



**FARKLI YÖNTEMLERLE HESAPLANAN NOKTASAL YÜK
TESİRLERİNİN GEOSENTETİK DONATILI DUVAR TASARIMINA
ETKİSİNİN İNCELENMESİ**

Murat KALENDER

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ARALIK 2019

Murat KALENDER tarafından hazırlanan “FARKLI YÖNTEMLERLE HESAPLANAN NOKTASAL YÜK TESİRLERİNİN GEOSENTETİK DONATILI DUVAR TASARIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Mustafa ÖZER

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Gülgün YILMAZ

Yapı Denetimi Programı, Eskişehir Teknik Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Prof. Dr. Nihat Sinan IŞIK

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/12/2019

Jüri tarafından kabul edilen bu çalışmanın Yüksek Lisans Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Sena YAŞYERLİ
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

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

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

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

.....
Murat KALENDER
13/12/2019

FARKLI YÖNTEMLERLE HESAPLANAN NOKTASAL YÜK TESİRLERİNİN GEOSENTETİK DONATILI DUVAR TASARIMINA ETKİSİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Murat KALENDER

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Aralık 2019

ÖZET

İnşaat mühendisliğinde birçok alanda kullanılan geosentetikler istinat duvarlarının imalatında da yaygın olarak kullanılmaktadır. Geosentetikle güçlendirilmiş istinat duvarlarının tasarımında duvara gelen yatay yüklerin hesaplanmasında kullanılan birçok farklı yöntem mevcuttur. Hesap yöntemlerindeki farklı kabullerin sonucu olarak, istinat duvarına gelen yatay yükün etkisiyle zeminde oluşan gerilme dağılımlarında da farklılıklar meydana gelmektedir. Gerilme dağılımlarındaki bu farklılıklara bağlı olarak, istinat duvarlarının tasarımında kullanılan geosentetik donatı uzunluğu ve aralığı değişiklik göstermektedir. Bu çalışmada, geosentetik donatılı istinat duvarlarının tasarımında, noktasal yük tesirinin hesaplanmasında kullanılan farklı yöntemler kullanılarak duvar tasarımı yapılmıştır. Hesaplamalarda 3m, 5m, 10m, 15m ve 20m olmak üzere beş farklı yükseklikte duvar dikkate alınmıştır. Geri dolgu malzemesi olarak kohezyonsuz ve içsel sürtünme açısı 37° olan bir zemin seçilmiştir. Tasarımda kullanılan geogridin nihai çekme (kopma) dayanımı, T_u , 50, 75 ve 100 kN/m olarak seçilmiştir. Hesap yöntemlerine bağlı olarak değişiklik gösteren sonuçlar, zemine etki eden gerilme dağılımı, geosentetik donatı uzunluğu, donatı aralığı ve güvenlik faktörleri açısından karşılaştırılmıştır.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Geosentetik, İstinat Duvarı, Geosentetik Donatılı İstinat Duvarı, Geogrid
Sayfa Adedi : 77
Danışman : Doç. Dr. Mustafa ÖZER

INVESTIGATION OF POINT LOAD EFFECTS CALCULATED BY DIFFERENT METHODS TO DESIGN OF MECHANICALLY STABILIZED EARTH WALL

(M. Sc. Thesis)

Murat KALENDER

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

December 2019

ABSTRACT

Geosynthetics which are used in many fields in civil engineering are also used commonly in the application of retaining walls. There are so many different design methods which are used for calculation of horizontal loads to the geosynthetic reinforced retaining walls. As a result of different acceptances in design methods, there occurs some differences in stress distributions on soil with the effect of the loads over the retaining wall. Depending on the differences in stress distributions, spacing and length of the geosynthetic reinforcement which is used in the design of retaining walls differ. In this study, a retaining wall which is under the effect of soil's own load and point load has been designed with different design methods which are used in design of geosynthetic retaining walls. In the calculations, walls of five different heights, 3m, 5m, 10m, 15m and 20m, were considered. As the backfill material, a non-cohesive soil with an internal friction angle of 37° was selected. The ultimate tensile strength, of the geogrid, T_u , used in the design was chosen as 50, 75 and 100 kN/m. The results depending on the design methods have been compared in terms of stress distribution on soil, length and spacing of geosynthetic reinforcement and factor safety values.

Science Code : 91105

Key Words : Geosynthetic, Retaining Wall, Mechanically Stabilized Earth Wall, Geogrid

Page Number : 77

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Mustafa ÖZER

TEŞEKKÜR

[Tez konumun belirlenmesi aşamasından bu yana tezle ilgili yaptığım çalışmalarda desteğini esirgemeyen tez danışmanım kıymetli hocam sayın Doç. Dr. Mustafa ÖZER'e; ders aşamasında aldığım derslerle öğrenimime katkı sağlayan kıymetli hocalarıma; tez aşamasındaki zorlukları birlikte aştığımız ve süreci dayanışma içerisinde yürüttüğümüz arkadaşlarıma; idari işlerde anlayışını esirgemeyen bölüm idaresi ve enstitü öğrenci işlerine; Yüksek Lisans öğrenimim boyunca desteğini ve anlayışını esirgemeyen sevgili aileme çok teşekkür ederim.]

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xv
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜRDEKİ ÖRNEKLER.....	3
2.1.Yöntemlerin Tanımlanması.....	4
2.2. Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması.....	7
2.3. Güvenlik Faktörü.....	8
2.4. Tasarımlar İle İlgili Karşılaştırmalar.....	10
2.5. Durum Değerlendirmeleri.....	16
3. TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER	17
3.1. NAVFAC Yöntemi.....	17
3.2. Forest Service Yöntemi.....	20
4. TASARIM PARAMETRELERİNİN TANIMLANMASI	21
5. GÜVENLİK FAKTÖRÜ.....	25
6. HESAPLAMALAR.....	27
6.1. Araç Tekerleğinden Kaynaklanan Noktasal Yüklerin Oluşturduğu Yatay Gerilmelerin Hesaplanması.....	27
6.1.1. Noktasal yükten kaynaklanan gerilmelerin hesaplanması.....	27

Sayfa

6.1.2. Toplam gerilmelerin hesaplanması.....	33
6.1.3. Duvar tasarımı yapılması.....	39
6.2. Tek Bir Noktasal Yükün Oluşturduğu Yatay Gerilmelerin Hesaplanması.....	48
6.2.1. Noktasal yükten kaynaklanan gerilmelerin hesaplanması.....	48
6.2.2. Toplam gerilmelerin hesaplanması.....	56
6.2.3. Duvar tasarımı yapılması.....	63
7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME.....	73
KAYNAKLAR	75
ÖZGEÇMİŞ.....	77

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Hesaplamalarda kullanılan tasarım parametreleri.....	21
Çizelge 5.1. Kopmaya karşı güvenlik faktöründeki azaltma katsayıları.....	25
Çizelge 6.1. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün 3 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	28
Çizelge 6.2. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 5 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	28
Çizelge 6.3. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 10 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	22
Çizelge 6.4. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 15 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	23
Çizelge 6.5. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 20 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	31
Çizelge 6.6. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	33
Çizelge 6.7. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	34
Çizelge 6.8. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	35
Çizelge 6.9. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	36
Çizelge 6.10. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	37
Çizelge 6.11. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvarda tasarım değerleri.....	41
Çizelge 6.12. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	41
Çizelge 6.13. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	42
Çizelge 6.14. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	42

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.15. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	43
Çizelge 6.16. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	43
Çizelge 6.17. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	45
Çizelge 6.18. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	43
Çizelge 6.19. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	47
Çizelge 6.20. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	48
Çizelge 6.21. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün 3 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	49
Çizelge 6.22. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 5 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	50
Çizelge 6.23. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 10 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	51
Çizelge 6.24. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 15 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	52
Çizelge 6.25. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre noktasal yükün 20 m'lik duvarda oluşturduğu gerilmeler.....	54
Çizelge 6.26. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	56
Çizelge 6.27. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	57
Çizelge 6.28. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	58
Çizelge 6.29. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	59
Çizelge 6.30. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.....	61

Çizelge	Sayfa
Çizelge 6.31. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	63
Çizelge 6.32. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	63
Çizelge 6.33. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	64
Çizelge 6.34. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	64
Çizelge 6.35. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	65
Çizelge 6.36. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	66
Çizelge 6.37. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	67
Çizelge 6.38. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	68
Çizelge 6.39. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	69
Çizelge 6.40. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.....	70
Çizelge 7.1. Araç yükünden kaynaklanan gerilmeler sonucunda hesaplanan donatı uzunluğu değerleri.....	74
Çizelge 7.2. Noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler sonucunda hesaplanan donatı uzunluğu değerleri.....	74

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Forest Service yönteminde yanal toprak basıncı dağılımı.....	5
Şekil 2.2. Broms yönteminde yanal toprak basıncı dağılımı.....	6
Şekil 2.3. Collin yönteminde geotekstil için yanal toprak basıncı dağılımı.....	6
Şekil 2.4. Collin yönteminde geogrid için yanal toprak basıncı dağılımı.....	7
Şekil 2.5. Bonaparte et al. yönteminde yanal toprak basıncı dağılımı.....	7
Şekil 2.6. 3,6 metre yüksekliğindeki duvar için Forest Service yöntemiyle tasarım yapılması.....	11
Şekil 2.7. 9,1 metre yüksekliğindeki duvar için Forest Service yöntemiyle tasarım yapılması.....	12
Şekil 2.8. 3,6 metre yüksekliğindeki duvar için Broms yöntemiyle tasarım yapılması.....	12
Şekil 2.9. 9,1 metre yüksekliğindeki duvar için Broms yöntemiyle tasarım yapılması.....	13
Şekil 2.10. 3,6 metre yüksekliğindeki duvar için Collin yöntemiyle tasarım yapılması.....	14
Şekil 2.11. 9,1 metre yüksekliğindeki duvar için Collin yöntemiyle tasarım yapılması.....	14
Şekil 2.12. 3,6 metre yüksekliğindeki duvar için Bonaparte et al. yöntemiyle tasarım yapılması.....	15
Şekil 2.13. 9,1 metre yüksekliğindeki duvar için Bonaparte et al. yöntemiyle tasarım yapılması.....	15
Şekil 3.1. NAVFAC yöntemine göre noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme dağılımı.....	18
Şekil 4.1. Aracın duvara göre konumunun üst görünüşü.....	22
Şekil 4.2. Hesaplamalarda dikkate alınan araç ve duvar kesiti.....	23
Şekil 6.1. Noktasal yükün oluşturduğu gerilme dağılımı.....	27
Şekil 6.2. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	28
Şekil 6.3. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	29

Şekil	Sayfa
Şekil 6.4. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	30
Şekil 6.5. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	31
Şekil 6.6. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	32
Şekil 6.7. Duvara etki eden gerilme dağılımlarının şematik gösterimi.....	33
Şekil 6.8. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	33
Şekil 6.9. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	34
Şekil 6.10. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	35
Şekil 6.11. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	36
Şekil 6.12. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	37
Şekil 6.13. 3 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.....	39
Şekil 6.14. 5 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.....	40
Şekil 6.15. 10 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.....	41
Şekil 6.16. 15 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.....	43
Şekil 6.17. 20 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.....	45
Şekil 6.18. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	49
Şekil 6.19. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	50
Şekil 6.20. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	52

Şekil	Sayfa
Şekil 6.21. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	53
Şekil 6.22. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m'lik duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	55
Şekil 6.23. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	56
Şekil 6.24. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	57
Şekil 6.25. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	59
Şekil 6.26. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	60
Şekil 6.27. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m'lik duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.....	62

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
Le	Etkin donatı uzunluğu, m
Lr	Kayma dairesi-duvar arasındaki donatı uzunluğu, m
m	Uzunluk, metre
m³	Hacim, metreküp
P	Yük, kN/m
R	Forest Service yönteminde çarpan, m
T_u	Donatı maksimum çekme dayanımı, kN
x	Yükün duvara uzaklığı, m
y	Yatay mesafe, m
z	Derinlik, m
γ	Zeminin birim hacim ağırlığı, kN/m ³
σ_H	Duvara etkiyen yatay gerilme, kN/m
σ_v	Düşey gerilme, kN/m
φ	Zeminin içsel sürtünme açısı, °

Kısaltmalar	Açıklamalar
HDPE	Yüksek yoğunluklu polietilen
kN	Yük, kilonewton
NAVFAC	Amerikan Deniz Kuvvetleri

1. GİRİŞ

Zemin, gezegenimizi oluşturan ana yapıdır ve inşaat mühendisliğinde yapılan tasarımların uygulanabildiği yegane ortamdır. Bu özelliğinin yanı sıra inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanılan doğal bir malzemedir.

Zeminin bir malzeme olarak kullanıldığı örnekler çok eskilere dayanmakla birlikte günümüzde de halen birçok örnek mevcuttur. Çeşitli kuru bitkilerle karıştırılarak evlerin duvarlarını ve aynı zamanda taşıyıcı sistemini oluşturmak için kullanılması, karayolu alt yapısında veya istinat duvarlarının arkasında dolgu malzemesi olarak kullanılması geçmişten günümüze birçok uygulamada karşılaştığımız örneklerdir ve halen yaptığımız tasarımların uygulanabilirliği açısından geçerliliğini korumaktadır.

Doğal haliyle zemin homojen olmayan bir yapıya sahiptir. Ortam koşullarına ve aldığı yüklere göre çeşitli davranışlar sergilemektedir. İnşaat mühendisliği uygulamalarındaki birçok koşulda zemin, stabilitesini korumakta zorlanmaktadır. Bazı durumlarda da dayanımının artırılması gerekmektedir.

Zeminin stabilizasyonunun sağlanması veya dayanımının artırılması, yapılan tasarımın ne olduğuna ve içinde bulunan koşullara göre birçok farklı yöntemle ve malzemeyle sağlanabilmektedir. İnşaat mühendisliği yapılarından biri olan istinat duvarları, zeminlerin stabilizasyonunun sağlanması için inşa edilen yapılardan biridir. İstinat duvarlarının tasarımı yapılırken bazı durumlarda, duvarın arkasında dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminin dayanımının artırılması gerekmektedir. Bunun için modern anlamdaki ilk çalışma 1960'lı yılların sonlarına doğru Henry Vidal tarafından yapılmıştır. Dolgu malzemesi olarak kullanılan zeminin belirli katmanlarının arasına metal şeritler eklenerek zeminin güçlenmesi sağlanmıştır (Robert M. Koerner, Designing with Geosynthetics 5th Edition).

İstinat duvarları tasarlanırken duvarların iç ve dış tahkikin değerlendirilmesi gerekir. Tezin kapsamı olarak bu çalışmada geosentetikli istinat duvarlarının tasarımında kullanılan bazı yöntemler, iç tahkik değerlendirmesi yapılırken elde edilen sonuçlar arasındaki farklılıklar açısından irdelenmiştir.

2. LİTERATÜRDEKİ ÖRNEKLER

Geosentetikli istinat duvarlarının iç tahkikinın değerlendirilmesinde kullanılan birçok yöntem literatürde mevcuttur (Claybourn, 1993). Bu yöntemler kullanılarak geosentetikli istinat duvarlarının tasarımıyla ilgili bazı çalışmalar yapılmıştır.

Ghanbari ve Taheri tarafından yapılan çalışmada bir şerit yük tarafından bir istinat duvarı üzerinde oluşan gerilme dağılımları hesaplanmıştır. Shahgholi et al. tarafından ortaya konulan yatay dilimler yöntemi incelenmiş ve bu yöntemdeki formülasyonlar şerit yükün duvara olan etkilerini belirlemek için kullanılmıştır. Yatay dilimler yöntemine dayandırılarak, çalışmada şerit yükten kaynaklanan yatay gerilemelerin hesaplanması için yeni bir formülasyon önerilmiştir. Bu sayede yapılan analizlerle birlikte çalışmada uluslararası yönetmeliklerdeki formülasyonlardan elde edilen sonuçlarla önerilen yeni formülasyonun sonuçları karşılaştırılmıştır (Ghanbari ve Taheri, 2012).

Analizler sadece zeminin kendi yükünün olduğu durum ve bununla birlikte şerit yükün ilave edildiği durum için yapılmıştır. Şerit yükün dahil edilmediği durumda, önerilen yöntem ve karşılaştırılan diğer yöntemlerden elde sonuçlar birbirine benzerlik göstermiştir. Şerit yükün dahil edildiği diğer analizde 50 kN/m ve 100 kN/m'lik şerit yükler kullanılmıştır. Buradaki sonuçlar ise önerilen yöntemin sonuçlarının diğer yöntemlerden birinin sonuçlarıyla iyi bir benzerlik gösterdiğini, diğer yöntemlerin sonuçlarıyla ise bazı farklılıklar gösterebildiğini ortaya koymuştur (Ghanbari ve Taheri, 2012).

Ahmadi ve Benzuijen tarafından yapılan çalışmada tam ölçekli iki tane geosentetikli istinat duvarı analiz edilmiştir. Duvarların biri rijit, diğeri ise esnek duvar yüzeyine sahiptir. Zemin tipi, donatı çeşidi ve donatı katmanı sayısı gibi diğer veriler ise her iki duvar için aynı tutulmuştur. Her iki duvara da şerit yük etkilmiştir. Çalışmada, dolgu malzemesinin serilmesi ve şerit yük etkilmesinin ardından duvar yüzeyinin rijitliğini dikkate alan bir analitik yöntem geliştirilmiştir. Analitik yöntemle elde edilen sonuçlarla deneysel sonuçlar arasında benzerlik olduğu görülmüştür. Sonuçlar, donatılardaki çekme kuvvetlerinin rijit yüzeye sahip duvarda esnek yüzeye sahip duvara nazaran daha az olduğunu göstermiştir. Donatılardaki maksimum gerilmelerin üst tabakalarda ve şerit yükü hemen altında meydana geldiği görülmüştür. Maksimum ötelenme esnek yüzeye sahip duvarda rijit

yüzeye sahip duvara nazaran daha fazla olmuştur ve rijit yüzeye sahip duvarda duvarın en üstünde olurken esnek yüzeye sahip duvarda duvarın en üstünden $z/H=0,81$ noktasında olduğu görülmüştür (Ahmadi ve Bezuijen, 2018).

Ho ve Rowe tarafından yapılan çalışmada donatı uzunluğu, donatı katmanı sayısı, donatı dağılımı ve duvar yüksekliği gibi geometrik parametrelerin donatıda gelişen kuvvetler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Donatı uzunluğunun duvar yüksekliğine oranının 0,7'ye eşit veya bu değerden daha büyük olduğu durumda, donatıda gelişen kuvvetlerin donatı uzunluğundan bağımsız olduğu görülmüştür. Bahsedilen oranın 0,7'de küçük olduğu durumlarda ise donatı uzunluğu azaldıkça donatıda oluşan kuvvetlerin arttığı görülmüştür. Donatı katmanı sayısının ise büyük bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Çalışma, donatı uzunluğunun duvar yüksekliğinin %70'i veya daha fazlası uzunluğunda kullanılmasıyla ilgili yaygın pratiğe teorik bir destek sunmuştur (Ho ve Rowe, 1997). Bu çalışma tezde ele alınan konuyla ilgili olarak, kullanılan yöntemle göre duvar yüksekliğinin tasarımlar ile ilgili belirleyici bir etkisi olabileceği üzerine bir örnek olarak sunulmuştur.

Tezde ele alınan konuya benzerlik gösteren çalışma ise Claybourn'un yüksek lisans tezi ve Wu ile birlikte 1993 yılında çıkardıkları, kendi tez çalışmasıyla paralellik gösteren makalesidir (Claybourn, 1991; Claybourn ve Wu, 1993). Bu çalışmaların dışında, bu tezde ele alınan konunun öncülü sayılabilecek başka bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu başlık altında yapılan açıklamalar Claybourn, A. F. ve Wu, J. T, H. 1993 makalesinden birebir çevrilmiştir ve kullanılan şekiller yine aynı makaleden temin edilmiştir.

2.1.Yöntemlerin Tanımlanması

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının iç tahkikinin değerlendirilmesinde kullanılan birçok farklı yöntem mevcuttur. Bu yöntemler arasından altı tanesi Claybourn ve Wu'nun makalesinde tasarım esasları ve sonuçları açısından irdelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

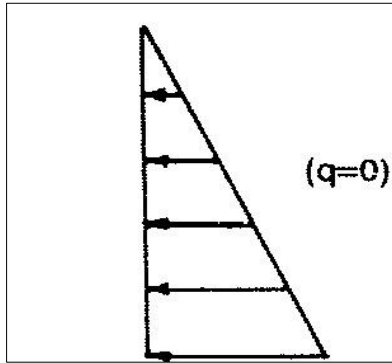
Tasarım yöntemlerinin seçiminde, uygulamada sıklıkla kullanılan yöntemler dikkate alınmıştır. Seçilen yöntemler, Forest Service yöntemi (Steward *et al.*, 1977 (revised in 1983)), Broms yöntemi (Broms, 1978), Collin yöntemi (Collin, 1986), Bonaparte *et al.* yöntemi (Bonaparte *et al.*, 1987), Leshchinsky ve Perry yöntemi (Leshchinsky & Perry, 1987) ve Schmertmann *et al.* yöntemi (Schmertmann *et al.*, 1987) olarak belirlenmiştir.

Yöntemler, genel olarak kullanılan limit denge eşitliklerine dayanmaktadır ancak gerilme dağılımı, yenilme yüzeyi, güvenlik faktörü gibi konularda yapılan kabuller açısından farklılıklar göstermektedir.

İlk dört yöntemdeki tasarım kriterleri yanal toprak basıncına dayanmaktadır. Bu yöntemler Rankine aktif yenilme durumu tarafından tanımlanan düzlemsel yenilme yüzeyini esas alır. Yöntemlerde donatılar yenilme yüzeyinin arkasına kadar uzatılır. Sonuç olarak bu yönüyle geri bağlı kama analiz yöntemlerine karşılık gelir. Geri bağlı kama analiz yöntemlerinin birçok benzerliği olmasına rağmen yatay kuvvetleri tanımlayabilmek için farklı yanal toprak basıncı dağılımları kullanırlar.

