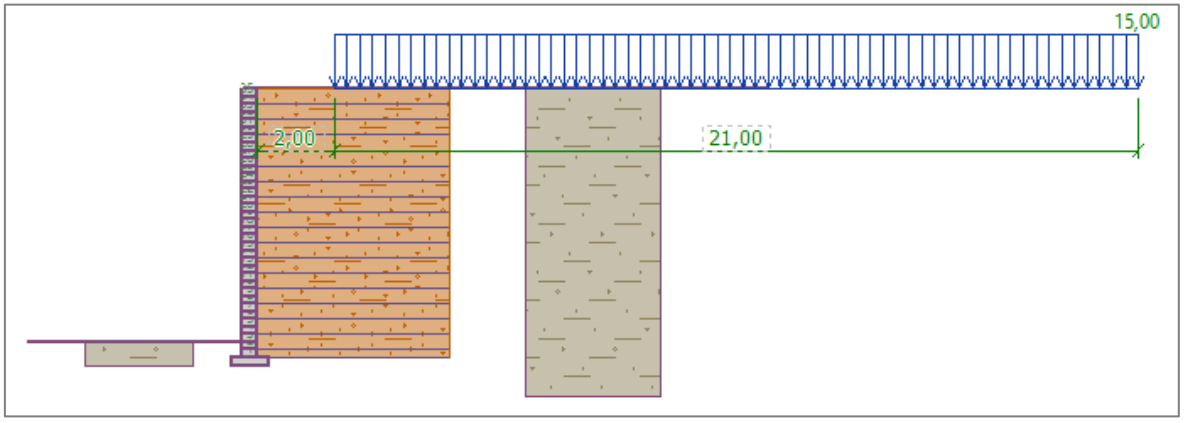
Şekil 4.20: H=15 m duvarda L/H oranlarına göre toptan göçme güvenlik sayılarının değişimi.

4.3 Plaxis Programı ile Analizler

Plaxis 2D 2016, geoteknik mühendisliği problemlerinin sayısal analizi için geliştirilmiş bir sonlu elamanlar programıdır. Program geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımda ihtiyaç duyulan şekil değiştirme ve duraylılık (stabilize) analizlerini gerçekleştirebilecek şekilde geliştirilmiştir. Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda yer değiştirme yöntemi kullanılmıştır. Yani yer değiştirmeler esas bilinmeyen olarak kabul edilmiştir.

Plaxis ile analiz edilmek istenilen bir problemin ilk olarak sayısal modelini oluşturmak gerekmektedir. Sayısal model, genellikle yarı sonsuz olan çözüm bölgesinin sonlu elemanlara ayrılmış durumunu ifade etmektedir. Sayısal modeli elde etmek için noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşan bir grafik model oluşturulur. Sayısal model, farklı zemin tabakalarını, yapısal elemanları, inşa aşamalarını ve ortamdaki tüm yükleri ve sınır koşullarını kapsamalıdır. Yarı sonsuz problemlerde modelin sınırları sonuçları etkilemeyecek boyutlarda seçilmelidir. Plaxis programında zemin malzemesinin doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirme davranışını modellemek için geliştirilmiş elasto-plastik bünye modelleri mevcuttur. Bu çalışmada Mohr-Coulomb modeli kullanılmıştır.

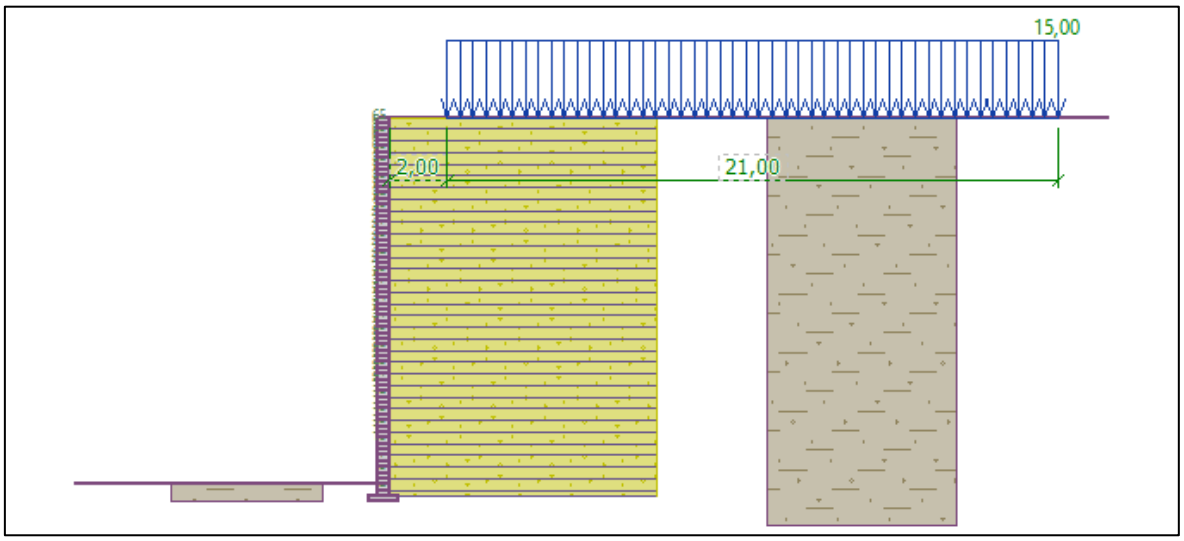
Çalışmanın bu aşamasında, Plaxis analizleri için Pauls vd. 2015 çalışmasında yer aldığı şekliyle iki ayrı geoteknik kategoriyi temsilen H=7 m ve H=13 m duvar boyları seçilmiştir. Bu duvarların bir yol genişletme çalışması için olduğu varsayılarak 21 m genişliğinde q=15 kPa değerinde trafik yükü kabulü yapılmıştır. Donatı boyları L= 0.7 H olarak seçilmiştir. Bu kabuller ile hem tasarım hem de karşılaştırma amacıyla öncelikle Geo5 programında analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, Şekil 4.1-Şekil 4.2 ve Tablo 4.1-Tablo 4.2 de gösterilmiştir.



Şekil 4.21: H=7 m duvar için Geo5 modeli.

Tablo 4.14: H=7 m duvar için Geo5 analiz sonuçları-2.

H=7 m D=0,6 m L=5 m q=15 kPa	Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki %	Donatı Kayma Kontrolü %	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %			Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	11,8	27,2	20,9	26,7	35,6	49,3	48,4	13,4	1,83
SM	12,0	27,7	21,7	26,9	35,0	50,3	46,9	15,3	1,84
GC	11,3	26,2	18,7	24,9	36,7	45,0	47,2	9,4	1,82
GM	11,5	26,7	18,3	24,0	36,1	45,9	44,5	9,2	1,83
SP	11,8	27,2	20,1	24,6	35,6	44,5	42,3	9,9	1,83
GP	11,0	25,7	7,9	23,1	37,3	40,0	39,6	6,4	1,83



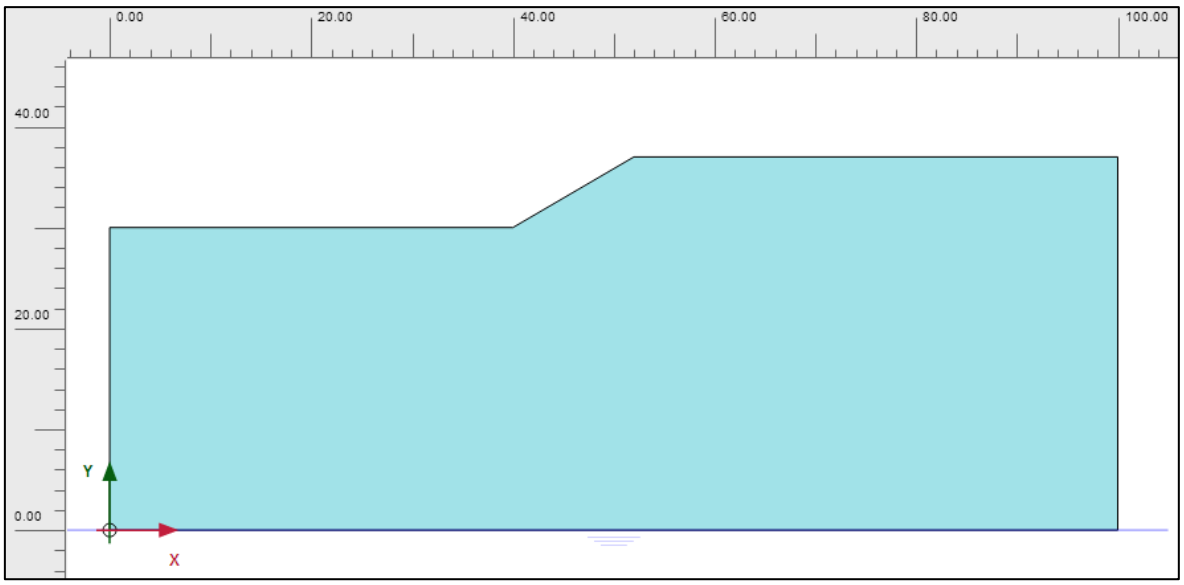
Şekil 4.22: H=13 m duvar için Geo5 modeli.

Tablo 4.15: H=13 m duvar için Geo5 analiz sonuçları-2.

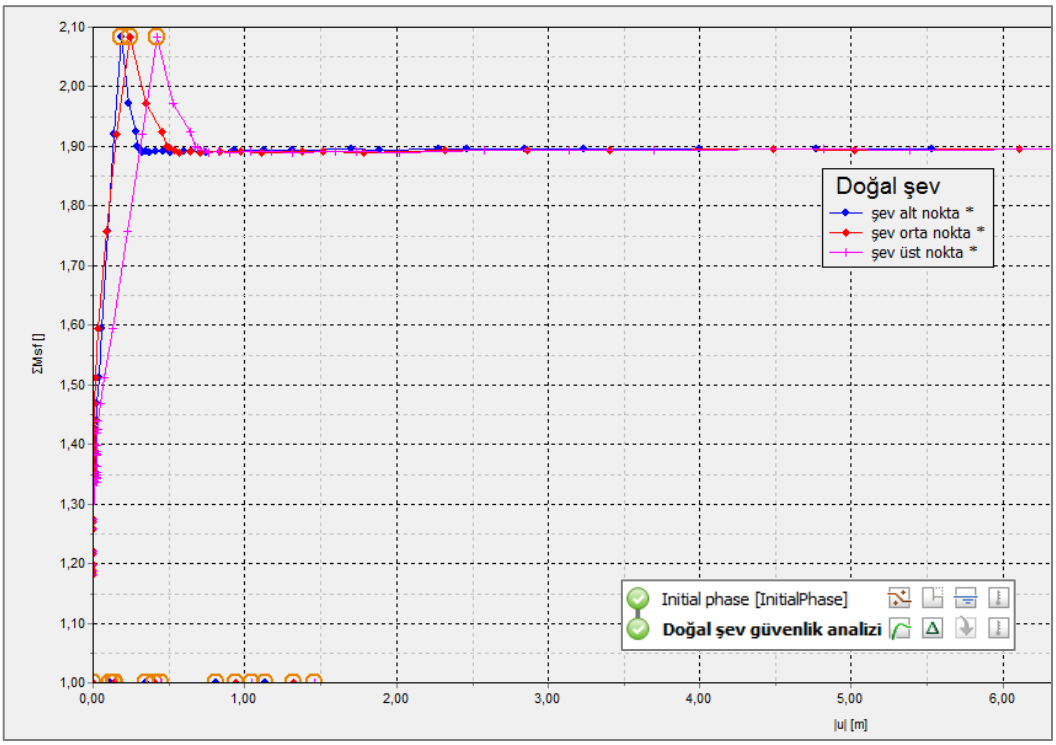
H=13 m D=0,65 m L=9.2 m q=15 kPa	Dış Stabilite Tahkikleri		Boyutlandırma Tahkikleri		Taşıma Kapasitesi Tahkiki %	Donatı Kayma Kontrolü %	İç Stabilite Tahkikleri		Toptan Göçme
	Dönme %	Kayma %	Dönme %	Kayma %			Dayanım %	Sıyrılma %	GS
SC	18,0	46,0	38,0	48,0	73,1	68,4	97,9	10,2	1,55
SM	18,5	47,0	35,7	45,6	71,8	69,9	91,3	11,2	1,55
GC	17,3	44,2	34,6	44,6	75,6	61,8	93,1	6,7	1,56
GM	17,7	45,1	31,5	41,5	74,3	63,1	85,6	6,4	1,56
SP	18,0	46,0	30,8	39,0	73,1	61,0	77,4	6,4	1,55
GP	16,9	43,3	27,6	35,8	76,8	54,3	72,7	3,7	1,56