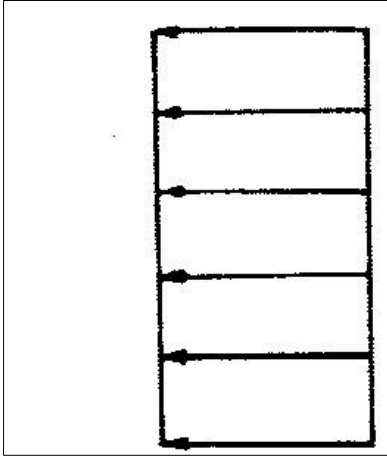
Bu yöntemler Rankine'in aktif yenilme yüzeyinin uygulanabilir olduğunu kabul etmektedirler ancak basınç dağılımlarının tümü Rankine'in aktif toprak basıncı dağılımlarından farklıdır.

Birinci yöntem basınç dağılımının doğrusal olduğunu kabul eder ve bu kabulde derinlikle artan üçgensel bir basınç dağılımı söz konusudur (Şekil 2.1.).



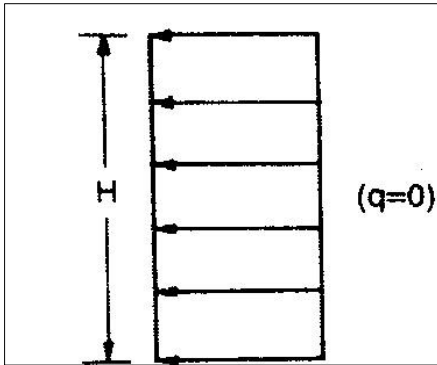
Şekil 2.1. Forest Service yönteminde yanal toprak basıncı dağılımı.

İkinci yöntemde, birinci yöntemde kabul edilen derinlikle artan üçgensel basınç dağılımından farklı olarak, basınç dağılımının derinlikle değişmediği, sabit olduğu kabul edilmektedir. Bu yöntemdeki basınç dağılımı kabulü Terzaghi & Peck (1967)'de önerilen, kum tipi zeminlerde inşa edilen iksa sistemlerindeki stratlara gelen yükleri hesaplamak için kullanılan basınç dağılımı kabulüyle benzerlik göstermektedir (Şekil 2.2.). Bu yöntem bu yönüyle birinci yönteme göre daha tutucu bir yöntemdir.



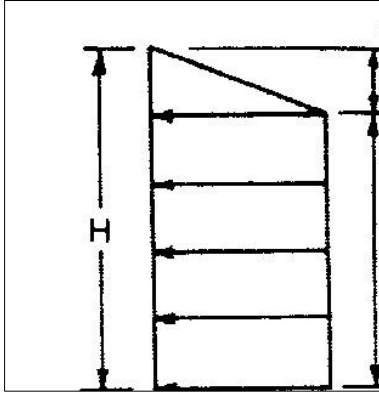
Şekil 2.2. Broms yönteminde yanal toprak basıncı dağılımı.

Üçüncü yöntemde geotekstil ve geogrid için farklı basınç dağılımları geliştirilmiştir. Geotekstil için ikinci yöntemdekine benzer bir şekilde, basınç dağılımının derinlikle değişmediği doğrusal bir dağılım esas alınmıştır (Şekil 2.3.).



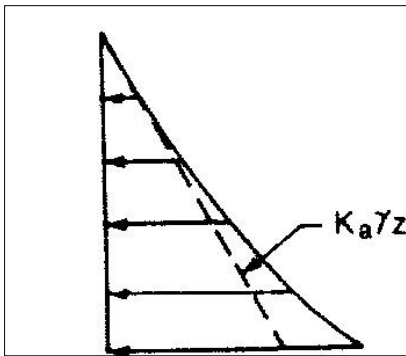
Şekil 2.3. Collin yönteminde geotekstil için yanal toprak basıncı dağılımı.

Geogrid için ise başlangıçta doğrusal olarak artan ancak sonra sabit devam eden bir basınç dağılımı geliştirilmiştir. Gerilmenin büyüklüğü için verilen formülasyona bakıldığında geotekstil için geliştirilen yöntemle göre daha tutucu bir yaklaşım olduğu görülmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Collin yönteminde geogrid için yanal toprak basıncı dağılımı.

Dördüncü yöntemde ise Rankine'in aktif toprak basıncına dayanan ancak donatılı taraftaki zeminin düşey yükünün de hesaba katıldığı doğrusal olmayan bir basınç dağılımı kullanılmıştır (Şekil 2.5.).



Şekil 2.5. Bonaparte et al. yönteminde yanal toprak basıncı dağılımı.

Geosentetikle güçlendirilmiş istinat duvarları için bahsedilen bu yöntemlerin yanı sıra başka yöntemler de bulunmaktadır. Bu yöntemlerin çoğu benzer bazı genel parametreleri kullanarak duvar tasarımı yapmaktadır.

2.2. Tasarım Parametrelerinin Tanımlanması

İlk olarak yükseklik ve duvar eğimi açısından duvar geometrisi belirlenmelidir. İkinci olarak geosentetikle güçlendirilmiş zeminin dayanım parametreleri tanımlanmalıdır. Bu parametreler genellikle zeminin birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı, donatı dayanımı ve zemin ile donatı arasındaki sürtünmeyi tanımlayan parametrelerdir.

Tüm tasarım yöntemlerinde kullanılmak üzere geosentetik donatının izin verilebilir çekme dayanımının bilinmesi gerekir. İzin verilebilir çekme dayanımı genellikle donatının maksimum çekme dayanımı üzerinden belirlenir ve duvarın imâlâtı sırasında karşılaşılabilecek donatı hasarlarına, zamana bağlı deformasyonlara ve donatının kaymasına yönelik olarak belirlenir. Bazı yöntemlerde ise donatının tasarım parametresi olarak kullanılacak dayanımına yönelik düzeltmeler, donatının polimer tipine ve üretim şekline göre belirlenir.

Geosentetikle güçlendirilmiş istinat duvarlarının tasarımında kullanılan yöntemlerin büyük bir çoğunluğu granüler dolgu malzemesinin kullanıldığı durumlar için geçerlidir. Yöntemlerin hiçbiri duvarın performansında önemli rol oynayabilecek taban zemini veya duvarın rijitliği gibi özellikleri konu almaz. Claybourn'un yaptığı bu çalışmada, yapının zeminle ilgili olan kısmının dayanımı tamamiyle zeminin içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığı açısından tanımlanmıştır.

Zemine ve donatı dayanım parametrelerine ek olarak zemin ve donatı arasındaki etkileşimi ifade eden bir parametreye de ihtiyaç vardır. Birçok yöntem için bu parametre zemin ve donatı arasındaki sürtünme katsayısıdır. Sürtünmeden kaynaklanan bu etkileşim, zemin dayanımının bir işlevi olduğundan bazen sürtünme verimliliği olarak da ifade edilir. Bu durum, zeminle donatı arasındaki sürtünme açısının tanjantının, zeminin içsel sürtünme açısının tanjantına oranı olarak ifade edilir. Geogridler için, gridlere etki eden pasif zemin direnci de hesaba katılabilir.

Zemin ile donatı arasındaki etkileşimi ölçebilmek için iki farklı temel yöntem bulunmaktadır. Bunlar birçok durum için farklı sonuçlar veren çekme ve direkt kesme deneyleridir.

2.3. Güvenlik Faktörü

Zeminle ve donatıyla ilgili parametrelerin bilinmesinin yanı sıra güvenlik faktörünün de tanımlanması gerekir. Güvenlik faktörünün tanımlanmasıyla ilgili olarak tasarım yöntemleri arasında önemli farklılıklar bulunmaktadır.

Zeminle ilgili yapıların limit denge analizleri için tanımlanan güvenlik faktörlerinde genellikle iki genel yaklaşım kullanılır. Bu yaklaşımlardan ilki güvenlik faktörünü, duraysızlığa karşı koyan kuvvetlerin veya momentlerin duraysızlığa sebep olma eğilimindeki kuvvetlere veya momentlere oranı olarak tanımlar. Bu durumda zeminin dayanımının tam etkin olduğu varsayılır.

Güvenlik faktörü uygulamak için kullanılan ikinci yaklaşım ise güvenlik faktörünü dayanım parametrelerini azaltmak için kullanmaktadır. Bu durumda ise zeminin dayanımının tam etkin olduğu varsayılmaz.

Geoteknik mühendisliği uygulamalarındaki stabilite analizleri için kullanılan limit denge yöntemlerinde ilk yöntem genellikle taşıma kapasitesi ve istinat duvarının stabilitesini değerlendirmek için kullanılır. İkinci yöntem ise genellikle donatısız şevlerin stabilitesini değerlendirmek için kullanılır.

Güvenlik faktörünü belirlemek için kullanılan bu her iki yaklaşım, yukarıda belirtilen ve bu çalışmada ele alınan tasarım yöntemlerinde kullanılmıştır. Bazı yöntemler her iki yaklaşımı da kullanır. Bu durum, halihazırda güvenlik faktörü uygulanmış parametrelerin nihai bir güvenlik faktörü daha edinmesiyle sonuçlanır.

Örneğin bazı yöntemler maksimum donatı dayanımının göreceli olarak küçük bir parçası olabilecek izin verilebilir donatı dayanımına karar verebilmek için kısmi güvenlik faktörleri kullanır.

Tasarımla ilgili hesaplamalarda kopmayla ilgili güvenlik faktörünün kullanılmasıyla donatıya gelen gerilme oldukça sınırlandırılmış olur. Bu çalışmanın amacına yönelik olarak güvenlik faktörleri ancak tasarım yöntemlerinde belirtildiğinde kullanılmıştır ancak bazı tasarım yöntemleri güvenlik faktörü üzerine herhangi bir fikir belirtmemiştir. Bu gibi durumlarda Bonaparte et. al. (1987)'daki öneriler dikkate alınmıştır. Bu önerilerde donatıya tanımlanan gerilme değeri donatının yaşlanması, muhtemel uygulama hatalarını içerecek şekilde belirlenmiştir ve bu değeri azaltmak için başka ek bir güvenlik faktörü uygulanmamıştır. Benzer şekilde, zeminin kesme dayanımına uygulanmak üzere bir güvenlik faktörü de önerilir.

2.4. Tasarımlar İle İlgili Karşılaştırmalar

Tasarımlar iki farklı duvar yüksekliği ve üç farklı donatı tipinin kombinasyonuyla oluşturulmuştur. İki farklı duvar yüksekliği 3,6m ve 9,1m olarak seçilmiştir. Bu sayede duvar yüksekliklerinin göreceli olarak birbirinden farklı olması sağlanmıştır.

Üç farklı donatı malzemesi seçilmiş ve buna bağlı olarak üç farklı dayanım parametresi kullanılmıştır. Birinci donatı, enine çekme dayanımı 26,3 kN/m olan iğnelenmemiş polipropilen geotekstildir. İğnelenmemiş geotekstiller ile granüler zeminler arasındaki sürtünme verimliliği genellikle %85 ve %100 arasında değişmektedir (ör. Martin *et al.*, 1984; Eigenbrod & Locker, 1987). Birinci donatı için sürtünme verimliliği, belirli bir tasarım yöntemi farklı bir değer belirtmedikçe %90 olarak alınmıştır.

İkinci donatı enine çekme dayanımı 52,6 kN/m olan iğnelenmiş polipropilen geotekstildir. En son atıfta bulunulan referansta iğnelenmiş geotekstillerin sürtünme verimliliğinin iğnelenmemiş geotekstillerinkine göre daha az olduğu belirtilmiştir. Belirli bir tasarım yöntemi farklı bir değer belirtmedikçe bu donatı için sürtünme verimliliği %80 olarak alınmıştır.

Üçüncü donatı ise yüksek yoğunluklu polietilen (HDPE) geogriddir. Bu donatı için 43,8 kN/m çekme dayanımı önerilmektedir. Sürtünme verimliliği başka bir yöntemde farklı bir değer belirtilmedikçe %90 olarak alınmıştır.

Donatı dayanımının tasarımda kullanılan değeri, yöntemlerde aksi belirtilmedikçe donatının maksimum dayanımının üçte biri olacak şekilde ve sürtünme verimliliği değeri yukarıda belirtildiği şekilde alınmıştır. Yöntemlerden üçü zemin ile donatı arasındaki sürtünmeyi zeminin içsel sürtünme açısının üçte ikisi olarak almıştır. Bu durum, 30 ile 40 derece arasında değişen zeminin içsel sürtünme açısı düşünüldüğünde %60 ile %63 arasında bir sürtünme verimliliğine karşılık gelmektedir.

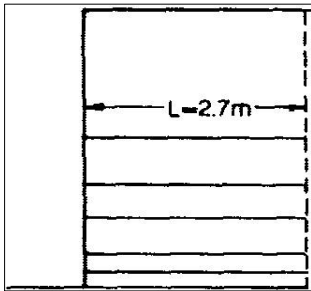
Elde edilen en belirgin sonuçlardan biri, toprak basıncı dağılımının derinlikle arttığı yöntemlerde donatı aralığının da derinlikle birlikte azalmasıdır. Basınç dağılımı derinlikle birlikte arttıkça daha sık donatı kullanılmaktadır. Basın dağılımının sabit olduğu yöntemlerde ise donatı aralığı değişmeden devam etmektedir.

Broms yönteminin dışındaki yöntemlerde sabit donatı uzunluğu kullanılmıştır. Leshchinsky ve Pery yöntemi diğer yöntemlere göre dikkate değer sayıda çok donatı katmanı kullanılmasıyla sonuçlanmıştır. Bu yöntem değişmeyen donatı katman aralığını belirtir ancak en alt tabakanın üzerindeki tabakaların işe yarar olabilmesi için donatı dayanımında doğrusal bir azaltmaya izin verir. Bu yöntemde çok sayıda donatı katmanının gözlenmesi izin verilebilir donatı dayanımının düşük tutulmasının bir sonucudur. Bu yöntemde izin verilebilir donatı dayanımı imalat sırasında oluşabilecek hasarlar, kayma ve yıpranma gibi etkiler hesaba katılarak maksimum donatı dayanımına bazı azaltma faktörlerinin (kısmi güvenlik faktörleri) uygulanmasıyla gözlenir.

Tasarım yöntemlerinin güvenlik toleranslarını değerlendirebilmenin bir yolu yöntemlerin güvenlik oranlarını karşılaştırmaktır. Güvenlik oranı burada, belirtilen tüm güvenlik faktörleri kullanılarak belirlenen donatı miktarının, maksimum dayanım parametreleri kullanılarak ve güvenlik faktörlerini 1.0 alarak elde edilen donatı miktarına oranı olarak tanımlanmıştır. Tasarım yöntemleri arasındaki belirgin farklılıkların, yöntemlerin izin verilebilir dayanım ve güvenlik faktörleri ile ilgili tanımlamalarının bir sonucu olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

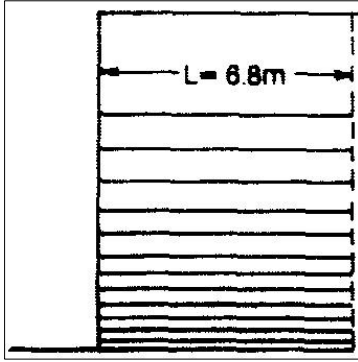
Yapılan çalışmanın sonuçları, kullanılan tasarım yöntemleri ve yöntemlerin uygulandığı duvar yükseklikleri açısından aşağıda özetlenmektedir.

İlk yöntem olan Forest Service yönteminde, yüksekliği 3,6 m olan duvar 1 ve 2 numaralı donatıdan 6 tabaka, 3 numaralı donatıdan ise 2 tabaka kullanılmasını gerektirmiştir. Bununla birlikte en üst tabaka, en yukarıdan 1,7 m aşağıya yerleştirilmiştir. En pratik tasarım, 1 numaralı donatının 0,5; 0,9; 1,4; 1,8; 2,3; 3,2; 3,4; 3,6 m derinliklere yerleştirildiği tasarımdır. Donatı uzunlukları her tabakada 2,7 metredir.



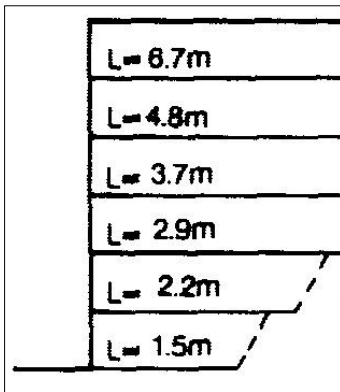
Şekil 2.6. 3,6 metrelik duvarda Forest Service yöntemiyle tasarım yapılması

Yüksekliği 9,1 metre olan duvar bir ve iki numaralı donatının sırasıyla 37 ve 38 tabaka kullanılmasını gerektirmiştir. Tabanda bırakılan boşluk 0,15 metredir. En pratik tasarım üç numaralı donatının kullanıldığı, en üst katmanda 2,7 metre ve en alt katmanda 0,3 metre boşluğun bırakıldığı 13 katmanlı tasarımdır. Donatı uzunlukları ise her tabakada 6,8 metredir.



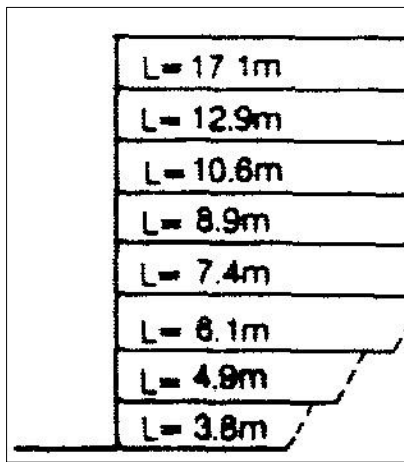
Şekil 2.7. 9,1 metrelik duvarda Forest Service yöntemiyle tasarım yapılması.

İkinci yöntem olan Broms yönteminde, yüksekliği 3,6 metre olan duvarda bir numaralı donatı kullanıldığında 6 tabaka, üç numaralı donatı kullanıldığında ise 2 tabaka donatı kullanılmıştır. Bu yöntem en üstteki tabakanın uzunluğunu yaklaşık olarak duvar yüksekliğinin iki katı olarak hesaplamaktadır ancak yöntem bir azaltmaya da olanak sağlamaktadır. En pratik tasarım 0,6 metre donatı aralığının olduğu ve bir numaralı donatının kullanıldığı tasarımdır. Bu yöntemle yapılan hesaplamada üst kısımlardaki donatıların uzunluğu 3 ve 4,5 metre arasında değişmektedir.



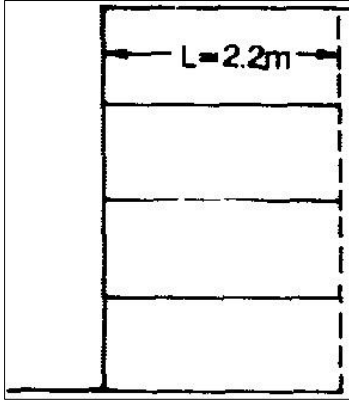
Şekil 2.8. 3,6 metrelik duvarda Broms yöntemiyle tasarım yapılması.

Yüksekliği 9,1 metre olan duvar için bir numaralı donatı 0,27 metre donatı aralığıyla 32 tabaka, iki numaralı donatı 0,58 metre donatı aralığıyla 16 tabaka, üç numaralı donatı ise 1,16 metre donatı aralığıyla 8 tabaka olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Duvar yüzeyine bağlı olarak, duvara tutunma açısından zayıf kalabilecek orta kısımlarda kalan donatılar üç numaralı donatıyla değiştirilerek tasarım yapılmasını gerektirebilir. Hesaplanan donatı uzunluğu bir numaralı donatı için 22 metreye kadar çıkabilmektedir. Bu değer en üstteki tabaka için geçerlidir ancak 6 veya 9 metre arasında bir değere kadar kısaltma yapılabilecektir.



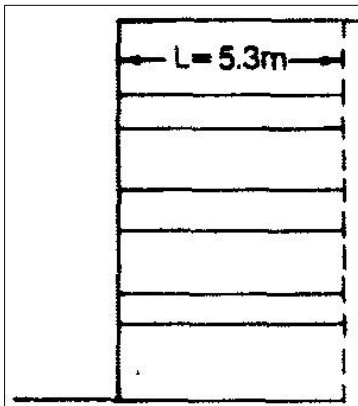
Şekil 2.9. 9,1 metrelik duvarda Broms yöntemiyle tasarım yapılması.

Üçüncü yöntem olan Collin yönteminde, yüksekliği 3,6 metre olan duvar için bir numaralı donatı 0,9 metre donatı aralığıyla 4 tabaka, iki numaralı donatı 1,8 metre donatı aralığıyla 2 tabaka, üç numaralı donatı ise 1 tabaka olacak şekilde tasarım yapılmıştır. En pratik tasarım bir numaralı donatının dayanımının yarısı dayanımda bir donatı kullanılarak 0,45 metre donatı aralında 8 tabaka donatı kullanılmasıdır. Donatı uzunlukları yaklaşık olarak 2,4 metredir. Bu yöntem güvenlik faktörüyle ilgili bir yönlendirme sunmamaktadır. İzin verilebilir donatı dayanımının hesaplanması için kullanılan, göreceli olarak çok da tutucu olmayan bir yaklaşımın sonucu olarak diğer yöntemlere göre daha az miktarda donatı gerekmektedir. Örneğin tasarımda kullanılan dayanım donatının çalışır durumdaki dayanımıdır.



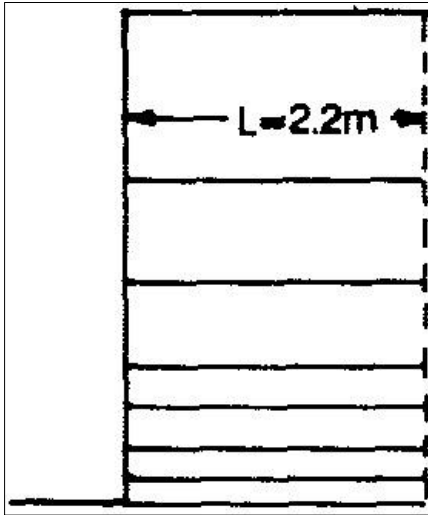
Şekil 2.10. 3,6 metrelik duvarda Collin yöntemiyle tasarım yapılması.