4.3.1 Plaxis Programı Uygulama Örneği

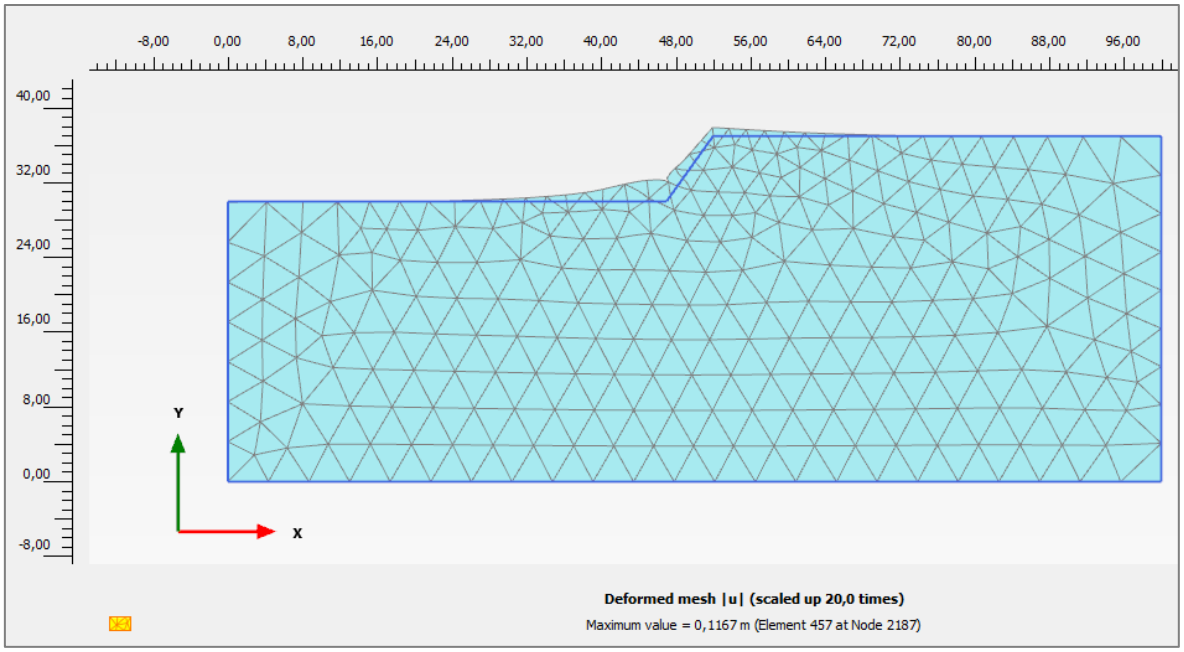
Bu kısımda duvar yüksekliği H=7 m için SC sınıfı dolgu zemininin kullanıldığı plaxis analizi aşamaları örneklenmiştir. Plaxis programında, Geo5 programının kullanılan "MSE Duvar" bileşeninden farklı olarak aşamalı inşaat analizleri mümkün olmaktadır. Bu sebeple plaxis analizleri, duvarın yapılacağı alanda doğal şev açısının 30^o olduğu varsayılarak yürütülmüştür. Öncelikle arazinin doğal şev durumundaki stabilitesi analiz edilmiş (Şekil 4. 23) ve güvenlik sayısı 1.90 elde edilmiştir (Şekil 4. 24). Duvar inşaatının 55^o şev açısına sahip bir kazı sonrası gerçekleştiği varsayılmış ve kazı şevi için de stabilite analizi gerçekleştirilmiştir (Şekil 4. 25). Kazı şev stabilitesi güvenlik sayısı 1.23 elde edilmiştir (Şekil 4. 26).



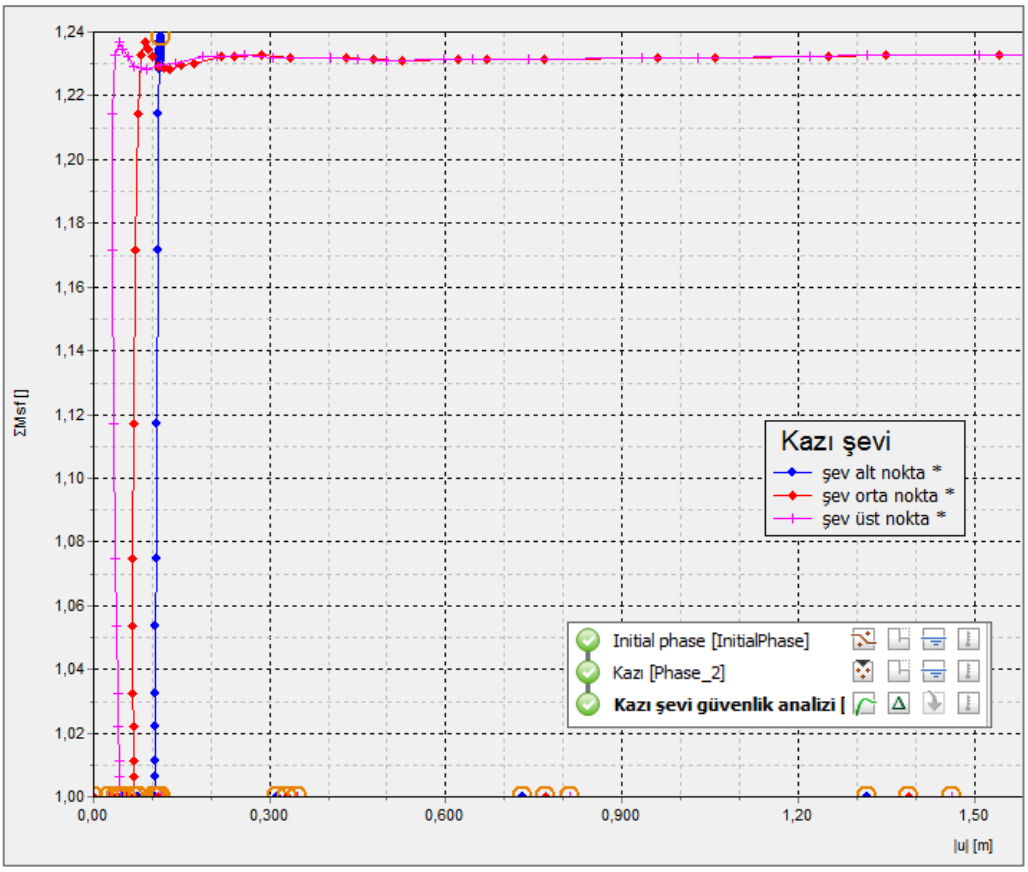
Şekil 4.23: Plaxis programı doğal şev geometrisi (şev açısı: 30^o).



Şekil 4.24: Plaxis programı doğal şev stabilitesi.



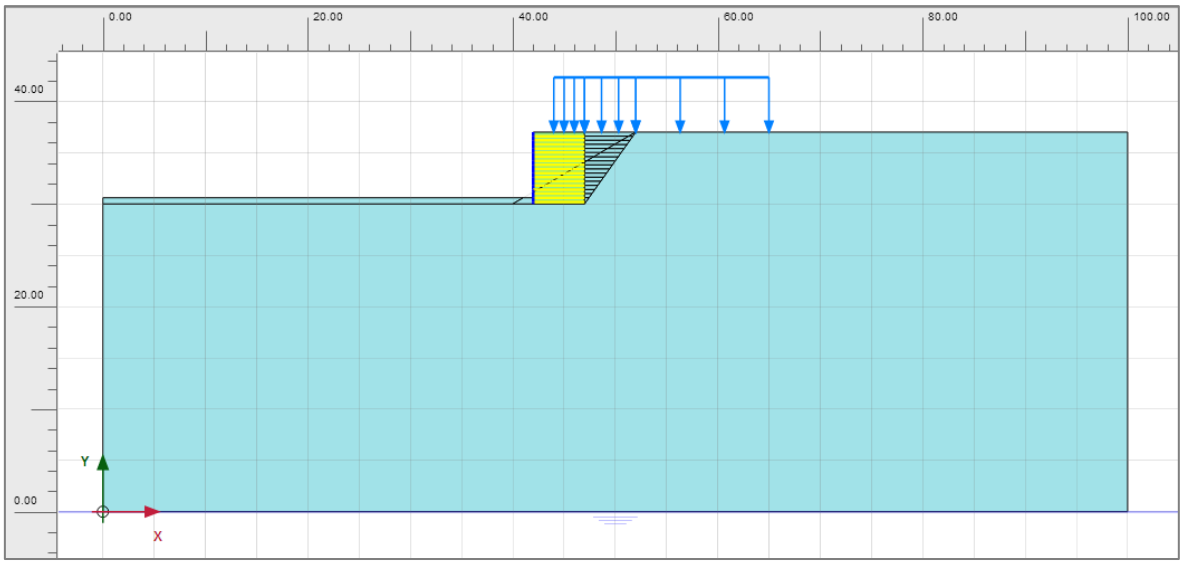
Şekil 4.25: Plaxis programı kazı şev analizi (şev açısı: 55º).



Şekil 4.26: Plaxis programı kazı şevi güvenlik analizi (şev açısı: 55^{o}).

Geogrid donatılı duvarın plaxis geometrik modeli Şekil 4.27' de gösterilmiştir. Donatı aralıkları S_v=0.4 m, donatı boyu L=5 m ve gömülme derinliği D=0.6 m ve 21 m genişliğindeki sürşarj yükü q=15 kPa dır. SC sınıfı dolgu zemini ve doğal zemin parametreleri önceki alt bölüm dahilinde Tablo 4.3' de sunulmuştur. Drenajlı zemin parametreleri için malzeme modeli Mohr-Coulomb ve ara yüz dayanımı için R_{inter}=1 kabulü yapılmıştır. Tablo 4.16 ve Tablo 4.17' de yüzey elemanı ve geogrid elemanı için kullanılan plaxis parametreleri gösterilmektedir. Şekil 4.28' de görülen sonlu elemanlar ağı "ince" boyutlu eleman seçimi ile oluşturulmuştur.

Geogrid donatılı duvarın plaxis analizi toplam 22 aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.29, Şekil 4.30). Yerçekimi yüklemesi içeren başlangıç aşamasından sonra her bir tabakada dolgu zemini, üzerindeki geogrid, önyüz elemanı ve arka dolgu doğal zemini aktifleştirilerek aşamalı inşaat modellenmiştir. Son aşamada sistemin güvenlik analizi oluşturulmuştur.



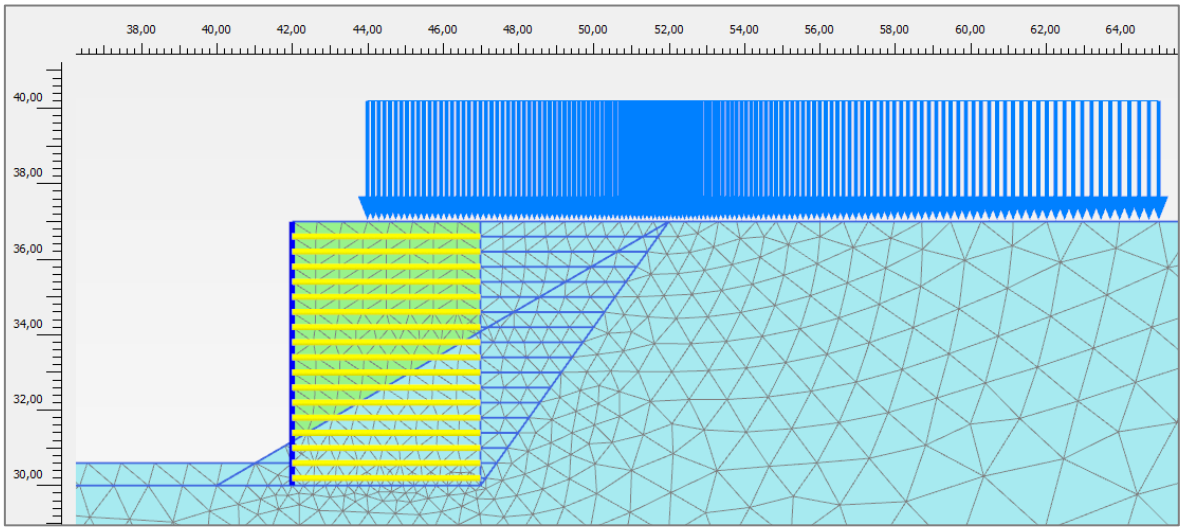
Şekil 4.27: Plaxis duvar geometrik modeli (H=7 m).

Tablo 4.16: Plaxis yüzey elemanı parametreleri.

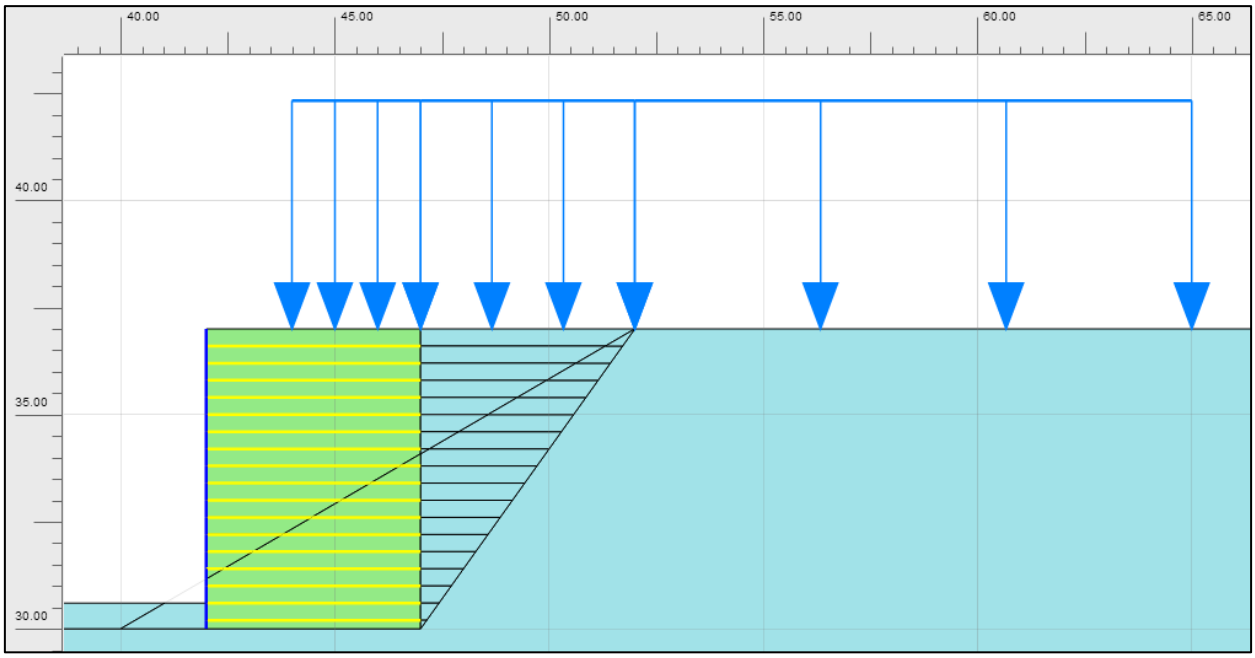
	Kalınlık d (m)	Uzama Rijitliği EA (kN/m)	Eğilme Rijitliği EI (kNm^2/m)	Ağırlık w (kN/m/m)	Poisson Oranı v
Yüzey Elemanı	0,4	$8x10^6$	$1x10^5$	1,6	0,2

Tablo 4.17: Plaxis geogrid parametreleri.

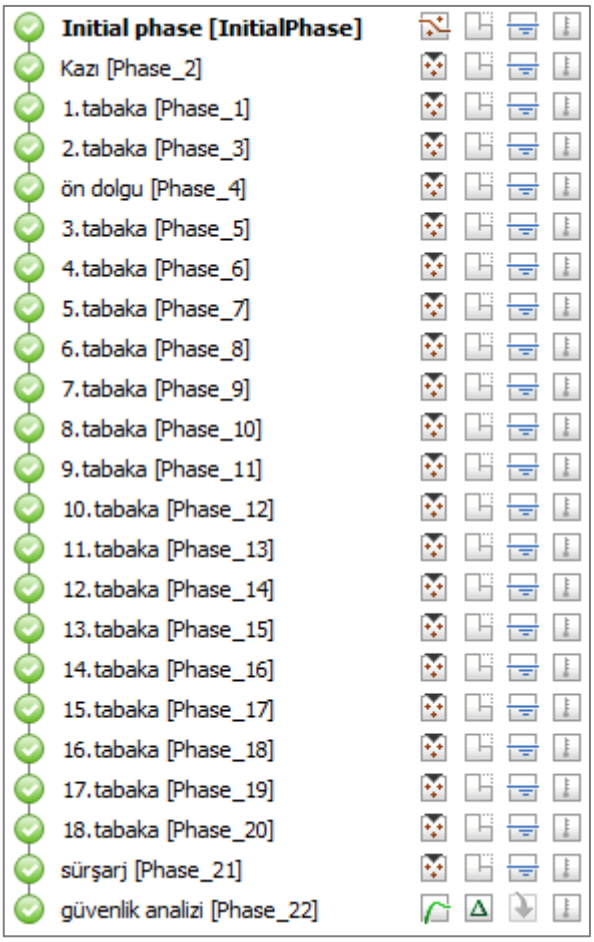
Geogrid	Malzeme tipi	EA (kN/m)	N_p (kN/m)
TENSAR 160RE	Elastoplastik	1500	42



Şekil 4.28: Geoduvarın plaxis sonlu elemanlar ağı (H=7 m).

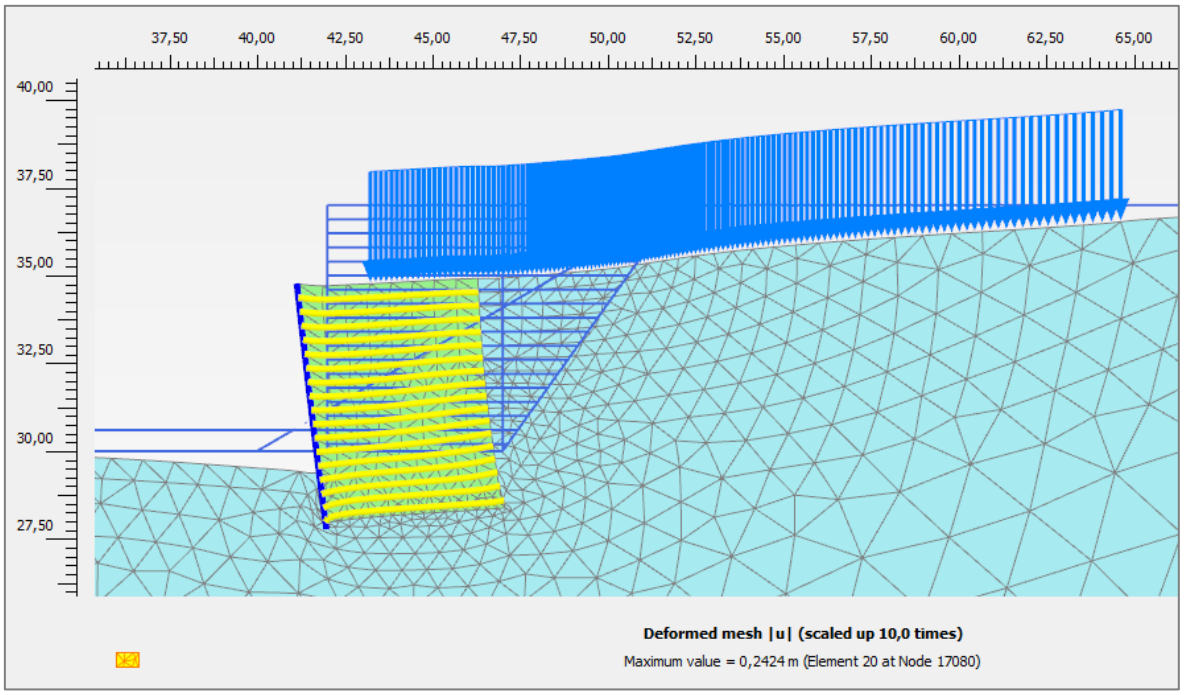


Şekil 4.29: Geogrid donatılı duvar inşası (H=7 m).