Yüksekliği 9,1 metre olan duvar için bir numaralı donatı 0,4 metre donatı aralığıyla 23 tabaka, iki numaralı donatı 0,76 metre donatı aralığıyla 12 tabaka, üç numaralı donatı ise 1,8-2,0 metre donatı aralığıyla 7 tabaka olacak şekilde tasarım yapılmıştır. Duvar yüzeyine bağlı olarak, duvara tutunma açısından zayıf kalabilecek orta kısımlarda kalan donatılar üç numaralı donatıyla değiştirilerek tasarım yapılmasını gerektirebilir. Donatı uzunlukları bir numaralı donatı için 6,5 metre, üç numaralı donatı için 5,3 metre olarak belirlenmiştir.



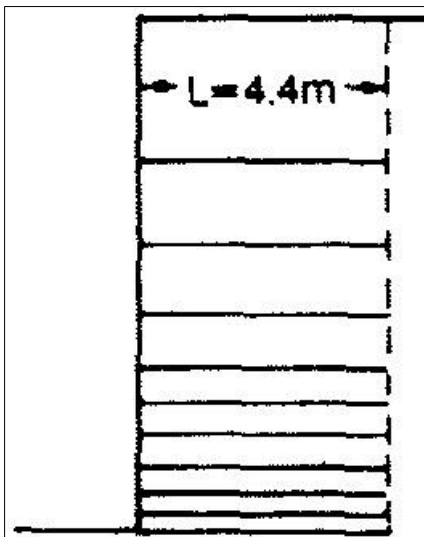
Şekil 2.11. 9,1 metrelik duvarda Collin yöntemiyle tasarım yapılması.

Dördüncü yöntem olan Bonaparte et al. yönteminde, yüksekliği 3,6 metre olan duvar için bir numaralı donatı 7 tabaka, iki numaralı donatı 4 tabaka, üç numaralı donatı ise 2 tabaka olacak şekilde tasarım yapılmıştır. En pratik tasarım bir numaralı donatının kullanıldığı tasarımdır ve donatı aralığı tabanda 0,23 metreden en yukarıda 1,2 metre arasında değişmektedir. Donatı uzunlukları bir numaralı donatıda 2,2 metreden üç numaralı donatı için 1,7 metreye kadar değişmektedir.



Şekil 2.12. 3,6 metrelik duvarda Bonaparte et al. yöntemiyle tasarım yapılması.

Yüksekliği 9,1 metre olan duvarda bir, iki ve üç numaralı donatılar sırasıyla 39, 20 ve 10 tabaka olacak şekilde tasarım yapılmıştır. En pratik tasarım, tabanda 0,3 metreden en yukarıda 2,4 metreye kadar değişen donatı aralığıyla üç numaralı donatının kullanıldığı tasarımdır. Bir ve iki numaralı donatılar için sırasıyla 0,1 metre ve 0,15 metre donatı aralığı gerekmektedir ancak bu durum tasarımın uygulanabilirliğini daha az pratik hale getirmektedir. Donatı uzunlukları bir ve üç numaralı donatılar için 4,4 metre ve iki numaralı donatı için 4,7 metre olarak belirlenmiştir.



Şekil 2.13. 9,1 metre yüksekliğindeki duvar için Bonaparte et al. yöntemiyle tasarım yapılması.

2.5. Durum Değerlendirmeleri

Claybourn ve Wu'nu yaptığı bu çalışmada, altı farklı tasarım yöntemini değerlendirmek için farklı yüksekliklerde iki istinat duvarı ele alınmıştır. Yöntemlerden hiçbirinin, limit denge durumları için gereken donatı dayanımı ve miktarını tam olarak tahmin edemediği görülmüştür. Ayrıca, kullanılan yöntemler yardımıyla yapılan tahminlerin arasında önemli farklılıklar gözlenmiştir.

3. TEZ ÇALIŞMASINDA KULLANILAN YÖNTEMLER

Daha önce yapılan bazı çalışmalarda (örneğin Claybourn ve Wu, 1993; Ghanbari ve Taheri, 2012; Ahmadi ve Bezuijen, 2018) kullanılan yöntemlerde duvarın arkasında bulunan dolgu zemininin kendi ağırlığından veya şerit yükten kaynaklanan yatay gerilme hesaba katılmıştır. Dolgu zemininin üzerine herhangi bir noktasal yük veya şerit yük etkitilmemiş, duvara etki eden gerilme sadece zeminin ölü yükünden kaynaklanan gerilme olarak kalmıştır (Claybourn ve Wu, 1993).

Bu çalışmada, geosentetik donatılı istinat duvarlarının iç tahkikin değerlendirilmesinde, duvarın arkasındaki dolgu zemininin üzerinde bulunan noktasal yükün duvara olan etkisini irdeleyen hesaplama yöntemleri kullanılmıştır. Bu yöntemler, NAVFAC yöntemi ve Forest Service yöntemi olarak belirlenmiştir. Bu yöntemler başlık 3.1'de açıklanmıştır.

Uygulamada duvarın arkasındaki zemine park etmiş bir araç, buraya yapılmış olan bir yapı veya bir iş makinası noktasal yük olarak değerlendirilebilmektedir.

3.1. NAVFAC Yöntemi

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının iç tahkikin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden biri Amerikan Deniz Kuvvetleri tarafından 1986 yılında yayımlanan Foundations & Earth Structures adlı tasarım kılavuzunda geçmektedir (NAVFAC, 1986).

Bu yönteme göre noktasal ve şerit yükün duvarda oluşturduğu yatay gerilmeler ayrı ayrı formüller yardımıyla hesaplanabilmektedir. Her iki yük çeşidinde de yükün duvara olan uzaklığı ve duvar yüksekliği, kullanılacak olan formülasyonun seçiminde önemli rol oynamaktadır (NAVFAC, 1986).

Bu yönteme göre yükün duvara olan uzaklığının, duvar yüksekliğine oranı m değeriyle ifade edilmiştir. Yükün duvarda oluşturduğu yatay gerilmeler hesaplanırken bu değere bakılarak uygun formülasyon seçilmektedir. m değeri bir orandır ve birimsizdir. Kullanılacak olan formül, bu değer 0,4 değeriyle olan ilişkisine bakılarak seçilir (NAVFAC, 1986).

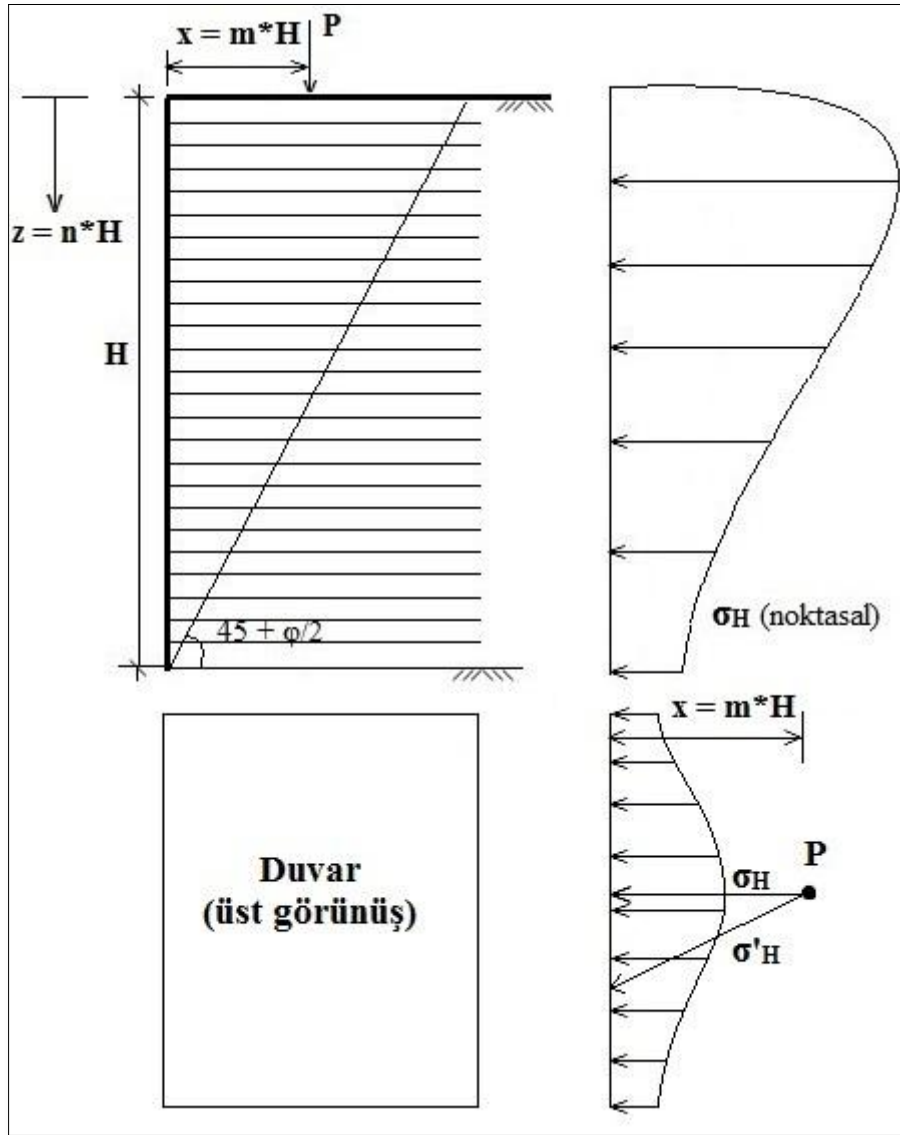
Bunun yanı sıra formülde n değeriyle ifade edilen, derinliğin duvar yüksekliğine oranı da hesaplamalarda yer almaktadır. Kullanılacak formülasyonun seçiminde n değerine bağlı bir durum söz konusu değildir ancak yükün duvarda oluşturduğu gerilmelerin derinlike olan ilişkisi, formülasyonlardaki yeri dolasıyla n değeriyle ilişkilidir (NAVFAC, 1986).

$m > 0,4$ olduğu durumda m değerinin (yükün duvardan ne kadar uzakta olduğuyla ve duvar yüksekliğiyle ilgili oran) duvara etkiyen yatay gerilmelerin hesaplanmasında kullanılan formülasyonun içinde de yer aldığı Şekil 3.1'de görülmektedir (NAVFAC, 1986).

Noktasal yük için verilen formülasyonda yükün duvara 90° açıyla etkidiği noktanın yatay gerilmenin (σ_H) olduğu yer olarak ele alınmasının yanı sıra, yükün belirli bir açıyla etki ettiği nokta da hesaba katılmıştır. Bu değer σ'_H olarak ifade edilmiştir; σ_H ve σ'_H 'ın etki ettiği nokta arasındaki açıya bağlı bir fonksiyon olarak ele alınmıştır (NAVFAC, 1986).

Bu durumlara bakılarak yatay gerilmenin yük, duvar yüksekliği, yükün duvara olan uzaklığı ve derinliğe bağlı bir fonksiyon olarak ele alındığı anlaşılmaktadır.

Noktasal yüke ait formül ve grafik Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. NAVFAC yöntemine göre noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme dağılımı (NAVFAC, 1986).

$m \leq 0,4$ için;

$$\sigma_H(H^2/P) = \frac{0,28n^2}{(0,16 + n^2)^3} \quad (1)$$

$m > 0,4$ için;

$$\sigma_H(H^2/P) = \frac{1,77m^2n^2}{(m^2 + n^2)^3} \quad (2)$$

$$\sigma'_H = \sigma_H \cos^2(1,1\theta) \quad (3)$$

Her iki yük çeşidinde kullanılan formülasyonların, deney sonuçlarına dayanılarak düzenlenmiş Boussinesq eşitliği olduğu belirtilmiştir (NAVFAC, 1986).

3.2. Forest Service Yöntemi

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının iç tahkikin değerlendirilmesinde kullanılan yöntemlerden bir diğeri Steward ve arkadaşları tarafından 1977 yılında USDA Forest Service için hazırlanan Forest Service yöntemidir (Steward et al., USDA Forest Service 1977).

Yöntemde duvar tasarımının Bell tarafından tanımlanan Rankine yaklaşımı kullanılarak yapıldığı belirtilmiştir. Buna ek olarak, hareketli yüklerden kaynaklanan yanal basınçların Boussinesq eşitliklerine dayandığı belirtilmiştir (Steward et al., USDA Forest Service 1977).

Formülasyona göre yatay gerilme,

$$\sigma_H = (P \cdot x^2 \cdot z) / R^5 \quad (4)$$

$$R = (x^2 + y^2 + z^2)^{0.5} \quad (5)$$

P: yük,

σ_H : yatay gerilme,

x: yükün duvara olan düşey mesafesi (m),

y: yükün etki ettirilen noktaya olan yatay mesafesi (m),

z: derinlik (m),

R: x, y ve z'ye bağlı bir değişken,

olarak ifade edilmektedir (Steward et al., USDA Forest Service 1977). Yüke ve yükün etki ettirildiği noktaya bağlı mesafeler bir sonraki bölümde Şekil 4.1'de gösterilmiştir.

4. TASARIM PARAMETRELERİNİN TANIMLANMASI

Tasarımın ilk aşamasında duvar yüksekliği belirlenmiştir. İkinci olarak geosentetikle birlikte kullanılacak geri dolgu malzemesinin dayanım parametreleri belirlenmiştir. Bu parametreler zeminin birim hacim ağırlığı, içsel sürtünme açısı ve duvarın güçlendirilmesinde kullanılacak olan geogridin mekanik özellikleri ile ilgili parametrelerdir. Tasarım parametreleriyle ilgili bilgiler aşağıdaki çizelgede toplu halde sunulmuştur. Tüm yöntemlerde aynı parametreler kullanılmıştır.

Çizelge 4.1. Hesaplamalarda kullanılan tasarım parametreleri.

Duvar yüksekliği, H (m)	3	5	10	15	20	Tasarım öncesi belirlenmiştir
Duvar eğimi (°)	90	90	90	90	90	Tasarım öncesi belirlenmiştir
Zeminin birim hacim ağırlığı, γ (kN/m ³)	16,84	16,84	16,84	16,84	16,84	Skejic et al., 2018
Zeminin içsel sürtünme açısı, ϕ (°)	37	37	37	37	37	Skejic et al., 2018
Geogrid çekme dayanımı, T_u (kN/m)	50	50	50	75	100	Tasarım öncesi belirlenmiştir
Donatı tasarım çekme dayanımı, T_a (kN/m)	22,73	22,73	22,73	34,09	45,46	Braja M. Das, 2006

Hesaplamalarda noktasal yük için ağırlığı 200 kN olan çift tendonlu ve iki dingilli dört tekerlekli bir araç ele alınmıştır (toplam sekiz tekerlek). Yükün her bir tekerleğe eşit olarak dağıldığı varsayılmıştır ve bu yükler duvara noktasal yük olarak etki ettirilmiştir (Şekil 4.1.).

Araç tekerlekleri 1'den 8'e kadar numaralandırılmıştır. Duvara gelen gerilmeler, tüm gerilmeler 1. tekerlek hizasına gelen nokta için hesaplanmıştır. Bu durumda 2, 4, 6 ve 8. tekerlekten kaynaklanan gerilmeler 90°'den farklı açılarla duvara etki etmektedir. Açılar sırasıyla 54,5; 45; 26,6 ve 23,6°'dir. Gerilmeler hesaplanırken, formüllerde kullanılan değerler Şekil 4.1'de verilen görseldeki mesafelere, dolayısıyla -hesaplamalarda yer verildiği şekilde- değişen açılara göre uygulanmıştır. Tüm hesaplamalarda aracın duvara olan mesafesi sabit tutulmuştur.

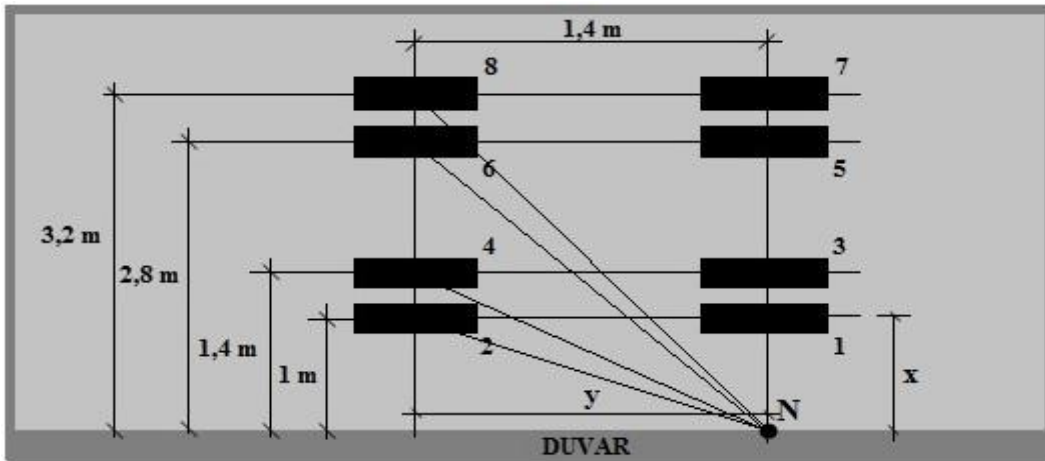
K_a katsayısı Rankine'in aktif yanal toprak basıncı için önerdiği formüle göre hesaplanmıştır (Braja M. Das, 2006). Buna göre K_a ,

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (6)$$

bağıntısıyla hesaplanmıştır.

Donatı tasarım çekme dayanımı, T_a , donatı çekme dayanımı T_u 'nun Çizelge 5.1'de verilen azaltma katsayılarına bölünmesiyle hesaplanmıştır. Buna göre T_a ,

$$T_a = T_u / (A.K_{yer.} \cdot A.K_{sün.} \cdot A.K_{k.-b.}) \quad (7)$$

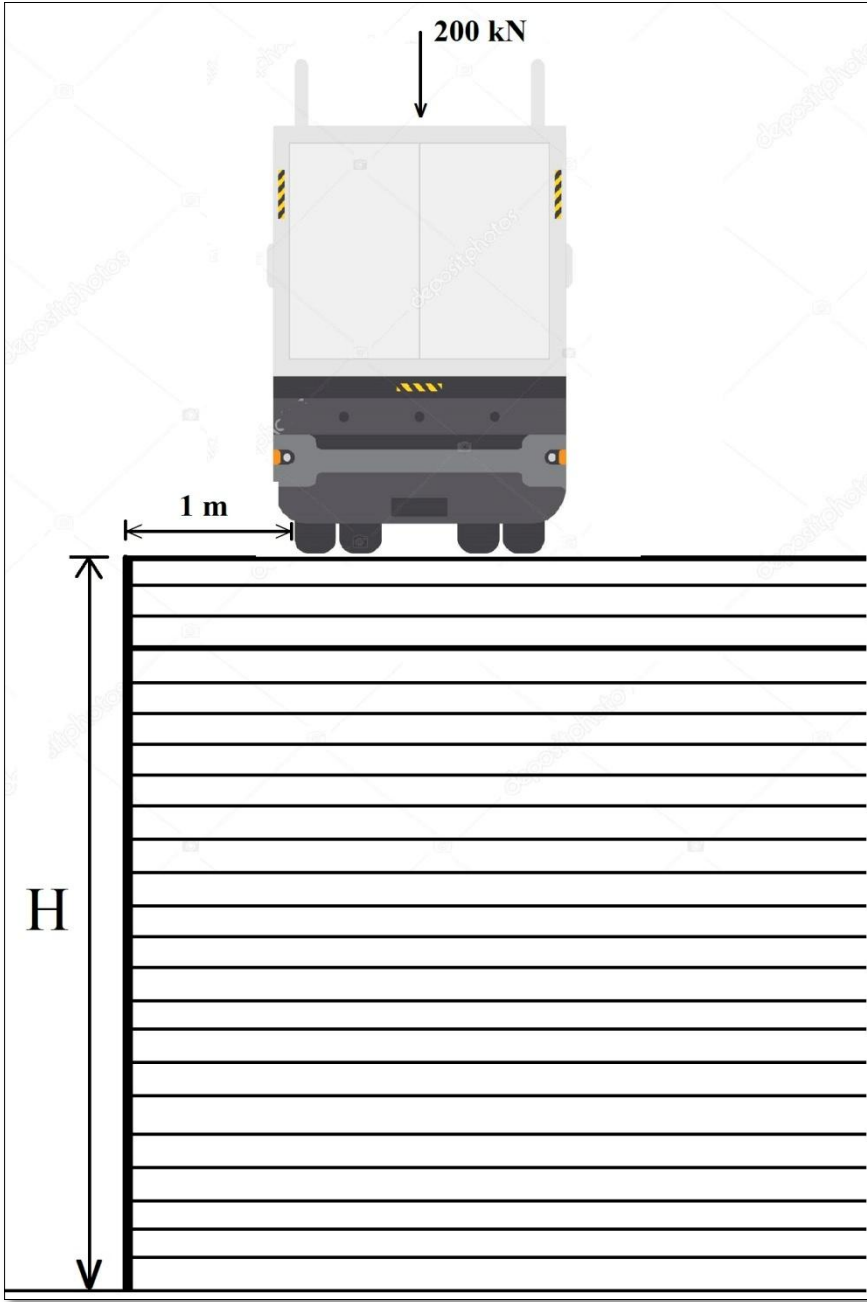


Şekil 4.1. Aracın duvara göre konumunun üst görünüşü.

Tasarım parametrelerinde kullanılan donatının çekme dayanımı $T_u=50$ kN olarak tasarım öncesi belirlenmiştir. Duvarların tasarımı yapılırken her duvarda ve her tabakada aynı donatı kullanılmıştır.