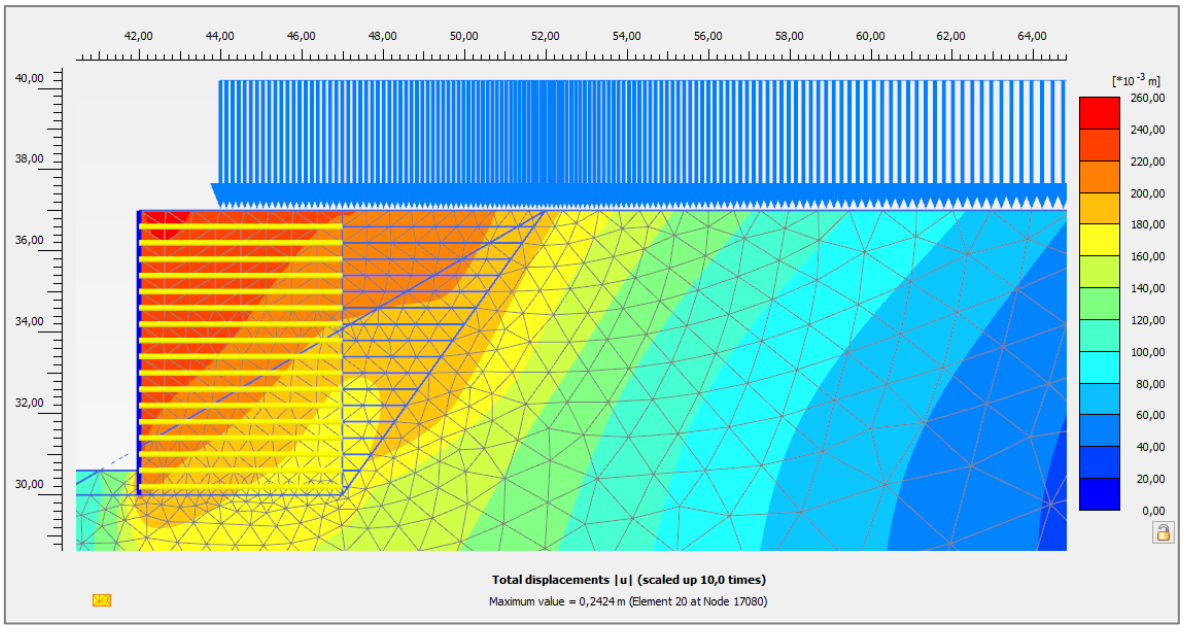


Şekil 4.30: Geoduvar için plaxis inşaat aşamaları (H=7 m).

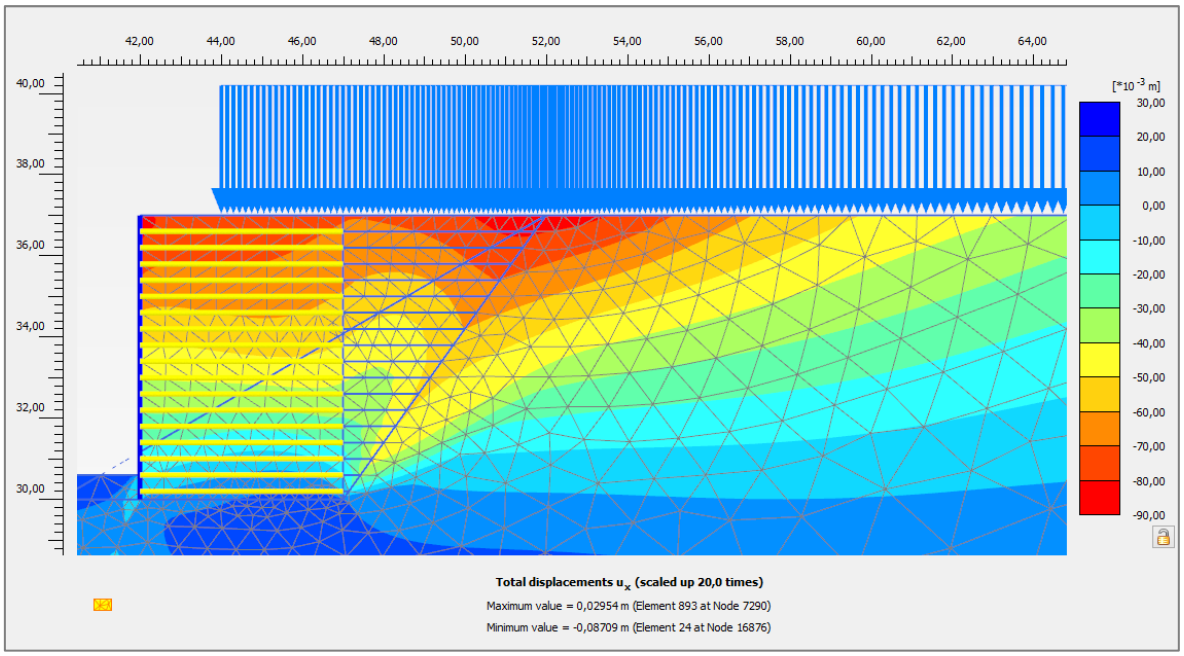
Analiz sonucu sistemin 10 kat abartılmış deforme olmuş sonlu elemanlar ağı ile gösterimi Şekil 4.31' de sunulmuştur. Toplam yer değiştirmeler Şekil 4.32 ile ifade edilmiştir. Şekil 4.33' de maksimum yatay yer değiştirme ve Şekil 4.34' de maksimum düşey yer değiştirme görülebilmektedir.



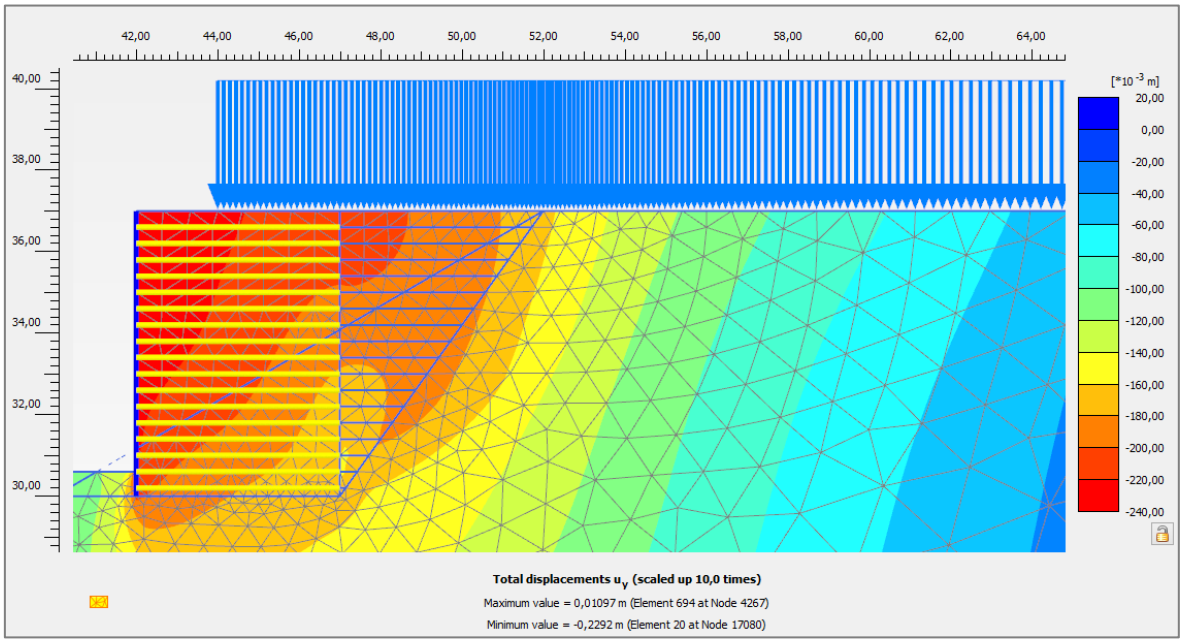
Şekil 4.31: Geoduvarın deforme olmuş sonlu elemanlar ağı (H=7 m**).**



Şekil 4.32: Geoduvarda toplam yer değiştirmeler (H=7 m).

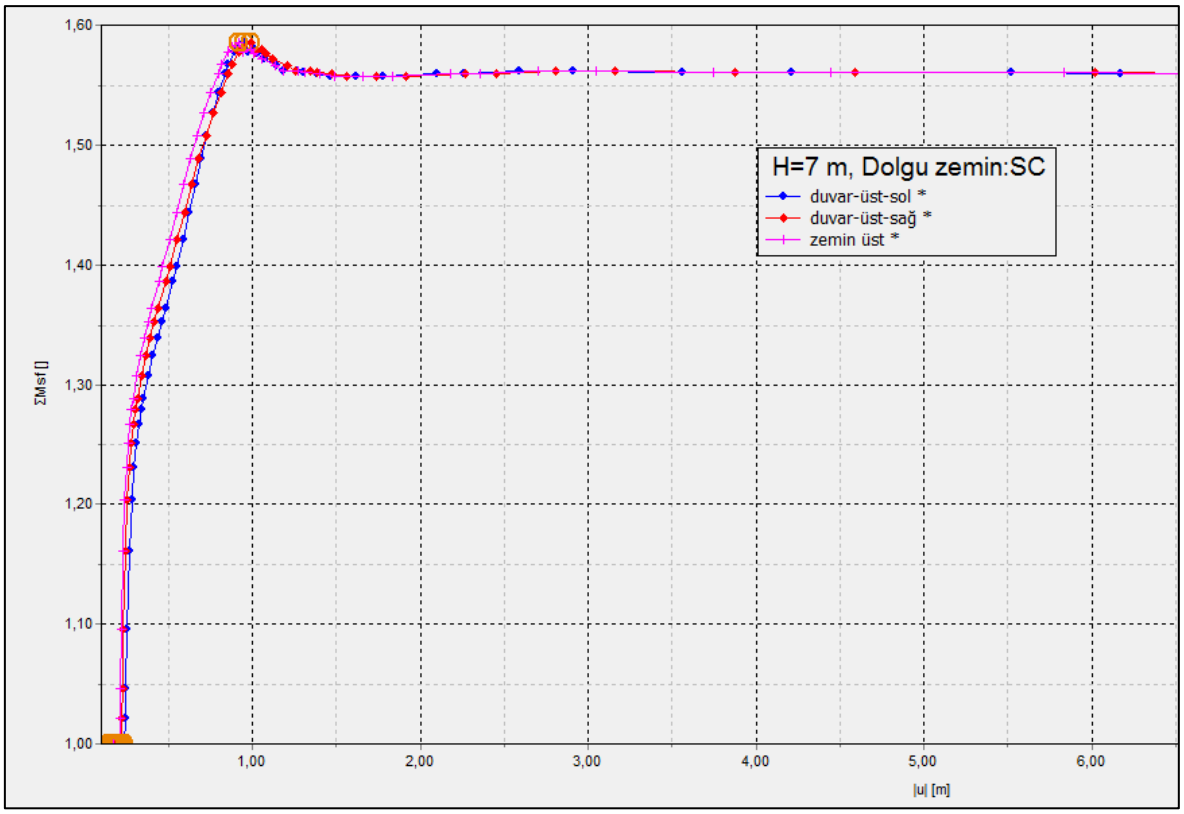


Şekil 4.33: Geoduvarda yatay yer değiştirmeler (H=7 m).