Donatı çeşidi ve donatı dayanımı her tabakada sabit tutulup, donatının gerilmeleri karşılayabilmesi için donatı aralıklarında değişiklikler yapılmıştır. Bu sayede, kullanılan yöntemler her duvar yüksekliği için kullanılan donatı miktarları açısından karşılaştırılabilmektedir.

Bir başka karşılaştırma ise donatı aralıkları sabit tutulup her bir duvar yüksekliği için güvenlik faktörleri arasındaki farklılıkları değerlendirmek amacıyla yapılmıştır.



Şekil 4.2. Hesaplamalarda dikkate alınan geogrid donatılı duvar ve noktasal yükü oluşturan temsili araç ($H = 3, 5, 10, 15$ ve 20 m olarak alınmıştır).

5. GÜVENLİK FAKTÖRÜ

Geosentetik donatılı istinat duvarlarının iç tahkikinde donatı uzunluğu hesaplanırken iki farklı güvenlik faktörü dikkate alınır. Bunlar donatının kopması veya sıyrılmasıyla ilgili güvenlik faktörleridir.

Kopmaya karşı güvenlik faktörü, $F.S._{(kop.)}$, her duvar için 1,3 ile 1,5 arasında veya daha üzerinde tutulmuştur ve donatının maksimum çekme dayanımına bazı azaltma faktörleri uygulandıktan sonra elde edilen gerilme değerinin, her yükseklikte duvara etkiyen yatay gerilme değerlerine bölünmesiyle elde edilmektedir. Azaltma katsayıları donatının yerleştirilmesi, sünmesi ve donatının maruz kalabileceği kimyasal ve biyolojik etkiler düşünülerek kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan azaltma katsayıları önerilen referans değerleriyle birlikte Çizelge 5.1.'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1. Kopmaya karşı güvenlik faktöründeki azaltma katsayıları.

Yerleştirme hasarı dayanım azaltma katsayısı, $A.K._{yer.}$	1,1
Sünmeden dolayı dayanım azaltma katsayısı, $A.K._{sün.}$	2
Kimyasal-Biyolojik etkilerden dolayı dayanım azaltma katsayısı, $A.K._{k.-b.}$	1

6. HESAPLAMALAR

Hesaplamalar bir aracın oluşturduğu yükten ve tek bir noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler olarak iki ayrı başlık altında ele alınmıştır.

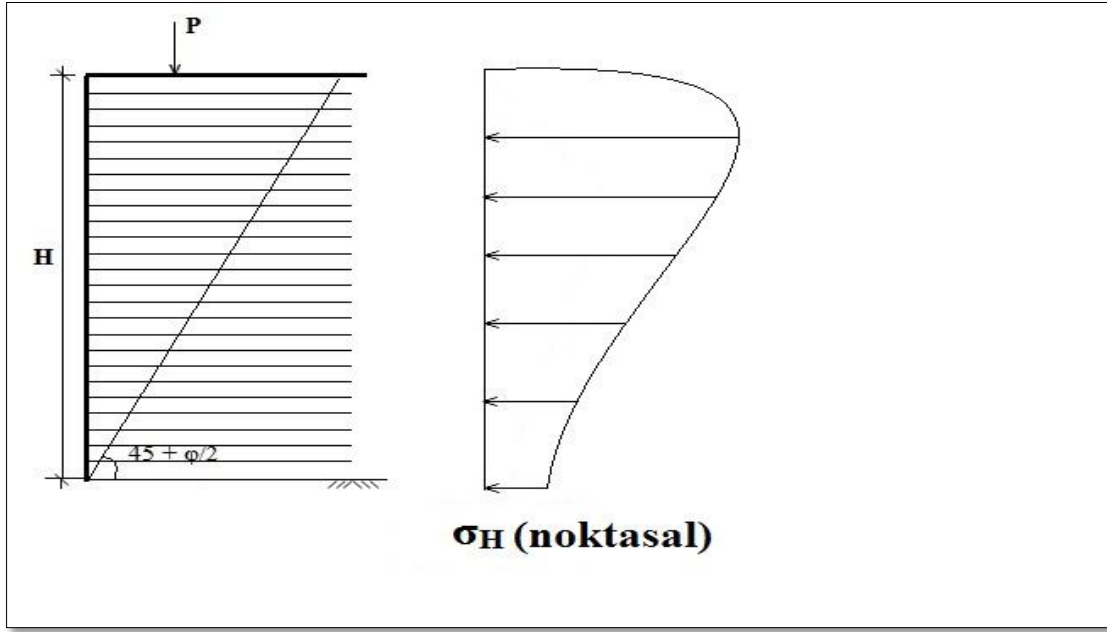
6.1. Araç Tekerleğinden Kaynaklanan Noktasal Yüklerin Oluşturduğu Yatay Gerilmelerin Hesaplanması

Bu bölümde yapılan hesaplamalar noktasal yükün oluşturduğu gerilmeler, zeminin kendi ağırlığından kaynaklanan gerilmeler, toplam gerilmeler, donatı aralıkları ve uzunlukları olarak ayrı ayrı verilmiştir.

Tasarımlarda duvar geometrisi olarak beş farklı yükseklik belirlenmiştir ve eğimi 90° olarak alınmıştır. Duvar imalatında $T_u = 50, 75$ ve 100 kN/m çekme dayanımına sahip olan geogridler kullanılacağı öngörülmüştür. 3, 5 ve 10 m'lik duvarda 50 kN/m ; 15 m'lik duvarda 75 kN/m ; 20 m'lik duvarda ise 100 kN/m çekme dayanımı olan donatı kullanılmıştır.

6.1.1. Noktasal yükten kaynaklanan gerilmelerin hesaplanması

Noktasal yük, zemine etki eden yükler arasında hareketli yük olarak kabul edilir ve duvara etkiyen gerilme dağılımı doğrusal olmayan bir fonksiyon şeklindedir. Noktasal yükün duvarda oluşturduğu yatay gerilme dağılımının şematik gösterimi Şekil 6.1'de verilmiştir.



Şekil 6.1. Noktasal yükün oluşturduğu gerilme dağılımı.

Duvar yüksekliğine göre noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri aşağıdaki çizelge ve grafiklerde gösterilmiştir.

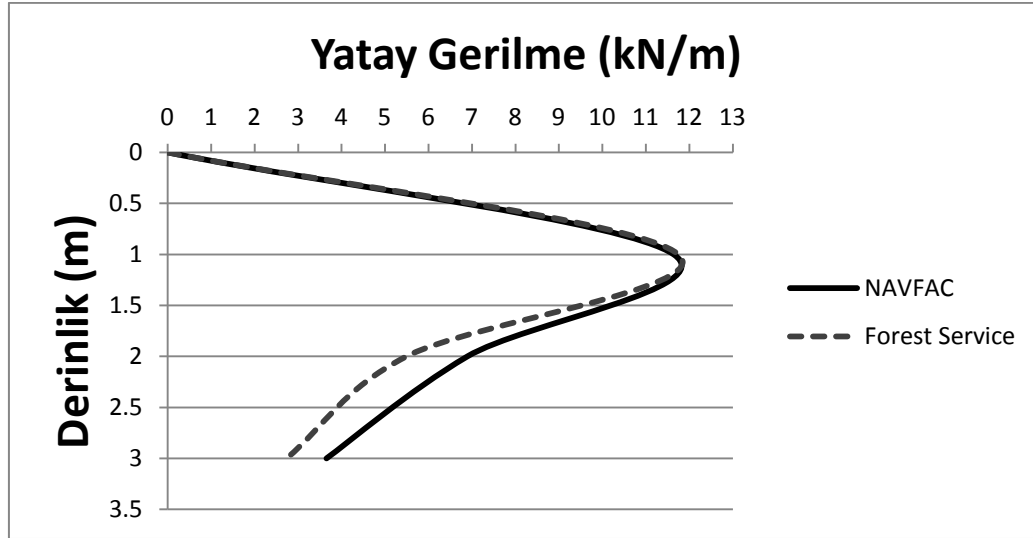
3 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

3 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.1'de verilmiştir.

Çizelge 6.1. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
z (m)	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
1	11,64	11,75
2	6,90	5,49
3	3,65	2,74

3 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmelerin karşılaştırılması Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 3 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

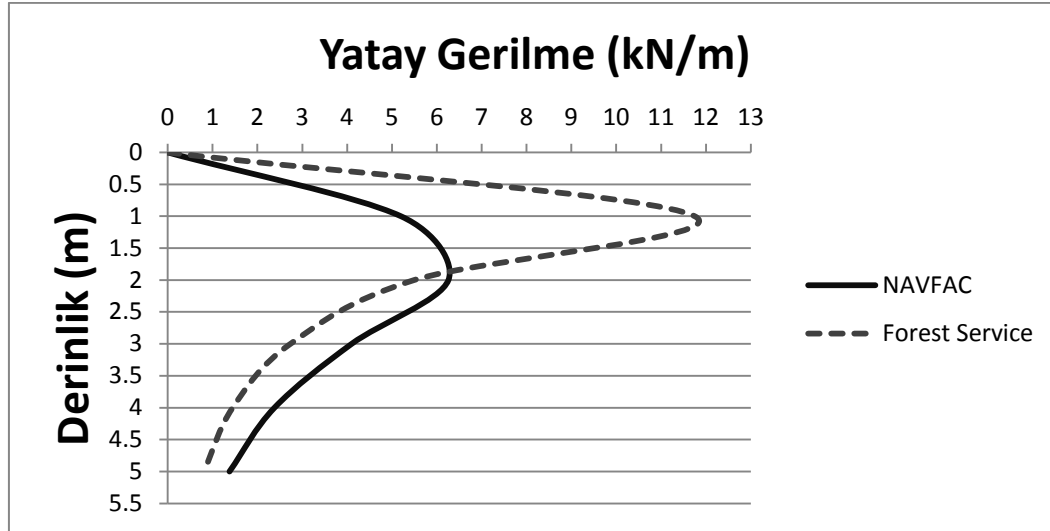
5 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

5 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.2'de verilmiştir.

Çizelge 6.2. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
z (m)	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
1	5,20	11,75
2	6,26	5,49
3	4,10	2,74
4	2,38	1,45
5	1,38	0,81

5 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmelerin karşılaştırılması Şekil 6.3'te verilmiştir.



Şekil 6.3. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 5 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

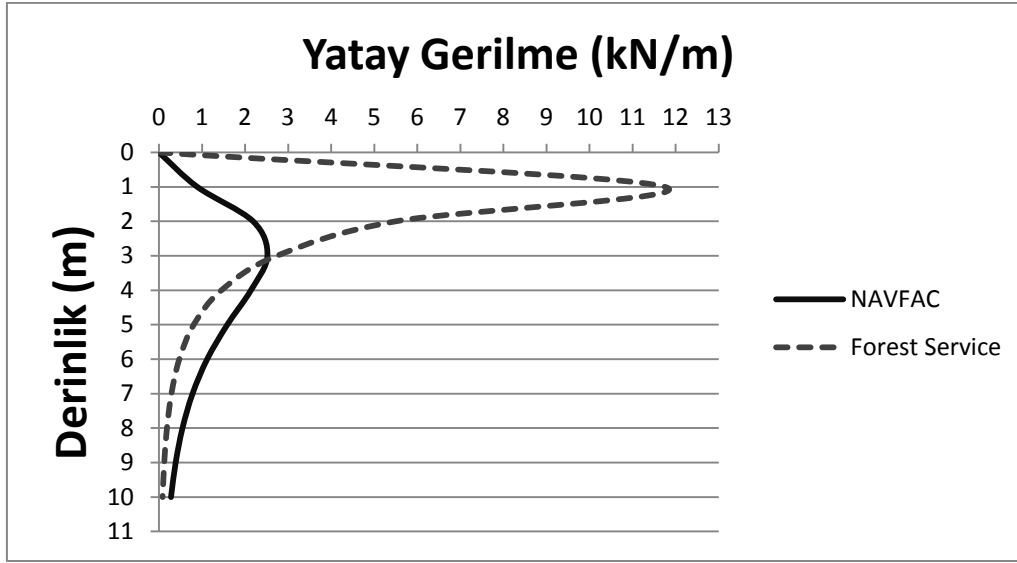
10 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

10 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.3'de verilmiştir.

Çizelge 6.3. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
z (m)	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
1	0,89	11,75
2	2,18	5,49
3	2,52	2,74
4	2,13	1,45
5	1,58	0,81
6	1,12	0,47
7	0,78	0,29
8	0,55	0,19
9	0,39	0,12
10	0,28	0,08

10 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmelerin karşılaştırılması Şekil 6.4'te verilmiştir.



Şekil 6.4. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 10 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

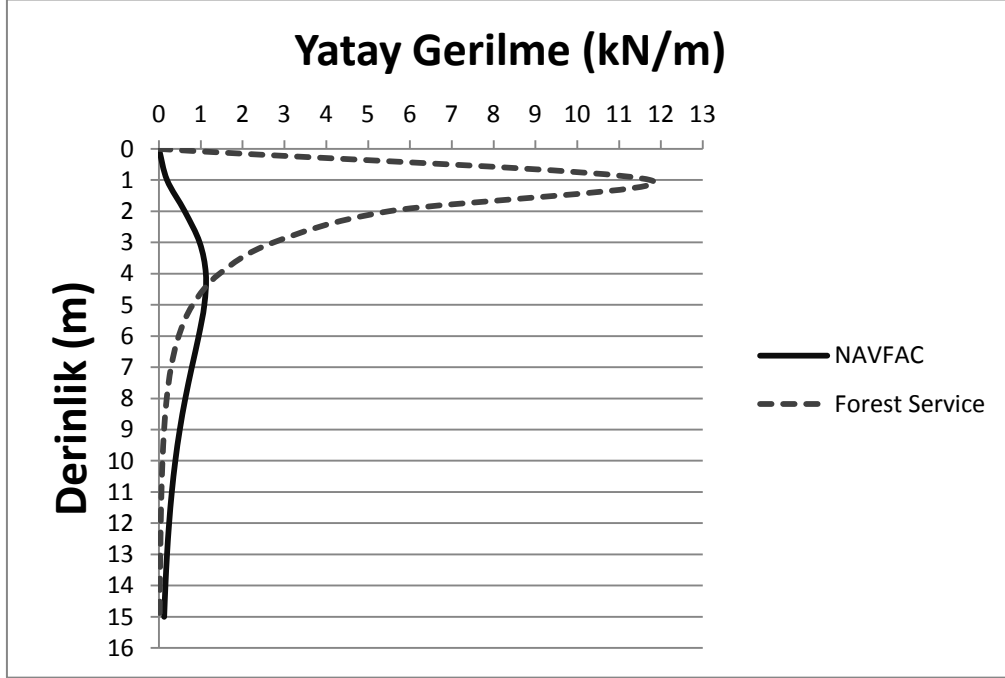
15 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

15 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.4'de verilmiştir.

Çizelge 6.4. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m z (m)	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
1	0,19	11,75
2	0,61	5,49
3	0,97	2,74
4	1,12	1,45
5	1,08	0,81
6	0,95	0,47
7	0,78	0,29
8	0,63	0,19
9	0,50	0,12
10	0,39	0,08
11	0,31	0,06
12	0,24	0,04
13	0,19	0,03
14	0,15	0,02
15	0,12	0,02

15 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmelerin karşılaştırılması Şekil 6.5'de verilmiştir.



Şekil 6.5. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 15 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

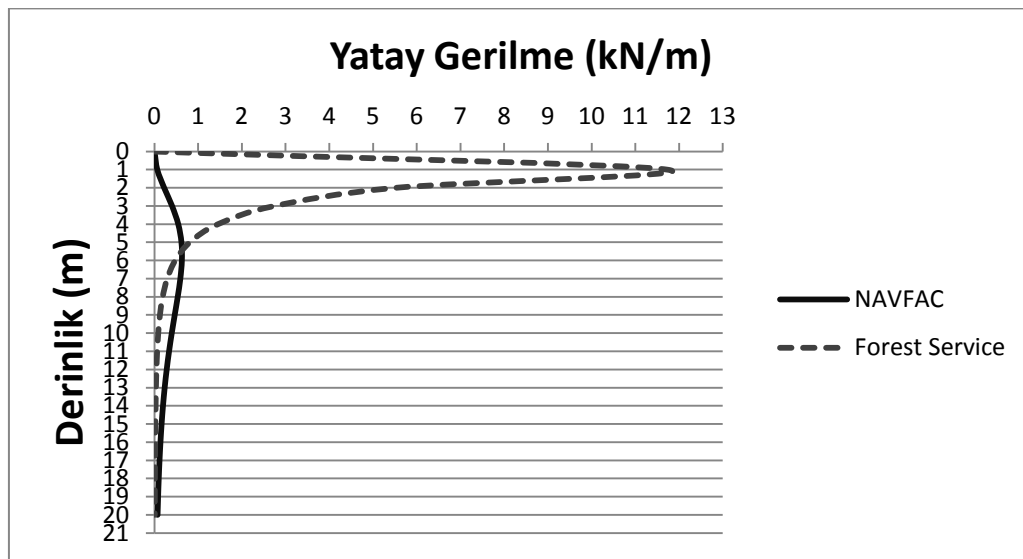
20 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

20 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.5'de verilmiştir.

Çizelge 6.5. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_{H_z} (kN/m ²)	
z (m)	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
1	0,06	11,75
2	0,22	5,49
3	0,40	2,74
4	0,55	1,45
5	0,62	0,81
6	0,63	0,47
7	0,59	0,29
8	0,53	0,19
9	0,46	0,12
10	0,40	0,08
11	0,33	0,06
12	0,28	0,04
13	0,23	0,03
14	0,19	0,02
15	0,16	0,02
16	0,14	0,01
17	0,11	0,01
18	0,10	0,01
19	0,08	0,01
20	0,07	0,01

20 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmelerin karşılaştırılması Şekil 6.6'da verilmiştir.



Şekil 6.6. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 20 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

6.1.2. Toplam gerilmelerin hesaplanması

Duvar tasarımı yapılabilmesi için toplam yatay gerilmenin hesaplanması gerekir. Literatürden alınan zemin verileri kullanılarak hesaplanan dolgu zemininin kendi yükü ve noktasal yükten kaynaklanan gerilmelerin toplam değerleri ve grafiklerle karşılaştırılması bu bölümde ele alınmıştır.

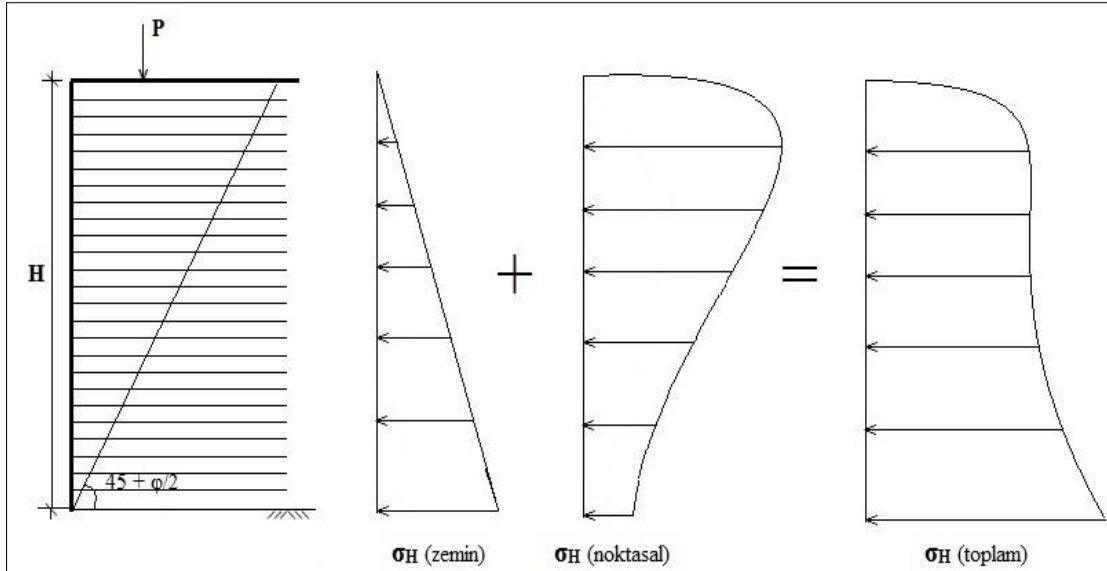
Noktasal yük ve zeminin kendi yükünden kaynaklanan gerilmeler tasarımda kullanılan toplam gerilmedir ve bu gerilme dağılımının şematik olarak gösterimi Şekil 6.5'te gösterilmiştir.

Zeminin kendi yükünden kaynaklanan yatay gerilme, düşey gerilmenin aktif yanal toprak basıncı katsayısıyla çarpımı ile bulunmaktadır. Buna göre,

$$\sigma_H = \sigma_v \cdot K_a \quad (4)$$

$$K_a = \tan^2(45 - \phi/2) \quad (5)$$

$$\sigma_v = \gamma \cdot H \quad (6)$$



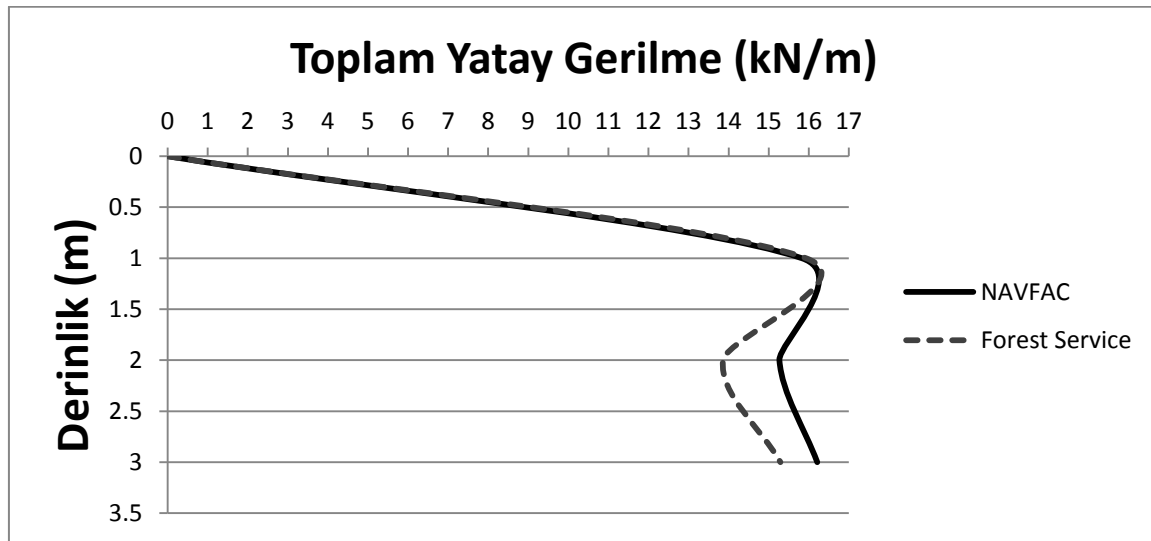
Şekil 6.7. Duvara etki eden gerilme dağılımlarının şematik gösterimi.