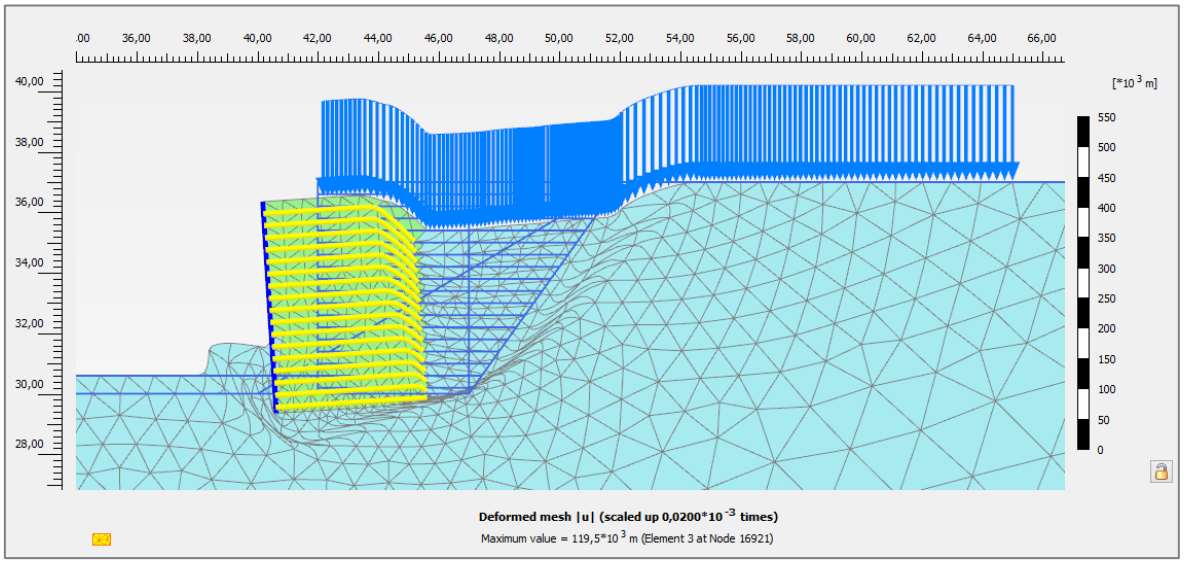


Şekil 4.34: Geoduvarda düşey yer değiştirmeler (H=7 m).

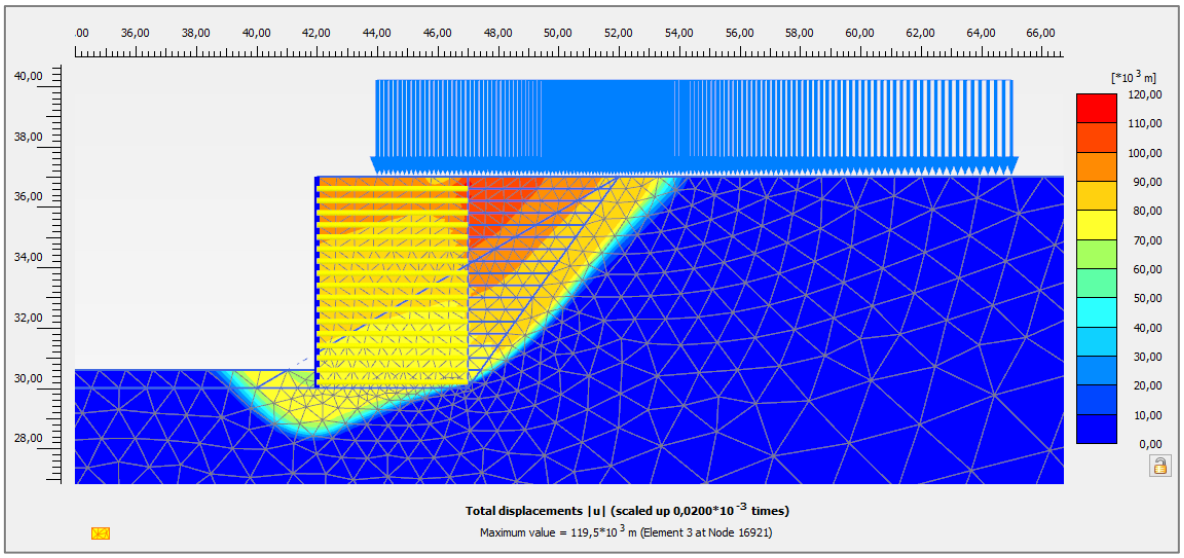
Geoduvarın stabilitesi için güvenlik sayısı 1.56 elde edilmiştir (Şekil 4.35). Güvenlik analizi aşamasında ölçekli olarak ifade edilen deformasyonlar ve toplam yer değiştirmeler Şekil 4.36 ve Şekil 4.37' de gösterilmiştir.



Şekil 4.35: Geoduvar güvenlik analizi eğrisi (H=7 m).



Şekil 4.36: Güvenlik analizi aşamasında ölçekli deforme ağ (H=7 m).



Şekil 4.37: Güvenlik analizi aşamasında ölçekli toplam yer değiştirmeler (H=7 m).

4.3.2 Plaxis Programı Analiz Sonuçları

Plaxis programı ile H=7 m ve H=13 m yükseklikteki iki ayrı geogrid donatılı duvar için dolgu zemin sınıfı değiştirilerek gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.18 ve Tablo 4.19 da gösterilmiştir. Sonuçların deformasyonlar ve göçme güvenlik sayıları cinsinden her iki duvarda da farklı dolgu zemin sınıfına dayalı olarak çok değişmediği hatta sabit olarak kabul edilebileceği düşünülmüştür. Maksimum yatay ve düşey deformasyonların ($u_{x\text{-}maks.}$ ve $u_{y\text{-}maks.}$), duvar yüksekliğine oranları cinsinden ($u_{x\text{-}maks.}/H$ ve $u_{y\text{-}maks.}/H$) geogrid donatılı dolgu duvarlar için beklenen sınır deformasyonları genel olarak aştığı söylenebilir. Literatürde geosentetik donatılı dolgu duvarlar için beklenen yaklaşık maksimum yatay deformasyon değeri $u_{x\text{-}maks.}$=0,005-0,01*H ve maksimum düşey deformasyon değeri $u_{y\text{-}maks.}$=0,01-0,02*H olarak ifade edilebilmektedir (Pauls vd. 2015).

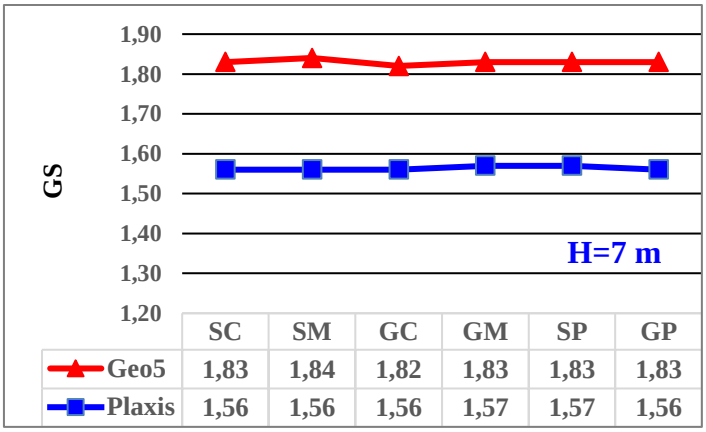
Tablo 4.18: Plaxis analiz sonuçları (H=7 m).

H=7 m D=0,6 m L=5 m q=15 kPa	**$U_{x\text{-}maks.}$ (mm)**	**$U_{x\text{-}maks.}/H$**	**$U_{y\text{-}maks.}$ (mm)**	**$U_{y\text{-}maks.}/H$**	**Göçme güvenlik sayısı GS**
SC	87	0,012	229	0,033	1,56
SM	84	0,012	224	0,032	1,56
GC	84	0,012	227	0,032	1,56
GM	85	0,012	220	0,031	1,57
SP	89	0,013	222	0,032	1,57
GP	94	0,013	236	0,034	1,56

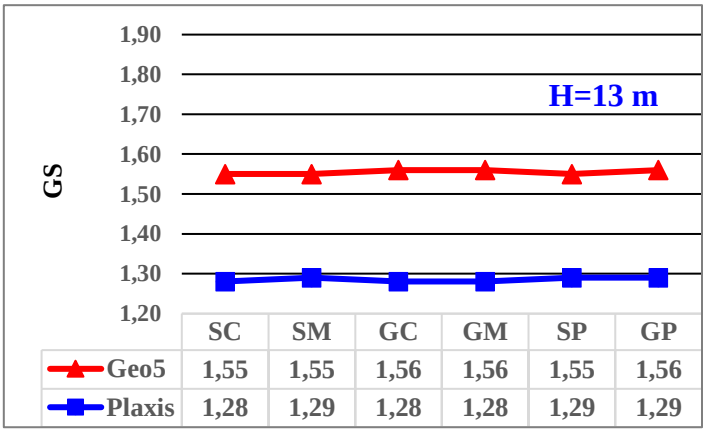
Tablo 4.19: Plaxis analiz sonuçları (H=13 m).

H=13 m D=0,65 m L=9.2 m q=15 kPa	$U_{x\text{-maks.}}$ (mm)	$U_{x\text{-maks.}}/H$	$U_{y\text{-maks.}}$ (mm)	$U_{y\text{-maks.}}/H$	Göçme güvenlik sayısı GS
SC	438	0,034	783	0,060	1,28
SM	432	0,033	770	0,059	1,29
GC	457	0,035	778	0,060	1,28
GM	438	0,034	749	0,058	1,28
SP	419	0,032	725	0,056	1,29
GP	445	0,034	776	0,060	1,29

Bu aşamada aynı zamanda plaxis analizleri ile bulunan göçmeye karşı güvenlik sayıları, Geo5 programı ile elde edilen toptan göçme güvenlik sayıları ile karşılaştırılmıştır (Şekil 4.38, Şekil 4.39). Tasarlanan geoduvar sistemlerinin plaxis analizleri geo5 çözümlerine oranla daha düşük güvenlikte sonuçlar verdiği görülmüştür.



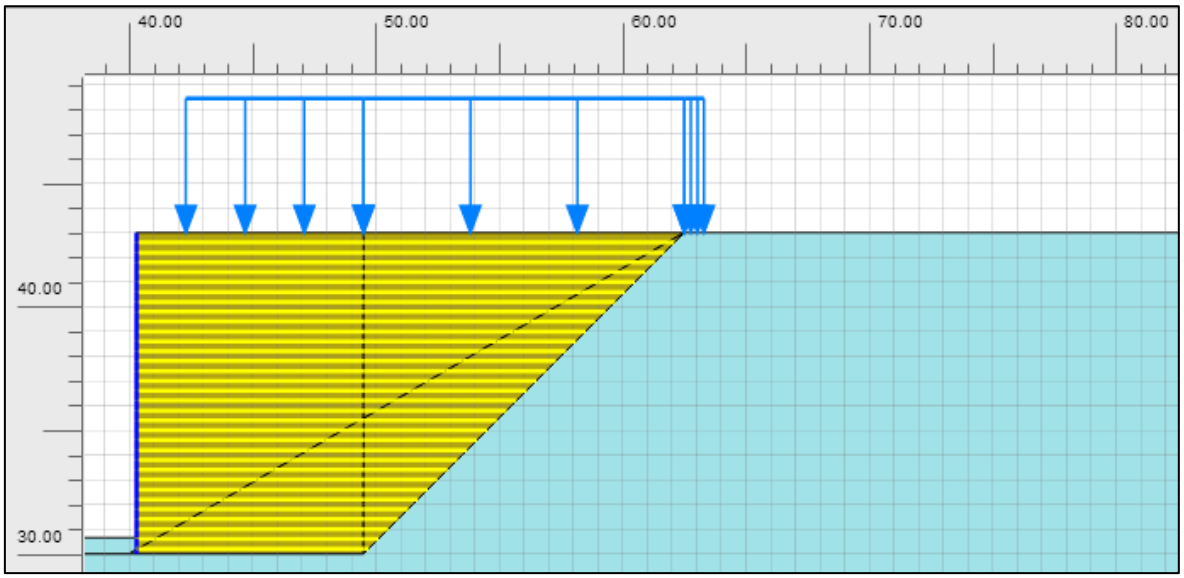
Şekil 4.38: Geoduvar sisteminin göçme güvenlik sayıları (H=7 m).