3 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

3 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.6. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 3 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m z (m)	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	11,64	11,75	4,19	15,83	15,93
2	6,90	5,49	8,7	15,27	13,86
3	3,65	2,74	12,56	16,21	15,29



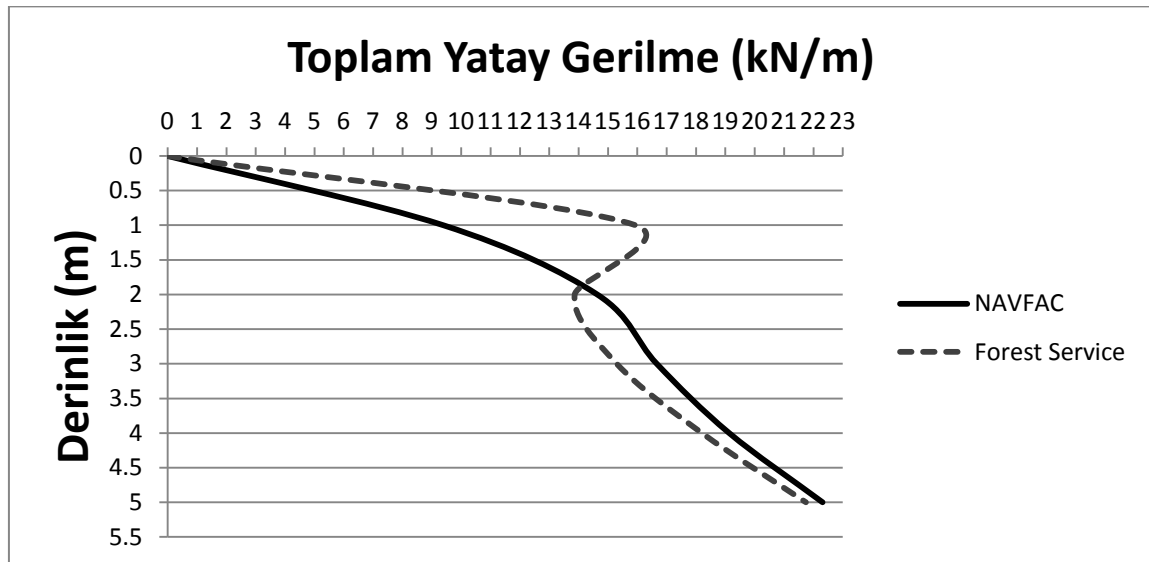
Şekil 6.8. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 3 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

5 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

5 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.7'de verilmiştir.

Çizelge 6.7. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 5 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
z (m)	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	5,20	11,75	4,19	9,39	15,93
2	6,26	5,49	8,37	14,63	13,86
3	4,10	2,74	12,56	16,66	15,29
4	2,38	1,45	16,74	19,13	18,19
5	1,38	0,81	20,93	22,31	21,74



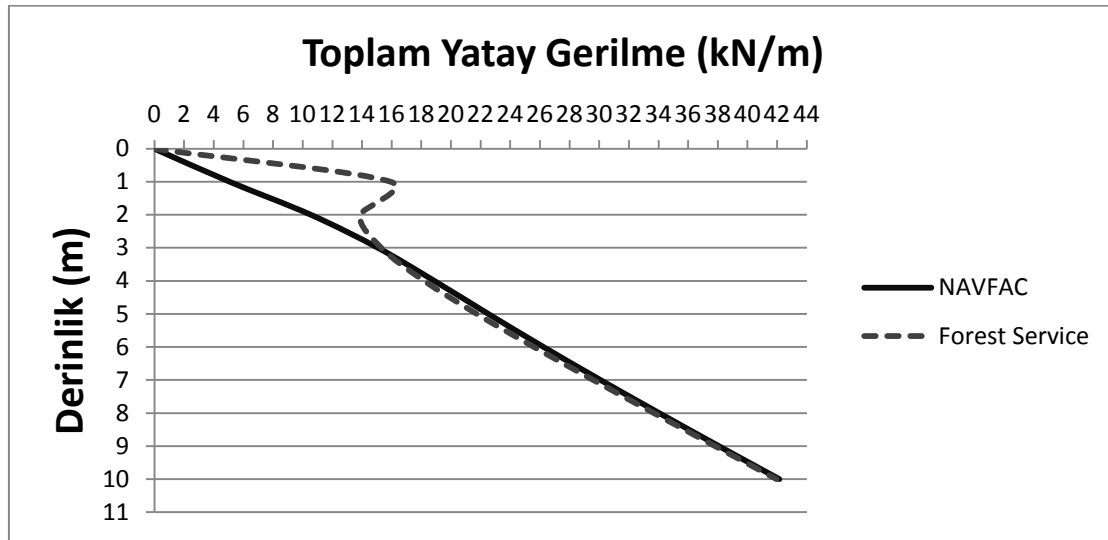
Şekil 6.9. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 5 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

10 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

10 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.8'de verilmiştir.

Çizelge 6.8. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 10m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Derinlik, m	Yatay Gerilmeler (kN/m ²)				
	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,89	11,75	4,19	5,08	15,93
2	2,18	5,49	8,37	10,56	13,86
3	2,52	2,74	12,56	15,08	15,29
4	2,13	1,45	16,74	18,88	18,19
5	1,58	0,81	20,93	22,52	21,74
6	1,12	0,47	25,12	26,24	25,59
7	0,78	0,29	29,30	30,08	29,59
8	0,55	0,19	33,49	34,04	33,67
9	0,39	0,12	37,68	38,06	37,80
10	0,28	0,08	41,86	42,14	41,95



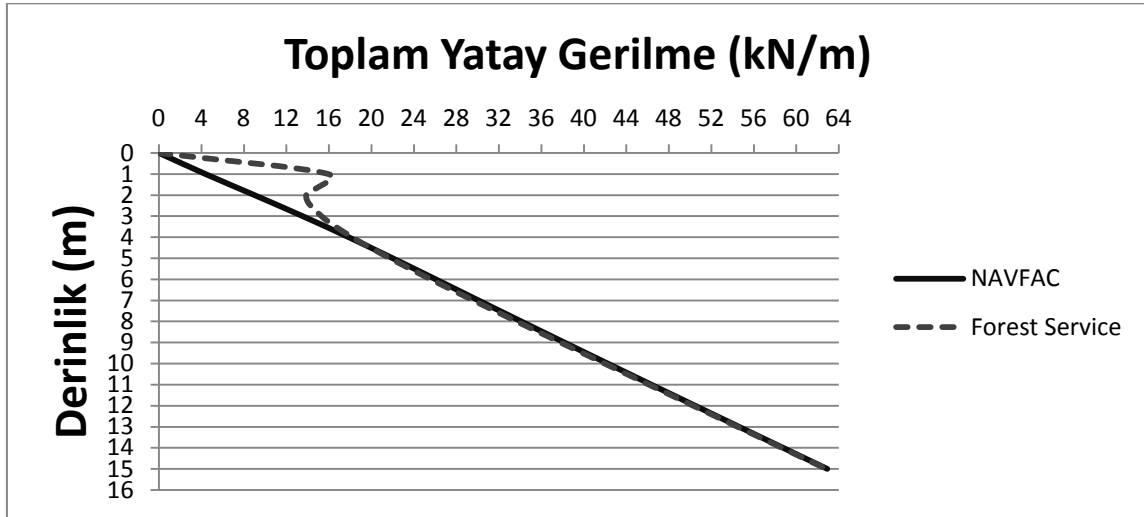
Şekil 6.10. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 10 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

15 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

15 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.9'da verilmiştir.

Çizelge 6.9. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 15m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Derinlik, m	Yatay Gerilmeler (kN/m ²)				
	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,19	11,75	4,19	4,38	15,93
2	0,61	5,49	8,37	8,99	13,86
3	0,97	2,74	12,56	13,53	15,29
4	1,12	1,45	16,74	17,86	18,19
5	1,08	0,81	20,93	22,01	21,74
6	0,95	0,47	25,12	26,07	25,59
7	0,78	0,29	29,30	30,09	29,59
8	0,63	0,19	33,49	34,12	33,67
9	0,50	0,12	37,68	38,17	37,80
10	0,39	0,08	41,86	42,25	41,95
11	0,31	0,06	46,05	46,36	46,11
12	0,24	0,04	50,23	50,48	50,28
13	0,19	0,03	54,42	54,61	54,45
14	0,15	0,02	58,61	58,76	58,63
15	0,12	0,02	62,79	62,92	62,81



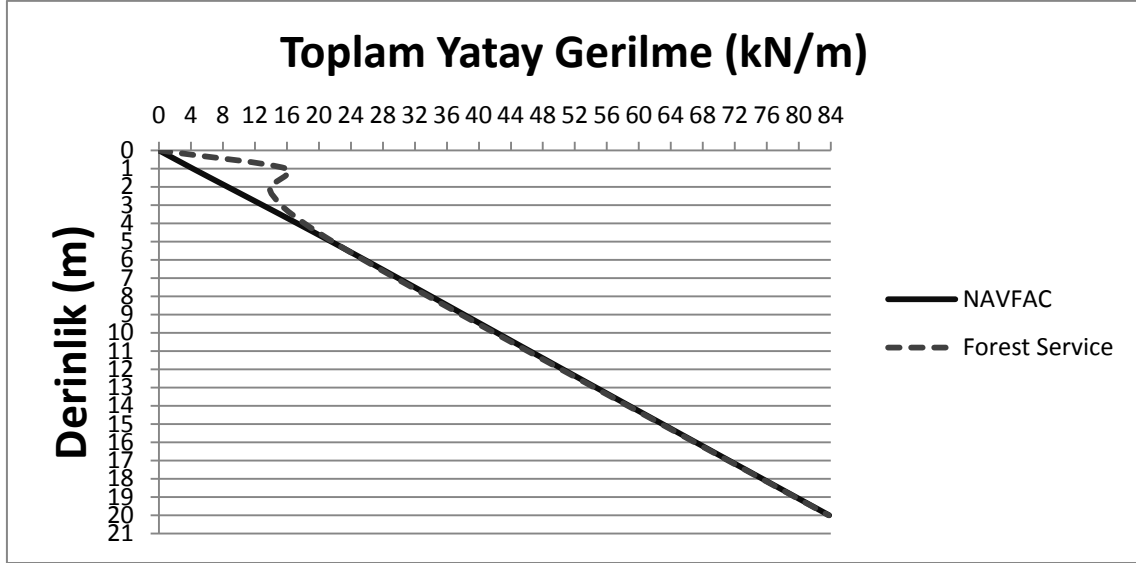
Şekil 6.11. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 15 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

20 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

20 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.10'da verilmiştir.

Çizelge 6.10. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Derinlik, m	Yatay Gerilmeler (kN/m ²)				
	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
	z (m)	NAVFAC	Forest Service	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	0,06	11,75	4,19	4,25	15,93
2	0,22	5,49	8,37	8,59	13,86
3	0,40	2,74	12,56	12,96	15,29
4	0,55	1,45	16,74	17,29	18,19
5	0,62	0,81	20,93	21,55	21,74
6	0,63	0,47	25,12	25,75	25,59
7	0,59	0,29	29,30	29,90	29,59
8	0,53	0,19	33,49	34,02	33,67
9	0,46	0,12	37,68	38,14	37,80
10	0,40	0,08	41,86	42,26	41,95
11	0,33	0,06	46,05	46,38	46,11
12	0,28	0,04	50,23	50,51	50,28
13	0,23	0,03	54,42	54,65	54,45
14	0,19	0,02	58,61	58,80	58,63
15	0,16	0,02	62,79	62,96	62,81
16	0,14	0,01	66,98	67,11	66,99
17	0,11	0,01	71,16	71,28	71,18
18	0,10	0,01	75,35	75,45	75,36
19	0,08	0,01	79,54	79,62	79,54
20	0,07	0,01	83,72	83,79	83,73



Şekil 6.12. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 20 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

6.1.3. Duvar tasarımı yapılması

Donatı aralığının belirlenmesi, geosentetikli istinat duvarlarının iç tahkikinde önemli bir yer tutmaktadır. Donatı aralığı, sıyrılmaya ve kopmaya karşı güvenlik faktörünün ve etkin donatı uzunluğunun belirlenmesinde kullanılmaktadır. Aşağıdaki çizelgelerde her bir duvar için belirlenen 0,4 m donatı aralığı verilmiştir. Aynı duvar yüksekliği için her iki yöntemin sonuçları art arda verilmiştir. L_r ve L_e değerleri hesaplanırken, çıkan sonuçların 1'den küçük olması durumunda bu değerler 1 m alınmıştır. Duvar tasarımında dikkate alınan bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$S_v = T_a / \sigma_v \cdot K_a \cdot F.S._{(kop.)} \cdot 1 \quad (6)$$

$$L_e = \sigma_H \cdot S_v \cdot F.S._{(sıyıl.)} / 2\sigma_v \cdot \tan(2\phi/3) \quad (7)$$

$$L_r = (H-z) / \tan(45+\phi/2)$$

S_v : donatı aralığı, m

T_a : tasarım çekme dayanımı, kN/m^2

σ_v : düşey gerilme, kN/m^2

K_a : aktif yanal toprak basıncı katsayısı

$F.S._{(kop.)}$: kopmaya karşı güvenlik faktörü

L_e : etkin donatı uzunluğu, m

σ_H : yatay gerilme, kN/m^2

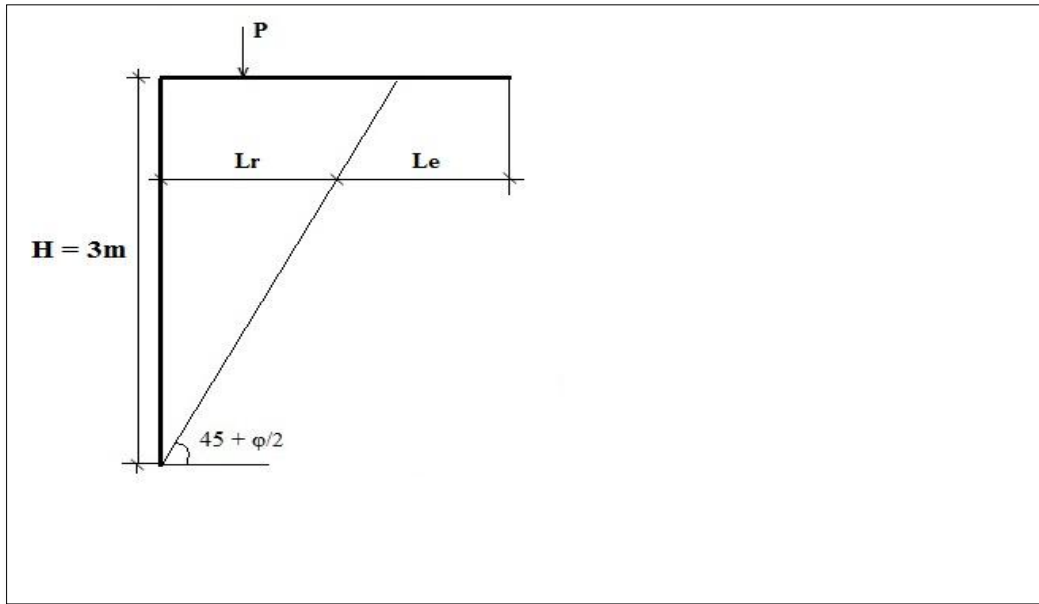
$F.S._{(\text{sıyrıl.})}$: sıyrılmaya karşı güvenlik faktörü

ϕ : zeminin içsel sürtünme açısı

H: duvar yüksekliği, m

z: derinlik, m.

3 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri



Şekil 6.13. 3 m'lik duvarda L_r ve L_e donatı uzunluklarının şematik gösterimi.

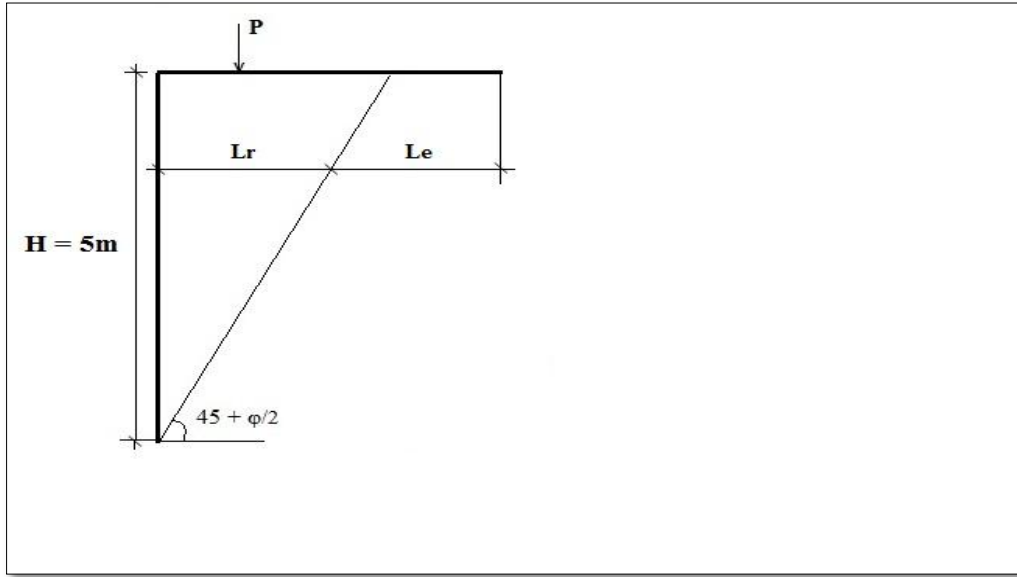
Çizelge 6.11. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	L_r (m) (hes.)	L_e (m) (hes.)	L_r (m) (seç.)	L_e (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	ΣL (m)
0	0	0	0,00	0,00	0,00	0	0	0	0	14
1	0,4	3,59	9,24	1,00	0,82	1	1	2	4	
2	0,4	3,72	9,24	1,00	0,39	1	1	3	6	
3	0,4	3,50	9,24	0,50	0,28	1	1	2	4	

Çizelge 6.12. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	ΣL (m)
0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	14
1	0,4	3,57	9,24	1,00	0,82	1	1	2	4	
2	0,4	4,10	9,24	0,50	0,36	1	1	3	6	
3	0,4	3,71	9,24	0,00	0,26	1	1	2	4	

5 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri



Şekil 6.14. 5 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.

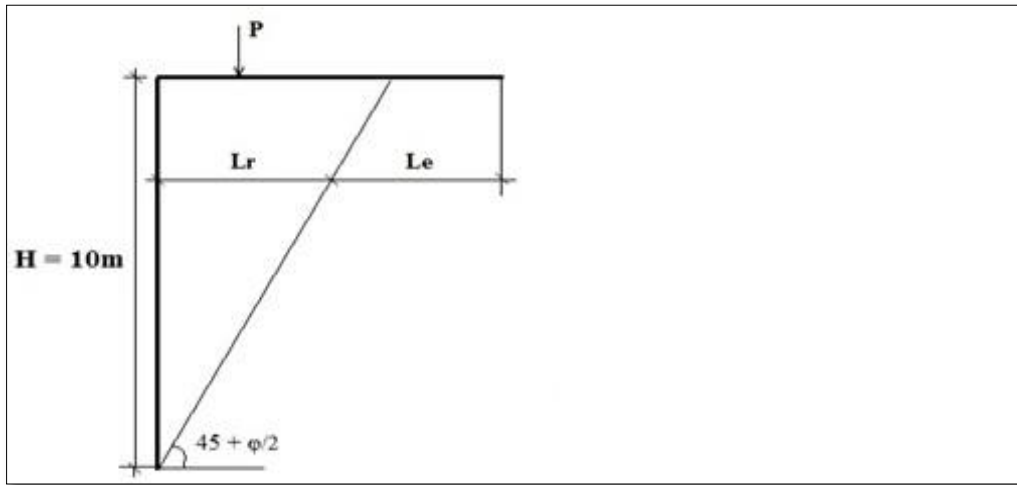
Çizelge 6.13. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	ΣL (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	15,49
1	0,4	6,05	9,24	1,99	0,49	1,99	1,00	1	2,99	
2	0,4	3,88	9,24	1,50	0,38	1,50	1,00	1	2,50	
3	0,4	3,41	9,24	1,00	0,29	1,00	1,00	2	4,00	
4	0,4	2,97	9,24	0,50	0,25	1,00	1,00	1	2,00	
5	0,4	2,55	9,24	0,00	0,23	1,00	1,00	2	4,00	

Çizelge 6.14. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyırıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,49
1	0,4	6,05	9,24	1,99	0,82	1,99	1,00	1,00	2,99	
2	0,4	3,88	9,24	1,50	0,36	1,50	1,00	1,00	2,50	
3	0,4	3,41	9,24	1,00	0,26	1,00	1,00	1,00	2,00	
4	0,4	2,97	9,24	0,50	0,24	1,00	1,00	2,00	4,00	
5	0,4	2,55	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	4,00	

10 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri



Şekil 6.15. 10 m'lik duvarda L_r ve L_e donatı uzunluklarının şematik gösterimi.

Çizelge 6.15. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.

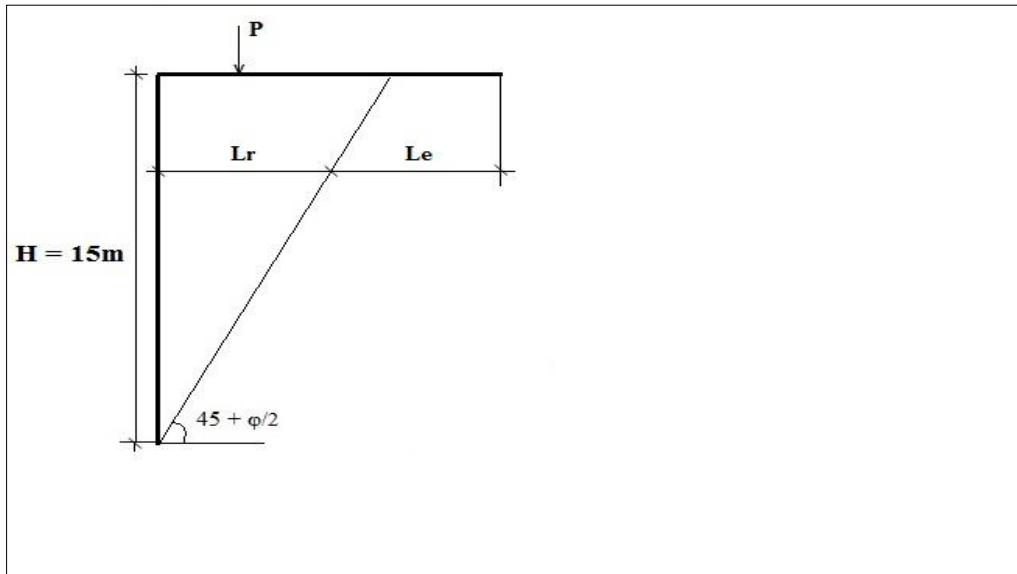
NAVFAC										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyırıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	83,86
1	0,4	11,19	9,24	4,49	0,26	4,49	1,00	2	10,97	
2	0,4	5,38	9,24	3,99	0,27	3,99	1,00	3	14,97	
3	0,4	3,77	9,24	3,49	0,26	3,49	1,00	2	8,98	
4	0,4	3,01	9,24	2,99	0,24	2,99	1,00	3	11,97	
5	0,4	2,52	9,24	2,49	0,23	2,49	1,00	2	6,99	
6	0,4	2,17	9,24	1,99	0,23	1,99	1,00	3	8,98	
7	0,4	1,89	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	2	4,99	
8	0,4	1,67	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	
9	0,4	1,49	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	2	4,00	
10	0,4	1,35	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	

Çizelge 6.16. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	ΣL (m)
0	0	0,00	0,00	0	0	0		0	0,00	83,86
1	0,4	3,57	9,24	4,49	0,82	4,49	1,00	2	10,97	
2	0,4	4,10	9,24	3,99	0,36	3,99	1,00	3	14,97	
3	0,4	3,71	9,24	3,49	0,26	3,49	1,00	2	8,98	
4	0,4	3,12	9,24	2,99	0,24	2,99	1,00	3	11,97	
5	0,4	2,61	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	2	6,99	
6	0,4	2,22	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	3	8,98	
7	0,4	1,92	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	2	4,99	
8	0,4	1,69	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	
9	0,4	1,50	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	2	4,00	
10	0,4	1,35	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	

15 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

Kopmaya karşı güvenlik faktörünü karşılayabilmek için bu duvarda donatı çekme dayanımı $T_u=75 \text{ kN/m}^2$ seçilmiştir.



Şekil 6.16. 15 m'lik duvarda Lr ve Le donatı uzunluklarının şematik gösterimi.

Çizelge 6.17. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.

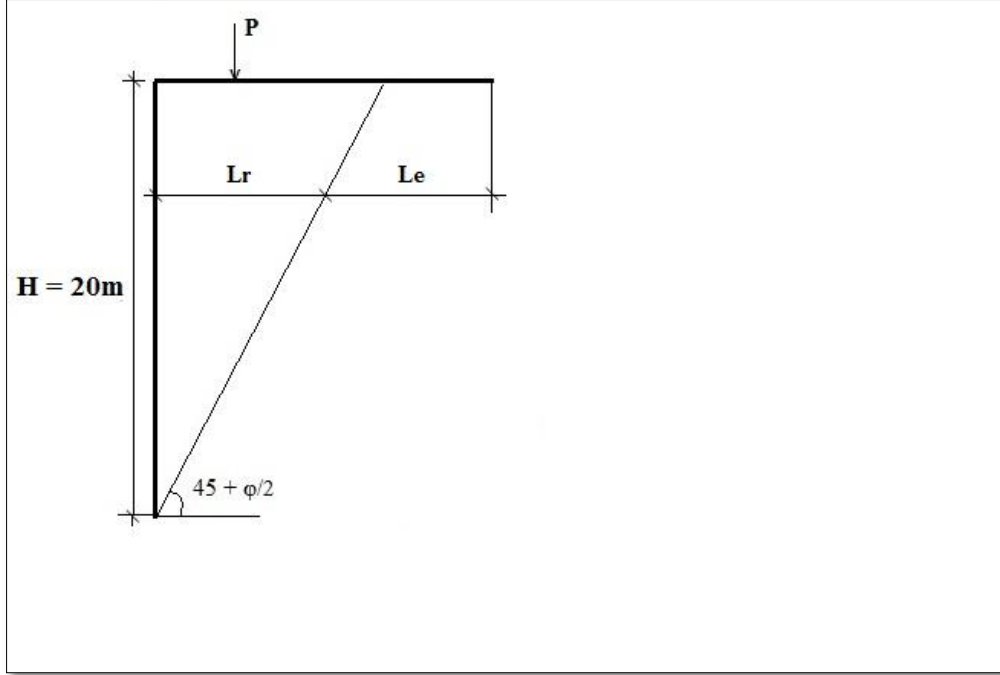
NAVFAC										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	171,64
1	0,4	19,46	9,24	6,98	0,23	6,98	1,00	2	15,96	
2	0,4	9,48	9,24	6,48	0,23	6,48	1,00	3	22,44	
3	0,4	6,30	9,24	5,98	0,23	5,98	1,00	2	13,97	
4	0,4	4,77	9,24	5,48	0,23	5,48	1,00	3	19,45	
5	0,4	3,87	9,24	4,99	0,23	4,99	1,00	2	11,97	
6	0,4	3,27	9,24	4,49	0,22	4,49	1,00	3	16,46	
7	0,4	2,83	9,24	3,99	0,22	3,99	1,00	2	9,98	
8	0,4	2,50	9,24	3,49	0,22	3,49	1,00	3	13,47	
9	0,4	2,23	9,24	2,99	0,22	2,99	1,00	2	7,98	
10	0,4	2,02	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	3	10,48	
11	0,4	1,84	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	2	5,99	
12	0,4	1,69	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	3	7,49	
13	0,4	1,56	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	2	4,00	
14	0,4	1,45	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	3	6,00	
15	0,4	1,35	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	

Çizelge 6.18. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0	0	0	0	0	0,00	171,64
1	0,4	19,46	9,24	6,98	0,23	6,98	1,00	2	15,96	
2	0,4	9,48	9,24	6,48	0,23	6,48	1,00	3	22,44	
3	0,4	6,30	9,24	5,98	0,23	5,98	1,00	2	13,97	
4	0,4	4,77	9,24	5,48	0,23	5,48	1,00	3	19,45	
5	0,4	3,87	9,24	4,99	0,23	4,99	1,00	2	11,97	
6	0,4	3,27	9,24	4,49	0,22	4,49	1,00	3	16,46	
7	0,4	2,83	9,24	3,99	0,22	3,99	1,00	2	9,98	
8	0,4	2,50	9,24	3,49	0,22	3,49	1,00	3	13,47	
9	0,4	2,23	9,24	2,99	0,22	2,99	1,00	2	7,98	
10	0,4	2,02	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	3	10,48	
11	0,4	1,84	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	2	5,99	
12	0,4	1,69	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	3	7,49	
13	0,4	1,56	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	2	4,00	
14	0,4	1,45	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	3	6,00	
15	0,4	1,35	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	

20 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

Kopmaya karşı güvenlik faktörünü karşılayabilmek için bu duvarda donatı çekme dayanımı $T_u=100 \text{ kN/m}^2$ seçilmiştir.



şekil 6.17. 20 m'lik duvarda L_r ve L_e donatı uzunluklarının şematik gösterimi.

Çizelge 6.19. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	288,34
1	0,4	26,74	9,24	9,47	0,22	9,47	1,00	2	20,95	
2	0,4	13,22	9,24	8,97	0,22	8,97	1,00	3	29,92	
3	0,4	8,77	9,24	8,48	0,22	8,48	1,00	2	18,95	
4	0,4	6,57	9,24	7,98	0,22	7,98	1,00	3	26,93	
5	0,4	5,27	9,24	7,48	0,22	7,48	1,00	2	16,96	
6	0,4	4,41	9,24	6,98	0,22	6,98	1,00	3	23,94	
7	0,4	3,80	9,24	6,48	0,22	6,48	1,00	2	14,96	
8	0,4	3,34	9,24	5,98	0,22	5,98	1,00	3	20,95	
9	0,4	2,98	9,24	5,48	0,22	5,48	1,00	2	12,97	
10	0,4	2,69	9,24	4,99	0,22	4,99	1,00	3	17,96	
11	0,4	2,45	9,24	4,49	0,22	4,49	1,00	2	10,97	
12	0,4	2,25	9,24	3,99	0,22	3,99	1,00	3	14,97	
13	0,4	2,08	9,24	3,49	0,22	3,49	1,00	2	8,98	
14	0,4	1,93	9,24	2,99	0,22	2,99	1,00	3	11,97	
15	0,4	1,81	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	2	6,99	
16	0,4	1,69	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	3	8,98	
17	0,4	1,59	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	2	4,99	
18	0,4	1,51	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	
19	0,4	1,43	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	2	4,00	
20	0,4	1,36	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	

Çizelge 6.20. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service										
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	288,34
1	0,4	7,13	9,24	9,47	0,82	9,47	1,00	2	20,95	
2	0,4	8,20	9,24	8,97	0,36	8,97	1,00	3	29,92	
3	0,4	7,43	9,24	8,48	0,26	8,48	1,00	2	18,95	
4	0,4	6,25	9,24	7,98	0,24	7,98	1,00	3	26,93	
5	0,4	5,23	9,24	7,48	0,22	7,48	1,00	2	16,96	
6	0,4	4,44	9,24	6,98	0,22	6,98	1,00	3	23,94	
7	0,4	3,84	9,24	6,48	0,22	6,48	1,00	2	14,96	
8	0,4	3,37	9,24	5,98	0,22	5,98	1,00	3	20,95	
9	0,4	3,01	9,24	5,48	0,22	5,48	1,00	2	12,97	
10	0,4	2,71	9,24	4,99	0,22	4,99	1,00	3	17,96	
11	0,4	2,46	9,24	4,49	0,22	4,49	1,00	2	10,97	
12	0,4	2,26	9,24	3,99	0,22	3,99	1,00	3	14,97	
13	0,4	2,09	9,24	3,49	0,22	3,49	1,00	2	8,98	
14	0,4	1,94	9,24	2,99	0,22	2,99	1,00	3	11,97	
15	0,4	1,81	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	2	6,99	
16	0,4	1,70	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	3	8,98	
17	0,4	1,60	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	2	4,99	
18	0,4	1,51	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	
19	0,4	1,43	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	2	4,00	
20	0,4	1,36	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	3	6,00	

6.2. Tek Bir Noktasal Yükün Oluşturduğu Yatay Gerilmelerin Hesaplanması

Bu kısımda 200 kN büyüklüğünde bir noktasal yükün tek bir noktadan duvara etki ettiği varsayılarak hesaplamalar yapılmıştır. Donatı aralıkları her bir duvarda sabit tutulmuş ve 0.4 m alınmıştır.

6.2.1. Noktasal yükten kaynaklanan gerilmelerin hesaplanması

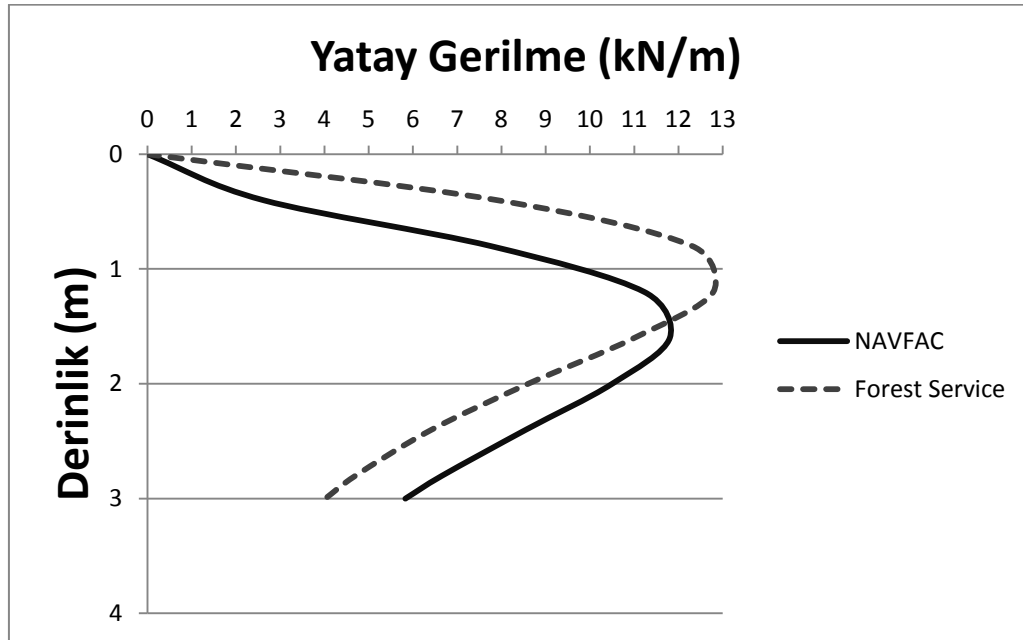
Duvara olan uzaklığı 2,1 m olan 200 kN'luk bir noktasal yükün duvar yüksekliğine bağlı olarak oluşturduğu yatay gerilme değerleri Excel çalışma sayfası kullanılarak hesaplanmış ve sonuçları aşağıdaki çizelge ve grafiklerde gösterilmiştir.

3 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

3 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.21'de verilmiştir.

Çizelge 6.21. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
0,4	2,62	7,90
0,8	7,76	12,31
1,2	11,23	12,79
1,6	11,80	11,00
2	10,50	8,60
2,4	8,55	6,42
2,8	6,66	4,70
3	5,83	4,02



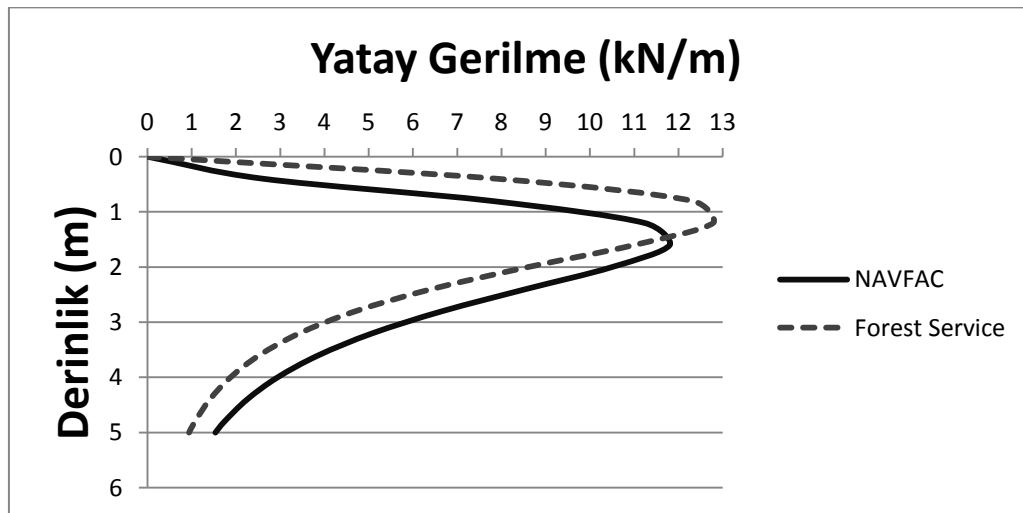
Şekil 6.18. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

5 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

5 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.22'de verilmiştir.

Çizelge 6.22. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
z (m)	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
0,4	2,62	7,90
0,8	7,76	12,31
1,2	11,23	12,79
1,6	11,80	11,00
2	10,50	8,60
2,4	8,55	6,42
2,8	6,66	4,70
3,2	5,08	3,44
3,6	3,86	2,53
4	2,94	1,87
4,4	2,25	1,41
4,8	1,74	1,07
5	1,53	0,94



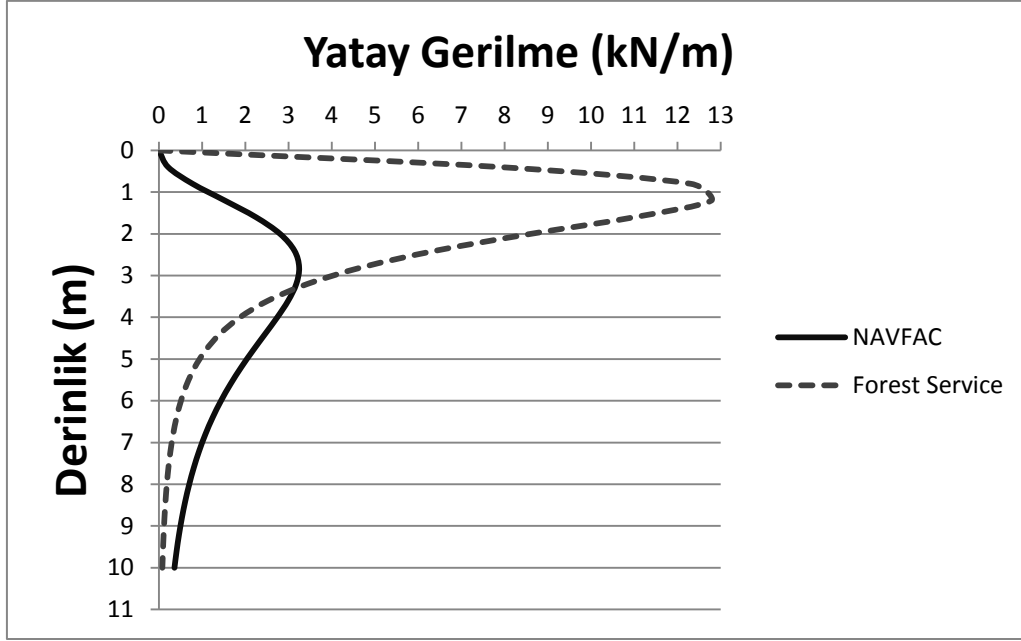
Şekil 6.19. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

10 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

10 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.23'te verilmiştir.

Çizelge 6.23. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m z (m)	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
0,4	0,21	7,90
0,8	0,78	12,31
1,2	1,52	12,79
1,6	2,24	11,00
2	2,80	8,60
2,4	3,13	6,42
2,8	3,24	4,70
3,2	3,17	3,44
3,6	2,99	2,53
4	2,73	1,87
4,4	2,45	1,41
4,8	2,17	1,07
5,2	1,90	0,83
5,6	1,65	0,65
6	1,43	0,51
6,4	1,24	0,41
6,8	1,07	0,33
7,2	0,93	0,27
7,6	0,81	0,22
8	0,70	0,18
8,4	0,61	0,15
8,8	0,53	0,13
9,2	0,46	0,11
9,6	0,41	0,09
10	0,36	0,08



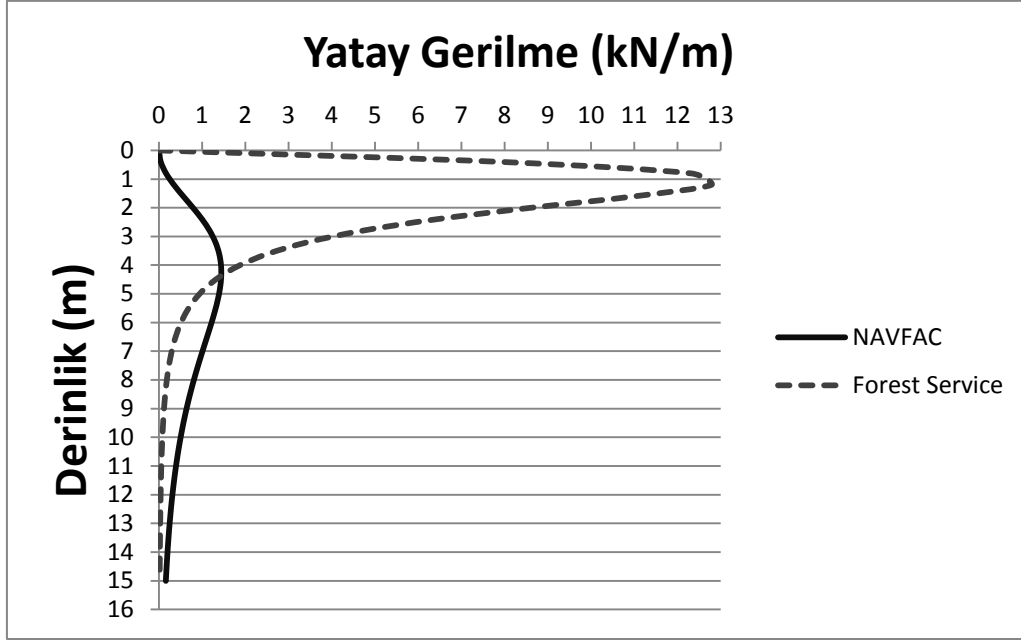
Şekil 6.20. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 10 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

15 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

15 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.24'te verilmiştir.