Şekil 4.39: Geoduvar sisteminin göçme güvenlik sayıları (H=13 m).

4.3.3 Plaxis Analizlerinde Ek Düzenlemeler

Bu kısımda H=13 m duvar yüksekliği için Şekil 4.40' da görüleceği üzere geosentetik donatılı istinat duvarın arkası da donatılandırılarak bu yapının stabiliteye olan etkisi Plaxis programı ile incelenmiştir. Duvar geometrisi, donatı ve dolgu malzemesi özellikleri önceki analizler ile aynı olacak şekilde duvar arkasına donatı yerleştirilmiş, donatılar arasında ise duvarda kullanılan dolgu malzemesi kullanılmıştır.

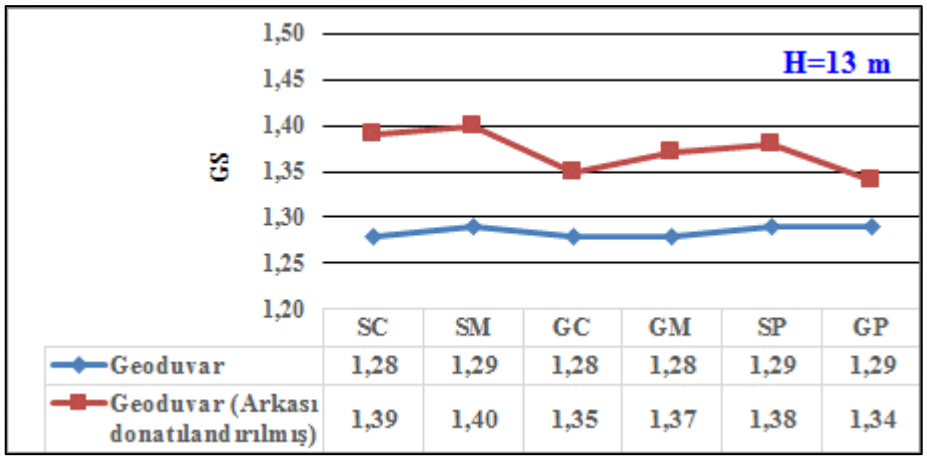


Şekil 4.40: Duvar arkası donatılandırılan sistemin geometrik modeli (H=13 m).

Duvar arkasının donatılandırılması ile gerçekleştirilen analiz sonuçları Tablo 4.20' de gösterilmiştir. Bir önceki analizdeki göçme güvenlik sonuçları ile Şekil 4.41' de görüleceği üzere kıyaslandığında, duvar arkasının donatılandırılması ile göçme güvenlik sayılarında bir miktar artış gözlenmiş ancak deplasman miktarlarında belirgin bir azalma meydana gelmemiştir (Tablo 4.21).

Tablo 4.20: Duvar arkası donatılandırılmış sistemin plaxis analiz sonuçları.

H=13 m D=0,65 m L=9.2 m q=15 kPa	**$U_{x\text{-maks.}}$ (mm)**	**$U_{x\text{-maks.}}/H$**	**$U_{y\text{-maks.}}$ (mm)**	**$U_{y\text{-maks.}}/H$**	**Göçme güvenlik sayısı GS**
SC	423	0,033	770	0,059	1,39
SM	402	0,031	747	0,057	1,40
GC	418	0,032	763	0,059	1,35
GM	403	0,031	730	0,056	1,37
SP	390	0,030	706	0,054	1,38
GP	414	0,032	766	0,059	1,34



Şekil 4.41: Geoduvar sistemlerinin göçme güvenlik sayılarının karşılaştırılması.

Tablo 4.21: Geoduvar sistemlerinin deplasman miktarlarının karşılaştırılması.

H=13 m D=0,65 m L=9.2 m q=15 kPa	**Geoduvar** $U_{x\text{-maks.}}/H$	**Arkası donatılandırılmış Geoduvar** $U_{x\text{-maks.}}/H$	**Geoduvar** $U_{y\text{-maks.}}/H$	**Arkası donatılandırılmış Geoduvar** $U_{x\text{-maks.}}/H$
SC	0,034	0,033	0,060	0,059
SM	0,033	0,031	0,059	0,057
GC	0,035	0,032	0,060	0,059
GM	0,034	0,031	0,058	0,056
SP	0,032	0,030	0,056	0,054
GP	0,034	0,032	0,060	0,059

4.3.4 Plaxis Analizlerinde Dolgu Parametrelerindeki Değişimin Etkisi

Önceki çalışmaların sonuçlarına bakıldığında, dolgu zemin sınıfı farklılığına dayalı olarak duvarlardaki deformasyonların ve göçme güvenlik sayılarının çok değişmediği hatta sabit olarak kabul edilebileceği görülmüştür. Bu kısımda H=13 m yüksekliğindeki geoduvar için farklı dolgu türlerinin her birinde, dolgu zemini parametre değerlerinden biri minimumda tutulmuş ve sırası ile diğer parametre değerleri arttırılarak analizler tekrarlanmıştır. Parametrelerdeki değişim aralığı geo5 veri tabanındaki her bir dolgu zemin sınıfı için alt ve üst limit değerler olarak belirlenmiştir. Burada, duvardaki deformasyonlar ve göçme güvenlik sayıları üzerinde dolgu zemini parametrelerinden hangilerinin daha etkili olduğunun belirlenmesi amaçlanmıştır (Tablo 4.22-4.27, Şekil 4.42-4.43).

Tablo 4.22: SC dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları.

c (kPa)	**ϕ (°)**	**E (Mpa)**	**γ (kN/m^3)**	***ν***	**M_{sf}**	**$U_{xmaks.}$ (mm)**	**$U_{ymaks.}$ (mm)**
4	26	4	18,50	0,35	1,26	558	931
6	26	4	18,50	0,35	1,27	537	912
8	26	4	18,50	0,35	1,28	528	902
10	26	4	18,50	0,35	1,29	520	893
12	26	4	18,50	0,35	1,30	514	886
4	**26**	4	18,50	0,35	1,26	558	931
4	**27**	4	18,50	0,35	1,27	547	921
4	**28**	4	18,50	0,35	1,28	542	916
4	26	**4**	18,50	0,35	1,26	558	931
4	26	**6**	18,50	0,35	1,26	510	856
4	26	**8**	18,50	0,35	1,26	480	820
4	26	**10**	18,50	0,35	1,26	468	799
4	26	**12**	18,50	0,35	1,26	465	789

Tablo 4.23: SM dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları.

c (kPa)	**ϕ (°)**	**E (Mpa)**	**γ (kN/m^3)**	***ν***	**M_{sf}**	**$U_{xmaks.}$ (mm)**	**$U_{ymaks.}$ (mm)**
1	28	5	18,00	0,30	1,28	550	921
2	28	5	18,00	0,30	1,28	531	909
4	28	5	18,50	0,30	1,29	500	885
6	28	5	18,00	0,30	1,30	484	867
8	28	5	18,00	0,30	1,31	474	853
10	28	5	18,00	0,30	1,32	463	842
1	**28**	5	18,00	0,30	1,28	550	921
1	**29**	5	18,00	0,30	1,29	539	912
1	**30**	5	18,00	0,30	1,29	528	903
1	28	**5**	18,00	0,30	1,28	550	921
1	28	**9**	18,00	0,30	1,28	489	826
1	28	**12**	18,00	0,30	1,28	473	800
1	28	**15**	18,00	0,30	1,28	469	786

Tablo 4.24: GC dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları.

c (kPa)	ϕ (°)	E (Mpa)	γ (kN/m^3)	ν	M_{sf}	$U_{xmaks.}$ (mm)	$U_{ymaks.}$ (mm)
2	28	40	19,50	0,30	1,26	496	818
4	28	40	19,50	0,30	1,27	480	802
6	28	40	19,50	0,30	1,28	465	788
8	28	40	19,50	0,30	1,29	453	777
10	28	40	19,50	0,30	1,30	445	770
2	**28**	40	19,50	0,30	1,26	496	818
2	**30**	40	19,50	0,30	1,28	483	806
2	**32**	40	19,50	0,30	1,30	466	787
2	28	**40**	19,50	0,30	1,26	496	818
2	28	**50**	19,50	0,30	1,26	495	816
2	28	**60**	19,50	0,30	1,26	494	815

Tablo 4.25: GM dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları.

c (kPa)	ϕ (°)	E (Mpa)	γ (kN/m^3)	ν	M_{sf}	$U_{xmaks.}$ (mm)	$U_{ymaks.}$ (mm)
1	30	60	19,00	0,30	1,28	473	788
2	30	60	19,00	0,30	1,29	464	779
4	30	60	19,00	0,30	1,29	452	765
6	30	60	19,00	0,30	1,30	441	754
8	30	60	19,00	0,30	1,31	430	744
1	**30**	60	19,00	0,30	1,28	473	788
1	**33**	60	19,00	0,30	1,30	446	759
1	**35**	60	19,00	0,30	1,31	434	744
1	30	**60**	19,00	0,30	1,28	473	788
1	30	**70**	19,00	0,30	1,28	471	788
1	30	**80**	19,00	0,30	1,28	470	787

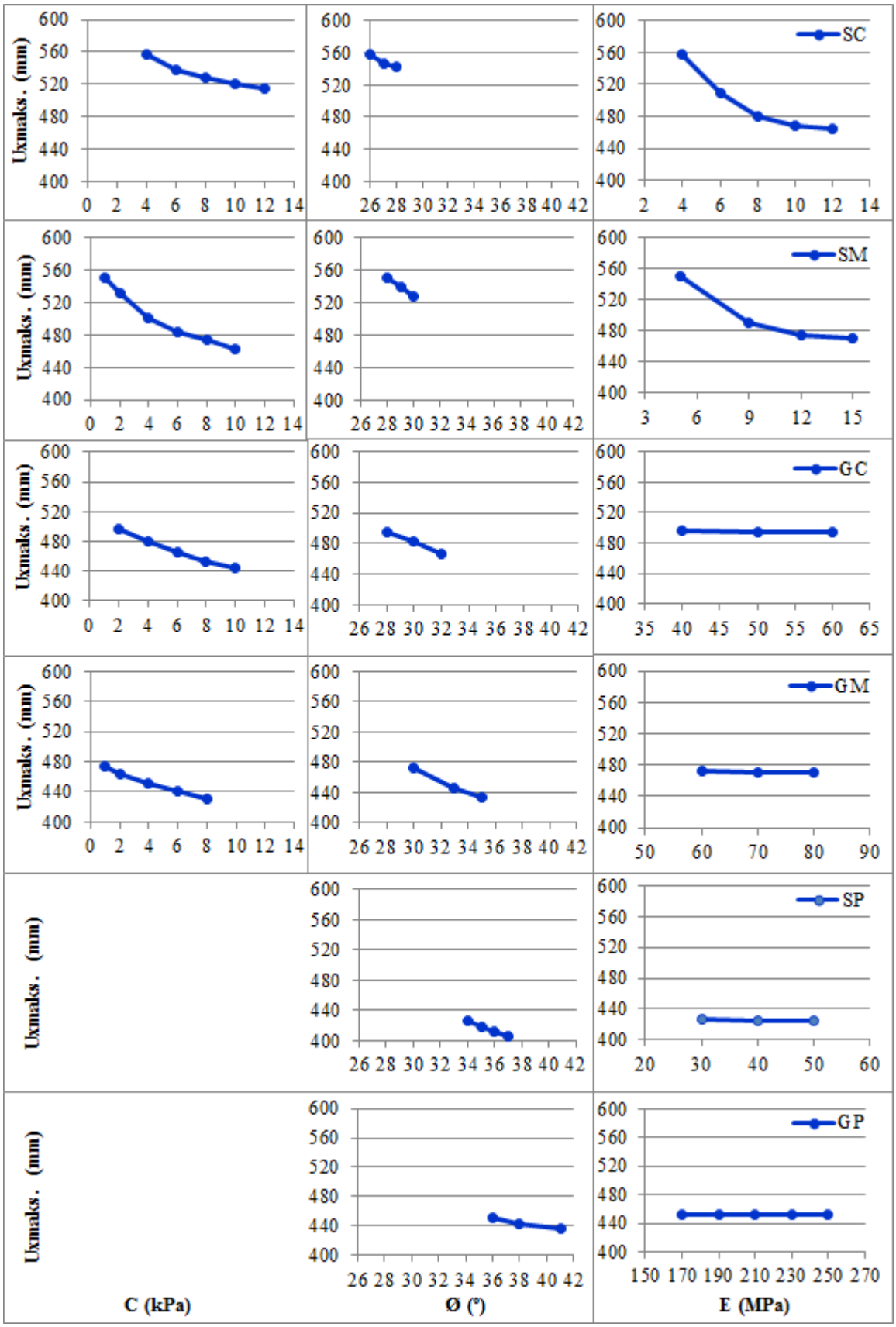
Tablo 4.26: SP dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları.