Çizelge 6.24. NAVFAC ve Forest Service Service yöntemine göre noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m z (m)	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
0,4	0,04	7,90
0,8	0,16	12,31
1,2	0,35	12,79
1,6	0,56	11,00
2	0,79	8,60
2,4	1,00	6,42
2,8	1,17	4,70
3,2	1,31	3,44
3,6	1,39	2,53
4	1,43	1,87
4,4	1,44	1,41
4,8	1,41	1,07
5,2	1,36	0,83
5,6	1,29	0,65
6	1,22	0,51
6,4	1,13	0,41
6,8	1,05	0,33
7,2	0,96	0,27
7,6	0,88	0,22
8	0,81	0,18
8,4	0,73	0,15
8,8	0,67	0,13
9,2	0,61	0,11
9,6	0,55	0,09
10	0,50	0,08
10,4	0,45	0,07
10,8	0,41	0,06
11,2	0,38	0,05
11,6	0,34	0,04
12	0,31	0,04
12,4	0,28	0,03
12,8	0,26	0,03
13,2	0,24	0,03
13,6	0,22	0,02
14	0,20	0,02
14,4	0,18	0,02
14,8	0,17	0,02
15	0,16	0,02



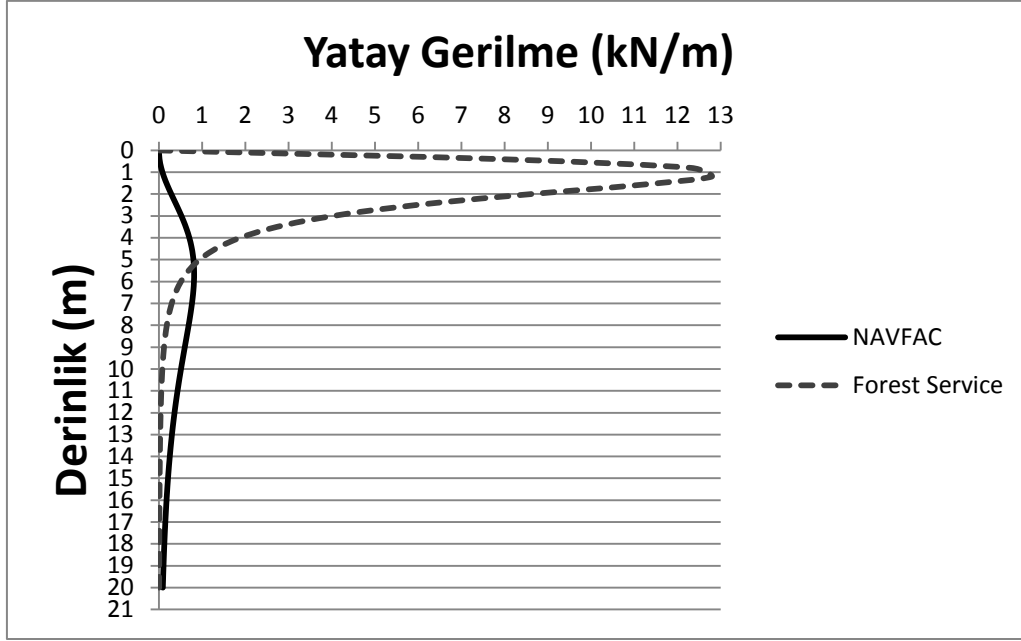
Şekil 6.21. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması

20 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler

20 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.25'te verilmiştir.

Çizelge 6.25. NAVFAC ve Forest Service yönteminde noktasal yükün duvarda oluşturduğu gerilmeler.

Derinlik, m	Yatay Gerilme, σ_H , (kN/m ²)	
z (m)	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00
0,4	0,01	7,90
0,8	0,05	12,31
1,2	0,12	12,79
1,6	0,19	11,00
2	0,28	8,60
2,4	0,38	6,42
2,8	0,47	4,70
3,2	0,56	3,44
3,6	0,64	2,53
4	0,70	1,87
4,4	0,75	1,41
4,8	0,78	1,07
5,2	0,80	0,83
5,6	0,81	0,65
6	0,81	0,51
6,4	0,79	0,41
6,8	0,77	0,33
7,2	0,75	0,27
7,6	0,72	0,22
8	0,68	0,18
8,4	0,65	0,15
8,8	0,61	0,13
9,2	0,58	0,11
9,6	0,54	0,09
10	0,51	0,08
10,4	0,47	0,07
10,8	0,44	0,06
11,2	0,41	0,05
11,6	0,39	0,04
12	0,36	0,04
12,4	0,33	0,03
12,8	0,31	0,03
13,2	0,29	0,03
13,6	0,27	0,02
14	0,25	0,02
14,4	0,23	0,02
14,8	0,22	0,02
15,2	0,20	0,02
15,6	0,19	0,01
16	0,18	0,01
16,4	0,16	0,01
16,8	0,15	0,01
17,2	0,14	0,01
17,6	0,13	0,01
18	0,12	0,01
18,4	0,12	0,01
18,8	0,11	0,01
19,2	0,10	0,01
19,6	0,10	0,01
20	0,09	0,01



Şekil 6.22. NAVFAC ve Forest Service yönteminde 20 m yüksekliğindeki duvarda noktasal yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

6.2.2. Toplam gerilmelerin hesaplanması

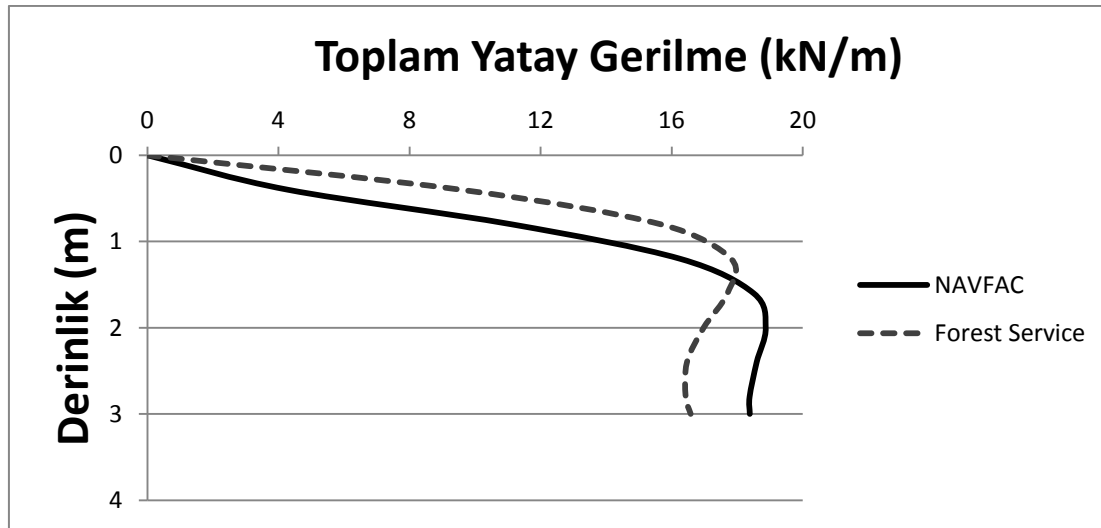
Zemin tipi değiştirilmediğinden bu kısımda hesaplanan zeminin kendi yükünden kaynaklanan gerilmeler değişmemiştir. Bir önceki kısımda hesaplanan noktasal yükün oluşturduğu gerilme değerleri de hesaba katılarak toplam gerilmeler hesaplanmıştır.

3 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

3 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.26'da verilmiştir.

Çizelge 6.26. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
z (m)	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	2,62	7,90	1,67	4,29	9,58
0,8	7,76	12,31	3,35	11,11	15,66
1,2	11,23	12,79	5,02	16,25	17,81
1,6	11,80	11,00	6,70	18,50	17,70
2	10,50	8,60	8,37	18,87	16,97
2,4	8,55	6,42	10,05	18,60	16,46
2,8	6,66	4,70	11,72	18,38	16,42
3	5,83	4,02	12,56	18,38	16,58



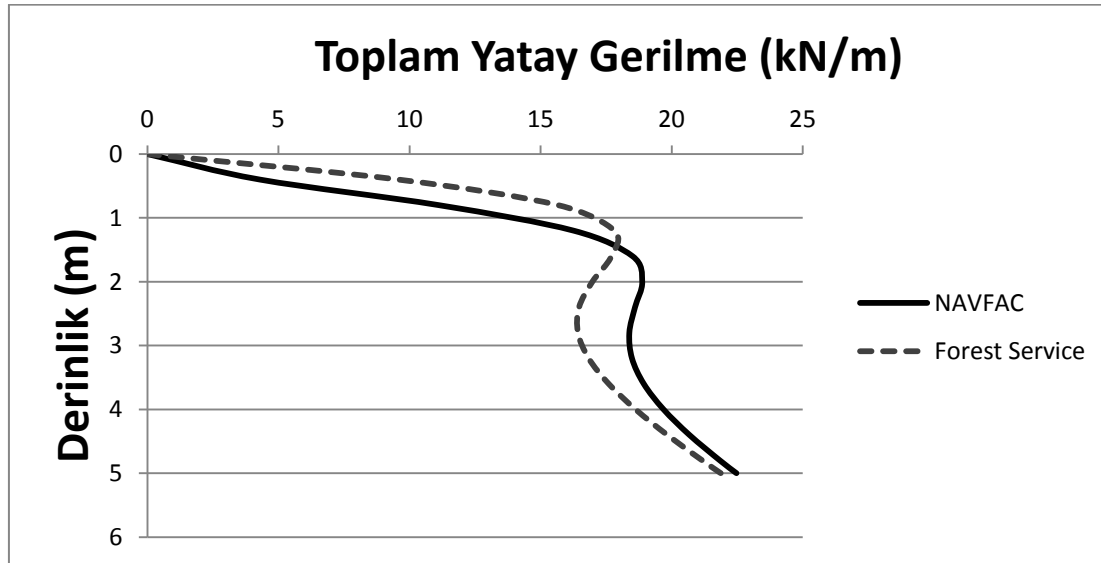
Şekil 6.23. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 3 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

5 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

5 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.27'de verilmiştir.

Çizelge 6.27. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
z (m)	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	2,62	7,90	1,67	4,29	9,58
0,8	7,76	12,31	3,35	11,11	15,66
1,2	11,23	12,79	5,02	16,25	17,81
1,6	11,80	11,00	6,70	18,50	17,70
2	10,50	8,60	8,37	18,87	16,97
2,4	8,55	6,42	10,05	18,60	16,46
2,8	6,66	4,70	11,72	18,38	16,42
3,2	5,08	3,44	13,40	18,48	16,83
3,6	3,86	2,53	15,07	18,93	17,60
4	2,94	1,87	16,74	19,68	18,62
4,4	2,25	1,41	18,42	20,67	19,83
4,8	1,74	1,07	20,09	21,83	21,17
5	1,53	0,94	20,93	22,46	21,87



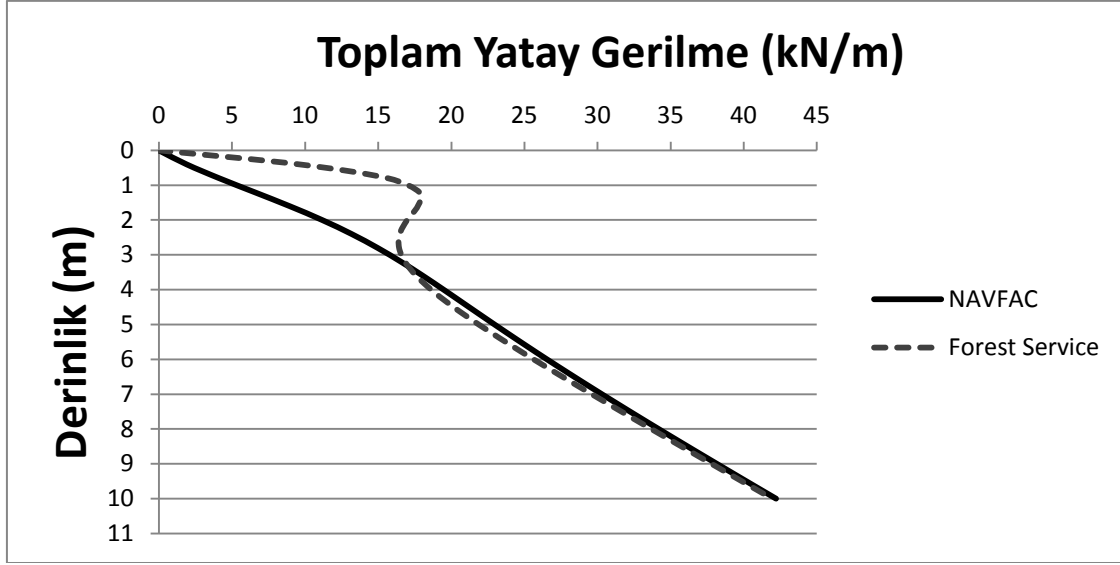
Şekil 6.24. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 5 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

10 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmelerin hesaplanması

10 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.28'de verilmiştir.

Çizelge 6.28. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m	Noktasal Yük		Zemi Yükü	Toplam Yük	
z (m)	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	0,21	7,90	1,67	1,89	9,58
0,8	0,78	12,31	3,35	4,13	15,66
1,2	1,52	12,79	5,02	6,54	17,81
1,6	2,24	11,00	6,70	8,94	17,70
2	2,80	8,60	8,37	11,17	16,97
2,4	3,13	6,42	10,05	13,18	16,46
2,8	3,24	4,70	11,72	14,96	16,42
3,2	3,17	3,44	13,40	16,57	16,83
3,6	2,99	2,53	15,07	18,06	17,60
4	2,73	1,87	16,74	19,48	18,62
4,4	2,45	1,41	18,42	20,87	19,83
4,8	2,17	1,07	20,09	22,26	21,17
5,2	1,90	0,83	21,77	23,67	22,59
5,6	1,65	0,65	23,44	25,10	24,09
6	1,43	0,51	25,12	26,55	25,63
6,4	1,24	0,41	26,79	28,03	27,20
6,8	1,07	0,33	28,47	29,54	28,79
7,2	0,93	0,27	30,14	31,07	30,41
7,6	0,81	0,22	31,81	32,62	32,03
8	0,70	0,18	33,49	34,19	33,67
8,4	0,61	0,15	35,16	35,77	35,32
8,8	0,53	0,13	36,84	37,37	36,97
9,2	0,46	0,11	38,51	38,98	38,62
9,6	0,41	0,09	40,19	40,59	40,28
10	0,36	0,08	41,86	42,22	41,94



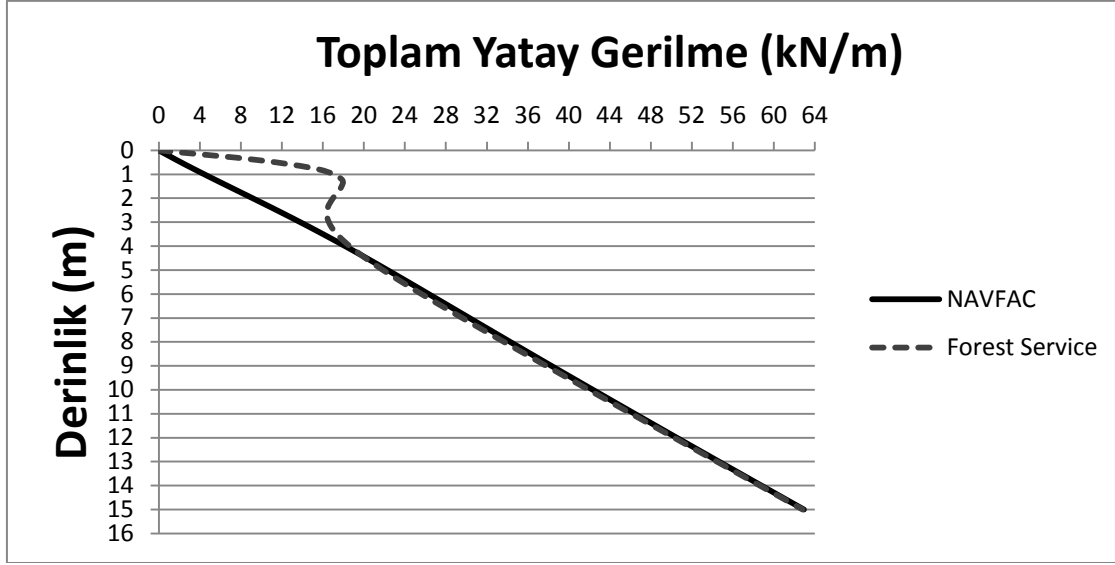
Şekil 6.25. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 10 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

15 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmelerin hesaplanması

15 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.29'da verilmiştir.

Çizelge 6.29. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m	Noktasal Yük		Zemin Yükü	Toplam Yük	
z (m)	NAVFAC	Forest Service		NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	0,04	7,90	1,67	1,72	9,58
0,8	0,16	12,31	3,35	3,51	15,66
1,2	0,35	12,79	5,02	5,37	17,81
1,6	0,56	11,00	6,70	7,26	17,70
2	0,79	8,60	8,37	9,16	16,97
2,4	1,00	6,42	10,05	11,04	16,46
2,8	1,17	4,70	11,72	12,89	16,42
3,2	1,31	3,44	13,40	14,70	16,83
3,6	1,39	2,53	15,07	16,46	17,60
4	1,43	1,87	16,74	18,18	18,62
4,4	1,44	1,41	18,42	19,86	19,83
4,8	1,41	1,07	20,09	21,50	21,17
5,2	1,36	0,83	21,77	23,13	22,59
5,6	1,29	0,65	23,44	24,74	24,09
6	1,22	0,51	25,12	26,33	25,63
6,4	1,13	0,41	26,79	27,92	27,20
6,8	1,05	0,33	28,47	29,51	28,79
7,2	0,96	0,27	30,14	31,10	30,41
7,6	0,88	0,22	31,81	32,70	32,03
8	0,81	0,18	33,49	34,30	33,67
8,4	0,73	0,15	35,16	35,90	35,32
8,8	0,67	0,13	36,84	37,51	36,97
9,2	0,61	0,11	38,51	39,12	38,62
9,6	0,55	0,09	40,19	40,74	40,28
10	0,50	0,08	41,86	42,36	41,94
10,4	0,45	0,07	43,54	43,99	43,60
10,8	0,41	0,06	45,21	45,62	45,27
11,2	0,38	0,05	46,88	47,26	46,94
11,6	0,34	0,04	48,56	48,90	48,60
12	0,31	0,04	50,23	50,54	50,27
12,4	0,28	0,03	51,91	52,19	51,94
12,8	0,26	0,03	53,58	53,84	53,61
13,2	0,24	0,03	55,26	55,49	55,28
13,6	0,22	0,02	56,93	57,15	56,96
14	0,20	0,02	58,61	58,80	58,63
14,4	0,18	0,02	60,28	60,46	60,30
14,8	0,17	0,02	61,95	62,12	61,97
15	0,16	0,02	62,79	62,95	62,81



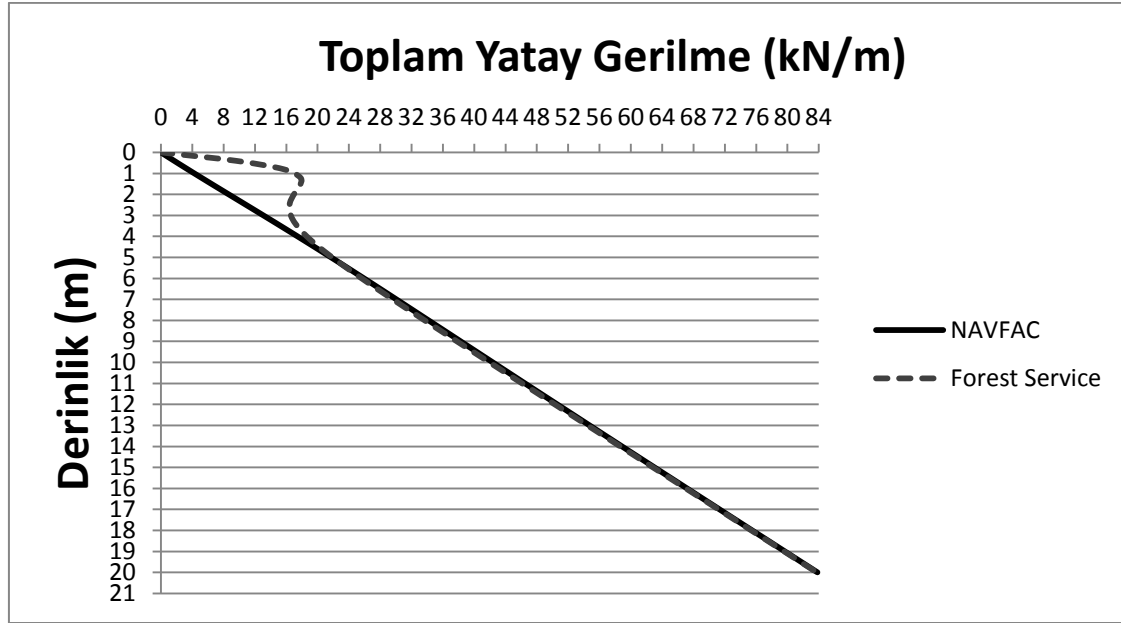
Şekil 6.26. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 15 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

20 m yüksekliğindeki duvarda oluşan toplam gerilmeler

20 m yüksekliğindeki duvar için NAVFAC ve Forest Service yöntemleriyle hesaplanan yatay gerilmeler Çizelge 6.30'da verilmiştir.

Çizelge 6.30. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerleri.