c (kPa)	ϕ (°)	E (Mpa)	γ (kN/m^3)	ν	M_{sf}	$U_{xmaks.}$ (mm)	$U_{ymaks.}$ (mm)
1	**34**	30	18,50	0,28	1,31	426	737
1	**35**	30	18,50	0,28	1,31	419	730
1	**36**	30	18,50	0,28	1,31	413	723
1	**37**	30	18,50	0,28	1,32	407	717
1	34	**30**	18,50	0,28	1,31	426	737
1	34	**40**	18,50	0,28	1,31	425	732
1	34	**50**	18,50	0,28	1,31	424	730

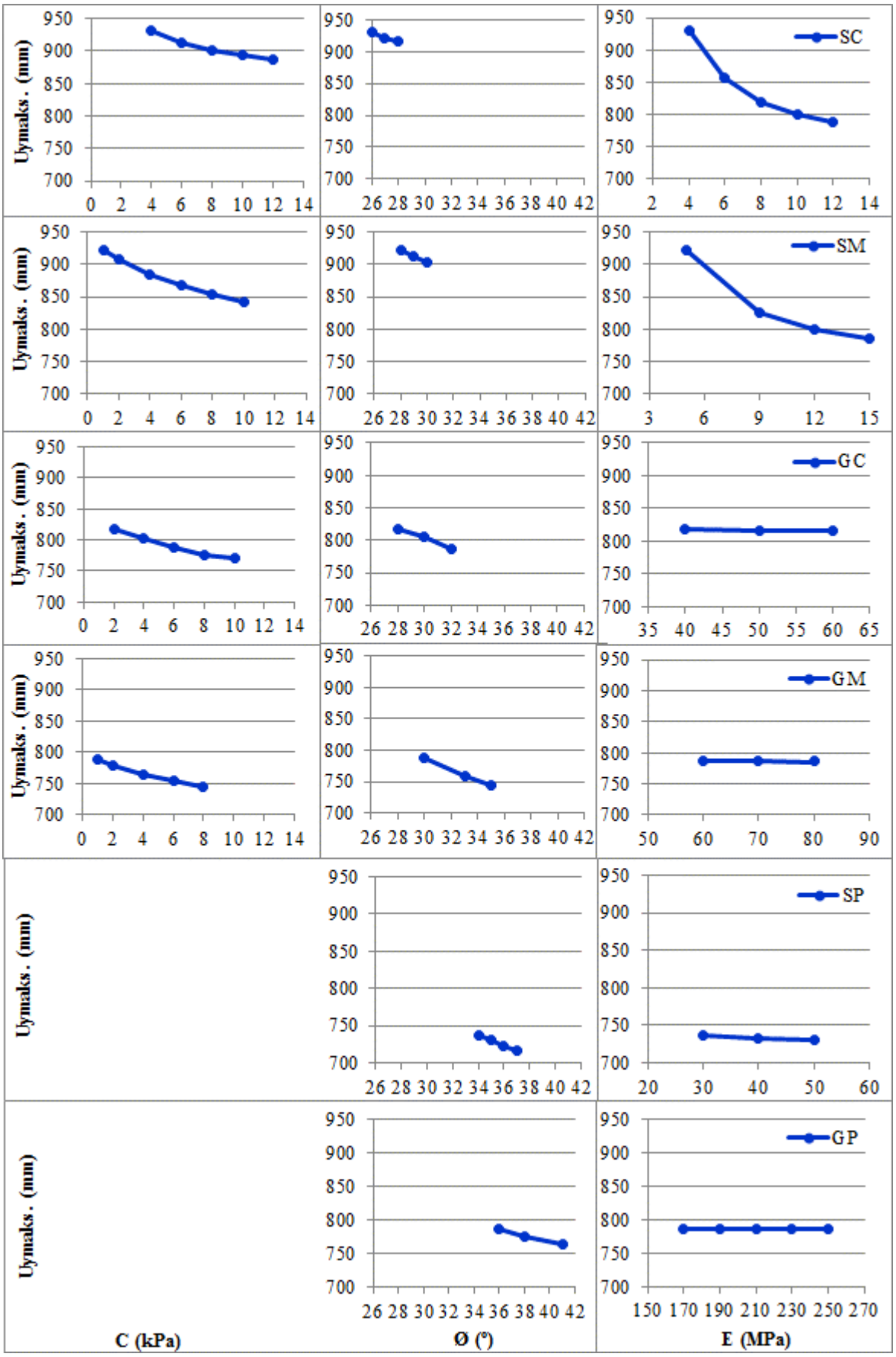
Tablo 4.27: GP dolgu zemini için parametre değişimi analiz sonuçları.

c (kPa)	ϕ (°)	E (Mpa)	γ (kN/m^3)	ν	M_{sf}	$U_{xmaks.}$ (mm)	$U_{ymaks.}$ (mm)
1	**36**	170	20,00	0,20	1,30	451	786
1	**38**	170	20,00	0,20	1,30	444	775
1	**41**	170	20,00	0,20	1,30	436	763
1	36	**170**	20,00	0,20	1,30	451	786
1	36	**190**	20,00	0,20	1,30	451	786
1	36	**210**	20,00	0,20	1,30	451	786
1	36	**230**	20,00	0,20	1,30	451	786
1	36	**250**	20,00	0,20	1,30	451	786

Geoduvarın göçme güvenlik sayısı üzerinde, elastisite modülündeki değişimin hiçbir etkisi olmamıştır. Diğer parametrelerde ki değişimlerin de güvenlik sayısı üzerindeki etkisinin yok sayılabilecek oranda olduğu belirlenmiştir. Hem yanal hem de düşey deplasmanı üzerinde özellikle rijitliği daha düşük olan zeminlerde (SC, SM), kohezyondaki değişimin içsel sürtünme açısı değişimine nazaran daha etkili olduğu ancak içsel sürtünme açısı arttıkça (GC, GM gibi) kohezyon ile içsel sürtünme açısı değişimlerinin yaklaşık olarak aynı oranda etkili olduğu söylenebilir (Şekil 4.42-Şekil 4.43). Elastisite modülündeki değişimler ise 15 MPa değerine kadar olan zeminlerde deplasmanları diğer parametrelere de oranla daha fazla etkilemiş ancak 40 MPa değerinin üstündeki zeminlerde deplasmanların hiç değişmediği gözlenmiştir.



Şekil 4.42: Dolgu parametrelerindeki değişimin yanal deplasman üzerindeki etkisi



Şekil 4.43: Dolgu parametrelerindeki değişimin düşey deplasman üzerindeki etkisi

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, geosentetik donatılı duvar tasarımı için parametrik analizler oluşturulmuştur. Analizlerde hesap yöntemleri açısından farklı yazılımlar olan Geo5 ve Plaxis programları kullanılmıştır. Duvar dolgusu için 6 farklı granülometri ve plastisitede zemin sınıfı belirlenmiş (SC, SM, GC, GM, SP, GP) ve zemin parametreleri Geo5 programının veri tabanından alınmıştır. Öncelikle farklı H duvar yükseklikleri (5 m, 7 m, 10 m, 13 m, 15 m) ve her bir dolgu zemin sınıfı için literatürdeki formüller ile ön tasarım boyutları olan Sv donatı aralıkları ve L donatı boyları hesaplanmıştır. Belirlenen Sv donatı aralıkları için hesaplanan L donatı boyları, beklenebileceği gibi artan duvar yüksekliği ile artmakta ve artan zemin rijitliği ile azalmaktadır. Ancak hesaplanmış olan donatı boyları, L/H oranları ile ifade edilecek olursa; artan duvar yüksekliği ile SC ve SM sınıfı düşük rijitlikteki dolgular için L/H oranlarının düştüğü belirlenmiştir. Bu oran GC ve GM sınıfı orta rijitlik seviyelerindeki dolgu zeminleri için sabit olarak ifade edilebilecek iken, SP ve GP sınıfı yüksek rijitlikteki zeminlerde duvar yüksekliği arttıkça L/H oranının arttığı söylenebilir. Bu sonuçlara karşılık, Sv=0,4 m kabulü ile sabit donatı aralıkları için L donatı boyları tekrar hesaplanmış ve L/H oranlarının, her bir zemin sınıfı için artan duvar yüksekliğine rağmen yaklaşık olarak sabit kaldığı belirlenmiştir. Diğer yandan her bir duvar yüksekliği için geçerli olmak üzere, L/H oranları artan zemin rijitliği ile azalmıştır. L/H oranlarının çalışılan zemin sınıfları için ortalama olarak 0,63 ile 0,48 arasında değiştiği söylenebilir. Bu değerler FHWA' ya göre minimum donatı boyu için önerilen L=0,7H oranının altında kalmaktadır.

Geo5 programı çalışma prensibi limit denge analizlerine dayanan bir yazılımdır. Geo5 programı ile analiz aşamasında, 5 farklı yükseklikteki duvar ve 6 farklı dolgu zemini için Sv=0,4 m lik sabit donatı aralıkları için hesaplanmış olan L donatı boyları kullanılmıştır. Analizlerde 7 m lik duvar yüksekliğinden itibaren, sıyrılma direnci ve boyutlandırma gibi donatı boyuna bağımlı tahkiklerde, özellikle SP ve GP sınıfı dolgular için tasarımın yetersiz olduğu söylenebilir. Bu durumun, hesaplanan L boyları için L/H oranlarının SP ve GP gibi rijitliği daha yüksek zeminler için daha düşük olmasından kaynaklandığı düşünülmüştür. Sonuçlar, L/H oranları ve GS-toptan göçme güvenlik sayıları cinsinden kıyaslanmıştır. Her bir dolgu zemin sınıfı için duvar yüksekliğindeki değişime rağmen, L/H oranlarının yaklaşık olarak sabit kabul edilebileceği ve toptan göçme güvenlik sayılarının artan duvar yüksekliği ile azaldığı görülmüştür. Diğer yandan tüm duvar yüksekliklerinde geçerli olmak üzere, toptan göçme güvenlik sayıları artan dolgu zemini rijitliğine rağmen az da olsa düşüş

göstermiştir. Bu durumun hesaplanan L değerleri için L/H oranlarının, artan zemin rijitliği ile azalmış olmasına dayalı olduğu belirtilmiştir. Bu aşamada, donatı boyunun L/H oranı cinsinden etkisini değerlendirmek amacıyla, 15 metrelik duvarda L=0.7*H donatı boyu için Geo5 analizleri tekrarlanmıştır. Sonuçlar hem donatı boyuna bağımlı sıyrılma direnci ve boyutlandırma tahkiklerinde tasarımın yeterli olduğunu göstermiş, hem de toptan göçme güvenlik sayıların da artan zemin rijitliği ile az da olsa bir artış gözlenmiştir.

Plaxis yazılımı, geoteknik mühendisliği problemlerinin sayısal analizi için geliştirilmiş bir sonlu elamanlar programıdır. Plaxis programı ile analizlerde, literatüre dayalı olarak iki ayrı geoteknik kategoriyi temsilen H=7 m ve H=13 m duvar boyları seçilmiştir. Donatı boylarının L=0.7 H olarak kabulü ile Geo5 programı ile tasarım ve tahkikler tekrarlanmıştır. Plaxis analiz sonuçlarına göre her iki duvar yüksekliğinde de, deformasyonların ve göçme güvenlik sayılarının farklı dolgu zemin sınıfına dayalı olarak çok değişmediği hatta sabit olarak kabul edilebileceği görülmüştür. Maksimum yatay ve düşey deformasyonların duvar yüksekliğine oranları cinsinden (ux-maks./H ve uy-maks./H) geogrid donatılı dolgu duvarlar için beklenen sınır deformasyonları genel olarak aştığı söylenebilir. Aynı zamanda plaxis analizleri ile bulunan göçmeye karşı güvenlik sayıları, Geo5 programı ile elde edilen toptan göçme güvenlik sayıları ile karşılaştırılmış ve tasarlanan geoduvar sistemlerinin plaxis analizleri ile geo5 çözümlerine oranla daha düşük güvenlikte sonuçlar verdiği görülmüştür.

Plaxis programı ile analizler bölümünde, H=13 m duvar yüksekliği için geosentetik donatılı duvarın arkası da donatılandırılmış ve bu yapının stabiliteye olan katkısı değerlendirilmiştir. Duvar arkasının donatılandırılması ile göçme güvenlik sayılarında bir miktar artış gözlenmiş ancak deplasman miktarlarında belirgin bir azalma meydana gelmemiştir. Bu aşamada diğer bir değerlendirme, duvardaki deformasyonlar ve göçme güvenlik sayıları üzerinde dolgu zemini parametrelerinden hangilerinin daha etkili olduğunun belirlenmesi olmuştur. Bu amaçla, H=13 m yüksekliğindeki geoduvar için farklı dolgu türlerinin her birinde, dolgu zemini parametre değerlerinden biri minimumda tutulmuş ve sırası ile diğer parametre değerleri arttırılarak analizler tekrarlanmıştır. Parametrelerdeki değişim aralığı geo5 veri tabanındaki her bir dolgu zemin sınıfı için alt ve üst limit değerler olarak belirlenmiştir. Elastisite modülündeki değişimin geoduvarın göçme güvenlik sayısı üzerinde hiçbir etkisinin olmadığı görülmüş, ayrıca diğer parametre değişimlerinin güvenlik sayısı üzerindeki etkisinin ise yok sayılabilecek oranda olduğu belirlenmiştir Hem yanal hem de düşey deplasmanı üzerinde özellikle rijitliği daha düşük olan zeminlerde, kohezyondaki

değişimin içsel sürtünme açısı değişimine nazaran daha etkili olduğu ancak içsel sürtünme açısı arttıkça kohezyon ile içsel sürtünme açısı değişimlerinin yaklaşık olarak aynı oranda etkili olduğu söylenebilir. Elastisite modülündeki değişimler ise 15 MPa değerine kadar olan zeminlerde deplasmanları diğer parametrelere de oranla daha fazla etkilemiş ancak 40 MPa değerinin üstündeki zeminlerde deplasmanların hiç değişmediği gözlenmiştir.

Bu çalışmaların devamında tasarlanan geogrid donatılı duvar modellerinin plaxis programı ile analizlerinde göçme stabilitelerinin sağlanması ve deformasyonların sınır değerlerin altına düşürülmesi amacıyla donatı boyları arttırılabilir. Diğer yandan Plaxis programı analizlerinin farklı zemin modelleri ve/veya doğal zeminde derinlik ile rijitlik artışı gibi daha gelişmiş yaklaşımlar ile de çözülmesinin gerekli olduğu düşünülmektedir.

6. KAYNAKLAR

Astarcı, B. (2008). *Frıctıonal behavıor of facıng elements of geosynthetıc reınforced soıl retaınıng structures* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 143294).

Bajlan, H.G.F. (2016). *Numerıcal analysıs of geosynthetıc reınforced earth walls wıth fınıte element method* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 432289).

Başar, E. E. (2017). *Geosentetik donatılı zeminlerin üç eksenli dayanımının incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 457230).

Bilgin, Ö. ve Mansour, E., (2013). Effect of reinforced type on the desing reinforcement length of mechanically stabilized eart walls. *Engineering Structures, 59,* 663-673. Erişim adresi: www.elsevier.com/locate/engstruct

Can, S. (2017). *Geosentetik donatılı istinat duvarlarının numeric analizi ve tasarım aşamaları* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 478441).

Çiçek, E., Güler, E. ve Yetimoğlu T. (2015). Sedde şevlerinin geosentetik ile donatılandırılmasının stabiliteye etkisi. *EÜFBED- Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 8(1),* 100-114. Erişim adresi: https://dergipark.org.tr

Das, B. M. (2011*). Principle of foundation engineering*. Stamford: Cengage Learning

Elias, V., Christopher B.R. ve Berg, R.R (2001). Mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes design and construction guidelines. *Department of Transportation Federal Highway Administration, 4,* 1-84. Erişim adresi: https://www.fhwa.dot.gov

Emir, A.S. (2005). *Donatılı zemin istinat duvarlarının statik ve dinamik yüklere göre tasarımı* (Yüksel lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No.166220).

FHWA-NHI-10-024 (2009). *Design and Construction of Mechanically Stabilized Earth Walls and Reinforced Soil Slopes,* Washington.

Güler E. (2006). Geosentetik donatılı istinat duvarı bir şartname taslağı. *İkinci Ulusal Geosentetik Sempozyumu*, 221-227, İstanbul.

Güler, E. ve Demirkan, M. (2002). Geosentetik donatılı istinat duvarlarının dinamik yükler altında davranışı. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi,* 302-311, Eskişehir.

Han, J. ve Leshchinsky, D. (2004). Limit equilibrium and continuum mechanics based numerical methods for analyzing stabilitiy of mse walls. *17th Asce Engineering Mekanics Conference*, 1-8, Delaware.

İçöz, G. (2014*). Effect of cyclıc loadıng on connectıon strength of geosynthetıc-reınforced structures* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 356942).

İncecik, M., Balkaya M. ve Afatoğlu H. A. (2006). Yumuşak zemin üzerine inşa edilen yol dolgularının geosentetikler ve taş kolonlar ile stabilizasyonu. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On Birinci Ulusal Kongresi,* 212-219, Trabzon.

Karaoğlan, H. (2014*). Frıctıonal behavıor between geosynthetıc reınforcement and facıng blocks* (Doktora Tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 387402).

Kaymakçı, S., Gündoğdu, D. ve Özçelik, H. (2017). Geogrid ile güçlendirilmiş zemin üzerine inşa edilmiş bir hibrid duvar sistemi vaka analizi. O. Akkol (Ed.), *Yedinci Ulusal Geosentetikler Konferansı,* 1-12, İstanbul.

Keskin, M., S., Bildik, S. ve Laman, M., (2008). Donatılı kum şevlere oturan şerit temellerin sayısal analizi. *Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı,* 91-100, İstanbul.

Koerner, R. B. (2005). Desing with geosynthetics. Prentice Hall: Englewood Cliffs

Krishnaswamy, N. R. ve Isaac, N. T., (2005). Liquefaction analysis of saturated reinforced granular soils. *Journal of GE, 9,* 6693. Erişim adresi: https://ascelibrary.org

Örnek, M., Demir, A., Yıldız, A. ve Laman, M., (2008). Yumuşak kil zeminlerde geogrid donatı etkisinin sayısal analizi. *Üçüncü Ulusal Geosentetikler Konferansı,* 1-11, İstanbul

Özkol. O. (2006). *Geosentetik donatılı istinat yapılarının tasarımı* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 222845).

Paul, W., Doygun, O., Westhus, S. (2015). Geosentetik Donatılı Dolgu İstinat Duvarı ve Köprü Ayakları. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi,* 332-343. doi: 10.5505/2015.Geoteknik.S044

Pınarlık, M., Öztürk Karadoğan, P. S. ve Kılıç Demircan, R. (2017). Şev stabilitesine zemin özelliklerinin etkisinin limit denge yöntemi ile irdelenmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarımı Dergisi, 5(3),* 675-684. doi:10.21923/jesd.334909

Selek, Ö. (2011*). Earthquake behavıor of geosynthetıc-reınforced retaınıng structures* (Doktora tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 286458).

Suliman, B.A., Mohamed, Kuo-Hsin Yang and Wen-Yi Hung, (2014). Finite element analyses of two-tier geosynthetic-reinforced soil walls: Comparison involving centrifuge tests and limit equilibrium results. *Computers and Geotechnics, 61,* 67-84. Erişim adresi: www.elsevier.com/locate/compgeo

Yardımcı, T. (2013*). Investıgatıon of geosynthetıc reınforced tıered retaınıng walls usıng fınıte element analysıs* (Yüksek lisans tezi). Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi veri tabanından erişildi (Tez No. 338864).

Yılmaz, H. R. ve Aklık P. (2006). Geosentetiklerin muhtelif geoteknik problemlerin çözümlerinde kullanım imkanları hakkında bir araştırma. *Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On Birinci Ulusal Kongresi*, 39-48, Trabzon.

Yılmaz, H.R., Eskişar, T. ve Aklık, P., (2005). Geofoam malzemesinin geoteknik mühendisliğinde kullanım alanları ve önemi üzerine bir inceleme. *İnşaat Mühendisleri Odası Teknik Dergisi, 123,* 14-19. Erişim adresi: http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı : Ali POLAT

Doğum tarihi ve yeri : **17.07.1989 Eleşkirt**

e-posta : alipolat@balikesir.edu.tr

Öğrenim Bilgileri

Derece	**Okul/Program**	**Yıl**
Y. Lisans	Balıkesir Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2020
Lisans	Atatürk Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2014
Lise	Erzurum Özel İstiklal Koleji	2007