Yatay Gerilmeler (kN/m ²)					
Derinlik, m	Noktasal Yük		Zemin	Toplam Yük	
z (m)	NAVFAC	Forest Service	Yükü	NAVFAC	Forest Service
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,4	0,01	7,90	1,67	1,69	9,58
0,8	0,05	12,31	3,35	3,40	15,66
1,2	0,12	12,79	5,02	5,14	17,81
1,6	0,19	11,00	6,70	6,89	17,70
2	0,28	8,60	8,37	8,66	16,97
2,4	0,38	6,42	10,05	10,43	16,46
2,8	0,47	4,70	11,72	12,19	16,42
3,2	0,56	3,44	13,40	13,96	16,83
3,6	0,64	2,53	15,07	15,71	17,60
4	0,70	1,87	16,74	17,44	18,62
4,4	0,75	1,41	18,42	19,17	19,83
4,8	0,78	1,07	20,09	20,88	21,17
5,2	0,80	0,83	21,77	22,57	22,59
5,6	0,81	0,65	23,44	24,25	24,09
6	0,81	0,51	25,12	25,92	25,63
6,4	0,79	0,41	26,79	27,58	27,20
6,8	0,77	0,33	28,47	29,24	28,79
7,2	0,75	0,27	30,14	30,89	30,41
7,6	0,72	0,22	31,81	32,53	32,03
8	0,68	0,18	33,49	34,17	33,67
8,4	0,65	0,15	35,16	35,81	35,32
8,8	0,61	0,13	36,84	37,45	36,97
9,2	0,58	0,11	38,51	39,09	38,62
9,6	0,54	0,09	40,19	40,73	40,28
10	0,51	0,08	41,86	42,37	41,94
10,4	0,47	0,07	43,54	44,01	43,60
10,8	0,44	0,06	45,21	45,65	45,27
11,2	0,41	0,05	46,88	47,30	46,94
11,6	0,39	0,04	48,56	48,94	48,60
12	0,36	0,04	50,23	50,59	50,27
12,4	0,33	0,03	51,91	52,24	51,94
12,8	0,31	0,03	53,58	53,89	53,61
13,2	0,29	0,03	55,26	55,55	55,28
13,6	0,27	0,02	56,93	57,20	56,96
14	0,25	0,02	58,61	58,86	58,63
14,4	0,23	0,02	60,28	60,51	60,30
14,8	0,22	0,02	61,95	62,17	61,97
15,2	0,20	0,02	63,63	63,83	63,65
15,6	0,19	0,01	65,30	65,49	65,32
16	0,18	0,01	66,98	67,15	66,99
16,4	0,16	0,01	68,65	68,82	68,66
16,8	0,15	0,01	70,33	70,48	70,34
17,2	0,14	0,01	72,00	72,14	72,01
17,6	0,13	0,01	73,68	73,81	73,69
18	0,12	0,01	75,35	75,47	75,36
18,4	0,12	0,01	77,03	77,14	77,03
18,8	0,11	0,01	78,70	78,81	78,71
19,2	0,10	0,01	80,37	80,48	80,38
19,6	0,10	0,01	82,05	82,14	82,05
20	0,09	0,01	83,72	83,81	83,73



Şekil 6.27. NAVFAC ve Forest Service yöntemine göre 20 m yüksekliğindeki duvarda toplam yükün oluşturduğu yatay gerilme değerlerinin karşılaştırılması.

6.2.3. Duvar tasarımı yapılması

Bu bölümde elde edilen tasarım değerleri başlık 6.1.3'de açıklanan tasarım esaslarına göre yapılmıştır.

3 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

3 m yüksekliğindeki duvara ait tasarım değerleri aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 6.31. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	16,39
0,4	0,4	13,24	9,24	1,30	0,55	1,30	1,00	2,30	1	2,30	
0,8	0,4	5,12	9,24	1,10	0,72	1,10	1,00	2,10	1	2,10	
1,2	0,4	3,50	9,24	0,90	0,70	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
1,6	0,4	3,07	9,24	0,70	0,60	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
2	0,4	3,01	9,24	0,50	0,49	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
2,4	0,4	3,06	9,24	0,30	0,40	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
2,8	0,4	3,09	9,24	0,10	0,34	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
3	0,4	3,09	9,24	0,00	0,32	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

Çizelge 6.32. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 3 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	16,64
0,4	0,4	13,24	11,44	1,30	1,24	1,30	1,24	2,53	1	2,53	
0,8	0,4	5,12	9,35	1,10	1,01	1,10	1,01	2,11	1	2,11	
1,2	0,4	3,50	9,24	0,90	0,77	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
1,6	0,4	3,07	9,24	0,70	0,57	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
2	0,4	3,01	9,24	0,50	0,44	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
2,4	0,4	3,06	9,24	0,30	0,35	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
2,8	0,4	3,09	9,24	0,10	0,30	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
3	0,4	3,09	9,24	0,00	0,29	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

5 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

5 m yüksekliğindeki duvara ait tasarım değerleri aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 6.33. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	30,87
0,4	0,4	13,24	9,24	2,29	0,55	2,29	1,00	3,29	1	3,29	
0,8	0,4	5,12	9,24	2,09	0,72	2,09	1,00	3,09	1	3,09	
1,2	0,4	3,50	9,24	1,89	0,70	1,89	1,00	2,89	1	2,89	
1,6	0,4	3,07	9,24	1,70	0,60	1,70	1,00	2,70	1	2,70	
2	0,4	3,01	9,24	1,50	0,49	1,50	1,00	2,50	1	2,50	
2,4	0,4	3,06	9,24	1,30	0,40	1,30	1,00	2,30	1	2,30	
2,8	0,4	3,09	9,24	1,10	0,34	1,10	1,00	2,10	1	2,10	
3,2	0,4	3,07	9,24	0,90	0,30	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
3,6	0,4	3,00	9,24	0,70	0,27	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
4	0,4	2,89	9,24	0,50	0,25	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
4,4	0,4	2,75	9,24	0,30	0,24	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
4,8	0,4	2,60	9,24	0,10	0,24	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
5	0,4	2,53	9,24	0,00	0,23	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

Çizelge 6.34. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 5 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	31,12
0,4	0,4	13,24	11,44	2,29	1,24	2,29	1,24	3,53	1	3,53	
0,8	0,4	5,12	9,35	2,09	1,01	2,09	1,01	3,11	1	3,11	
1,2	0,4	3,50	9,24	1,89	0,77	1,89	1,00	2,89	1	2,89	
1,6	0,4	3,07	9,24	1,70	0,57	1,70	1,00	2,70	1	2,70	
2	0,4	3,01	9,24	1,50	0,44	1,50	1,00	2,50	1	2,50	
2,4	0,4	3,06	9,24	1,30	0,35	1,30	1,00	2,30	1	2,30	
2,8	0,4	3,09	9,24	1,10	0,30	1,10	1,00	2,10	1	2,10	
3,2	0,4	3,07	9,24	0,90	0,27	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
3,6	0,4	3,00	9,24	0,70	0,25	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
4	0,4	2,89	9,24	0,50	0,24	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
4,4	0,4	2,75	9,24	0,30	0,23	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
4,8	0,4	2,60	9,24	0,10	0,23	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
5	0,4	2,53	9,24	0,00	0,23	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

10 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

10 m yüksekliğindeki duvara ait tasarım değerleri aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 6.35. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	87,84
0,4	0,4	30,11	9,24	4,79	0,24	4,79	1,00	5,79	1	5,79	
0,8	0,4	13,77	9,24	4,59	0,27	4,59	1,00	5,59	1	5,59	
1,2	0,4	8,68	9,24	4,39	0,28	4,39	1,00	5,39	1	5,39	
1,6	0,4	6,36	9,24	4,19	0,29	4,19	1,00	5,19	1	5,19	
2	0,4	5,09	9,24	3,99	0,29	3,99	1,00	4,99	1	4,99	
2,4	0,4	4,31	9,24	3,79	0,28	3,79	1,00	4,79	1	4,79	
2,8	0,4	3,80	9,24	3,59	0,28	3,59	1,00	4,59	1	4,59	
3,2	0,4	3,43	9,24	3,39	0,27	3,39	1,00	4,39	1	4,39	
3,6	0,4	3,15	9,24	3,19	0,26	3,19	1,00	4,19	1	4,19	
4	0,4	2,92	9,24	2,99	0,25	2,99	1,00	3,99	1	3,99	
4,4	0,4	2,72	9,24	2,79	0,25	2,79	1,00	3,79	1	3,79	
4,8	0,4	2,55	9,24	2,59	0,24	2,59	1,00	3,59	1	3,59	
5,2	0,4	2,40	9,24	2,39	0,24	2,39	1,00	3,39	1	3,39	
5,6	0,4	2,26	9,24	2,19	0,23	2,19	1,00	3,19	1	3,19	
6	0,4	2,14	9,24	1,99	0,23	1,99	1,00	2,99	1	2,99	
6,4	0,4	2,03	9,24	1,79	0,23	1,79	1,00	2,79	1	2,79	
6,8	0,4	1,92	9,24	1,60	0,22	1,60	1,00	2,60	1	2,60	
7,2	0,4	1,83	9,24	1,40	0,22	1,40	1,00	2,40	1	2,40	
7,6	0,4	1,74	9,24	1,20	0,22	1,20	1,00	2,20	1	2,20	
8	0,4	1,66	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
8,4	0,4	1,59	9,24	0,80	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
8,8	0,4	1,52	9,24	0,60	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
9,2	0,4	1,46	9,24	0,40	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
9,6	0,4	1,40	9,24	0,20	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
10	0,4	1,35	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

Çizelge 6.35. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 10 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	88,09
0,4	0,4	30,11	11,44	4,79	1,24	4,79	1,24	6,02	1	6,02	
0,8	0,4	13,77	9,35	4,59	1,01	4,59	1,01	5,60	1	5,60	
1,2	0,4	8,68	9,24	4,39	0,77	4,39	1,00	5,39	1	5,39	
1,6	0,4	6,36	9,24	4,19	0,57	4,19	1,00	5,19	1	5,19	
2	0,4	5,09	9,24	3,99	0,44	3,99	1,00	4,99	1	4,99	
2,4	0,4	4,31	9,24	3,79	0,35	3,79	1,00	4,79	1	4,79	
2,8	0,4	3,80	9,24	3,59	0,30	3,59	1,00	4,59	1	4,59	
3,2	0,4	3,43	9,24	3,39	0,27	3,39	1,00	4,39	1	4,39	
3,6	0,4	3,15	9,24	3,19	0,25	3,19	1,00	4,19	1	4,19	
4	0,4	2,92	9,24	2,99	0,24	2,99	1,00	3,99	1	3,99	
4,4	0,4	2,72	9,24	2,79	0,23	2,79	1,00	3,79	1	3,79	
4,8	0,4	2,55	9,24	2,59	0,23	2,59	1,00	3,59	1	3,59	
5,2	0,4	2,40	9,24	2,39	0,22	2,39	1,00	3,39	1	3,39	
5,6	0,4	2,26	9,24	2,19	0,22	2,19	1,00	3,19	1	3,19	
6	0,4	2,14	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	2,99	1	2,99	
6,4	0,4	2,03	9,24	1,79	0,22	1,79	1,00	2,79	1	2,79	
6,8	0,4	1,92	9,24	1,60	0,22	1,60	1,00	2,60	1	2,60	
7,2	0,4	1,83	9,24	1,40	0,22	1,40	1,00	2,40	1	2,40	
7,6	0,4	1,74	9,24	1,20	0,22	1,20	1,00	2,20	1	2,20	
8	0,4	1,66	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
8,4	0,4	1,59	9,24	0,80	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
8,8	0,4	1,52	9,24	0,60	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
9,2	0,4	1,46	9,24	0,40	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
9,6	0,4	1,40	9,24	0,20	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
10	0,4	1,35	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

15 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

15 m yüksekliğindeki duvara ait tasarım değerleri aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 6.37. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu, m	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	178,02
0,4	0,4	66,18	9,24	7,28	0,22	7,28	1,00	8,28	1	8,28	
0,8	0,4	32,35	9,24	7,08	0,23	7,08	1,00	8,08	1	8,08	
1,2	0,4	21,16	9,24	6,88	0,23	6,88	1,00	7,88	1	7,88	
1,6	0,4	15,65	9,24	6,68	0,23	6,68	1,00	7,68	1	7,68	
2	0,4	12,41	9,24	6,48	0,24	6,48	1,00	7,48	1	7,48	
2,4	0,4	10,29	9,24	6,28	0,24	6,28	1,00	7,28	1	7,28	
2,8	0,4	8,81	9,24	6,08	0,24	6,08	1,00	7,08	1	7,08	
3,2	0,4	7,73	9,24	5,88	0,24	5,88	1,00	6,88	1	6,88	
3,6	0,4	6,90	9,24	5,68	0,24	5,68	1,00	6,68	1	6,68	
4	0,4	6,25	9,24	5,48	0,24	5,48	1,00	6,48	1	6,48	
4,4	0,4	5,72	9,24	5,28	0,23	5,28	1,00	6,28	1	6,28	
4,8	0,4	5,28	9,24	5,09	0,23	5,09	1,00	6,09	1	6,09	
5,2	0,4	4,91	9,24	4,89	0,23	4,89	1,00	5,89	1	5,89	
5,6	0,4	4,59	9,24	4,69	0,23	4,69	1,00	5,69	1	5,69	
6	0,4	4,32	9,24	4,49	0,23	4,49	1,00	5,49	1	5,49	
6,4	0,4	4,07	9,24	4,29	0,23	4,29	1,00	5,29	1	5,29	
6,8	0,4	3,85	9,24	4,09	0,22	4,09	1,00	5,09	1	5,09	
7,2	0,4	3,65	9,24	3,89	0,22	3,89	1,00	4,89	1	4,89	
7,6	0,4	3,48	9,24	3,69	0,22	3,69	1,00	4,69	1	4,69	
8	0,4	3,31	9,24	3,49	0,22	3,49	1,00	4,49	1	4,49	
8,4	0,4	3,17	9,24	3,29	0,22	3,29	1,00	4,29	1	4,29	
8,8	0,4	3,03	9,24	3,09	0,22	3,09	1,00	4,09	1	4,09	
9,2	0,4	2,90	9,24	2,89	0,22	2,89	1,00	3,89	1	3,89	
9,6	0,4	2,79	9,24	2,69	0,22	2,69	1,00	3,69	1	3,69	
10	0,4	2,68	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	3,49	1	3,49	
10,4	0,4	2,58	9,24	2,29	0,22	2,29	1,00	3,29	1	3,29	
10,8	0,4	2,49	9,24	2,09	0,22	2,09	1,00	3,09	1	3,09	
11,2	0,4	2,40	9,24	1,89	0,22	1,89	1,00	2,89	1	2,89	
11,6	0,4	2,32	9,24	1,70	0,22	1,70	1,00	2,70	1	2,70	
12	0,4	2,25	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	2,50	1	2,50	
12,4	0,4	2,18	9,24	1,30	0,22	1,30	1,00	2,30	1	2,30	
12,8	0,4	2,11	9,24	1,10	0,22	1,10	1,00	2,10	1	2,10	
13,2	0,4	2,05	9,24	0,90	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
13,6	0,4	1,99	9,24	0,70	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
14	0,4	1,93	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
14,4	0,4	1,88	9,24	0,30	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
14,8	0,4	1,83	9,24	0,10	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
15	0,4	1,81	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

Çizelge 6.38. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 15 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	178,27
0,4	0,4	66,18	11,44	7,28	1,24	7,28	1,24	8,52	1	8,52	
0,8	0,4	32,35	9,35	7,08	1,01	7,08	1,01	8,09	1	8,09	
1,2	0,4	21,16	9,24	6,88	0,77	6,88	1,00	7,88	1	7,88	
1,6	0,4	15,65	9,24	6,68	0,57	6,68	1,00	7,68	1	7,68	
2	0,4	12,41	9,24	6,48	0,44	6,48	1,00	7,48	1	7,48	
2,4	0,4	10,29	9,24	6,28	0,35	6,28	1,00	7,28	1	7,28	
2,8	0,4	8,81	9,24	6,08	0,30	6,08	1,00	7,08	1	7,08	
3,2	0,4	7,73	9,24	5,88	0,27	5,88	1,00	6,88	1	6,88	
3,6	0,4	6,90	9,24	5,68	0,25	5,68	1,00	6,68	1	6,68	
4	0,4	6,25	9,24	5,48	0,24	5,48	1,00	6,48	1	6,48	
4,4	0,4	5,72	9,24	5,28	0,23	5,28	1,00	6,28	1	6,28	
4,8	0,4	5,28	9,24	5,09	0,23	5,09	1,00	6,09	1	6,09	
5,2	0,4	4,91	9,24	4,89	0,22	4,89	1,00	5,89	1	5,89	
5,6	0,4	4,59	9,24	4,69	0,22	4,69	1,00	5,69	1	5,69	
6	0,4	4,32	9,24	4,49	0,22	4,49	1,00	5,49	1	5,49	
6,4	0,4	4,07	9,24	4,29	0,22	4,29	1,00	5,29	1	5,29	
6,8	0,4	3,85	9,24	4,09	0,22	4,09	1,00	5,09	1	5,09	
7,2	0,4	3,65	9,24	3,89	0,22	3,89	1,00	4,89	1	4,89	
7,6	0,4	3,48	9,24	3,69	0,22	3,69	1,00	4,69	1	4,69	
8	0,4	3,31	9,24	3,49	0,22	3,49	1,00	4,49	1	4,49	
8,4	0,4	3,17	9,24	3,29	0,22	3,29	1,00	4,29	1	4,29	
8,8	0,4	3,03	9,24	3,09	0,22	3,09	1,00	4,09	1	4,09	
9,2	0,4	2,90	9,24	2,89	0,22	2,89	1,00	3,89	1	3,89	
9,6	0,4	2,79	9,24	2,69	0,22	2,69	1,00	3,69	1	3,69	
10	0,4	2,68	9,24	2,49	0,22	2,49	1,00	3,49	1	3,49	
10,4	0,4	2,58	9,24	2,29	0,22	2,29	1,00	3,29	1	3,29	
10,8	0,4	2,49	9,24	2,09	0,22	2,09	1,00	3,09	1	3,09	
11,2	0,4	2,40	9,24	1,89	0,22	1,89	1,00	2,89	1	2,89	
11,6	0,4	2,32	9,24	1,70	0,22	1,70	1,00	2,70	1	2,70	
12	0,4	2,25	9,24	1,50	0,22	1,50	1,00	2,50	1	2,50	
12,4	0,4	2,18	9,24	1,30	0,22	1,30	1,00	2,30	1	2,30	
12,8	0,4	2,11	9,24	1,10	0,22	1,10	1,00	2,10	1	2,10	
13,2	0,4	2,05	9,24	0,90	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
13,6	0,4	1,99	9,24	0,70	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
14	0,4	1,93	9,24	0,50	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
14,4	0,4	1,88	9,24	0,30	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
14,8	0,4	1,83	9,24	0,10	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
15	0,4	1,81	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

20 m'lik duvarda elde edilen tasarım değerleri

20 m yüksekliğindeki duvara ait tasarım değerleri aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 6.39. NAVFAC yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.

NAVFAC											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	297,31
0,4	0,4	67,32	9,24	9,77	0,22	9,77	1,00	10,77	1	10,77	
0,8	0,4	33,40	9,24	9,57	0,22	9,57	1,00	10,57	1	10,57	
1,2	0,4	22,11	9,24	9,37	0,22	9,37	1,00	10,37	1	10,37	
1,6	0,4	16,49	9,24	9,17	0,22	9,17	1,00	10,17	1	10,17	
2	0,4	13,13	9,24	8,97	0,22	8,97	1,00	9,97	1	9,97	
2,4	0,4	10,90	9,24	8,78	0,22	8,78	1,00	9,78	1	9,78	
2,8	0,4	9,32	9,24	8,58	0,23	8,58	1,00	9,58	1	9,58	
3,2	0,4	8,14	9,24	8,38	0,23	8,38	1,00	9,38	1	9,38	
3,6	0,4	7,23	9,24	8,18	0,23	8,18	1,00	9,18	1	9,18	
4	0,4	6,51	9,24	7,98	0,23	7,98	1,00	8,98	1	8,98	
4,4	0,4	5,93	9,24	7,78	0,23	7,78	1,00	8,78	1	8,78	
4,8	0,4	5,44	9,24	7,58	0,22	7,58	1,00	8,58	1	8,58	
5,2	0,4	5,03	9,24	7,38	0,22	7,38	1,00	8,38	1	8,38	
5,6	0,4	4,69	9,24	7,18	0,22	7,18	1,00	8,18	1	8,18	
6	0,4	4,38	9,24	6,98	0,22	6,98	1,00	7,98	1	7,98	
6,4	0,4	4,12	9,24	6,78	0,22	6,78	1,00	7,78	1	7,78	
6,8	0,4	3,89	9,24	6,58	0,22	6,58	1,00	7,58	1	7,58	
7,2	0,4	3,68	9,24	6,38	0,22	6,38	1,00	7,38	1	7,38	
7,6	0,4	3,49	9,24	6,18	0,22	6,18	1,00	7,18	1	7,18	
8	0,4	3,33	9,24	5,98	0,22	5,98	1,00	6,98	1	6,98	
8,4	0,4	3,17	9,24	5,78	0,22	5,78	1,00	6,78	1	6,78	
8,8	0,4	3,03	9,24	5,58	0,22	5,58	1,00	6,58	1	6,58	
9,2	0,4	2,91	9,24	5,38	0,22	5,38	1,00	6,38	1	6,38	
9,6	0,4	2,79	9,24	5,19	0,22	5,19	1,00	6,19	1	6,19	
10	0,4	2,68	9,24	4,99	0,22	4,99	1,00	5,99	1	5,99	
10,4	0,4	2,58	9,24	4,79	0,22	4,79	1,00	5,79	1	5,79	
10,8	0,4	2,49	9,24	4,59	0,22	4,59	1,00	5,59	1	5,59	
11,2	0,4	2,40	9,24	4,39	0,22	4,39	1,00	5,39	1	5,39	
11,6	0,4	2,32	9,24	4,19	0,22	4,19	1,00	5,19	1	5,19	
12	0,4	2,25	9,24	3,99	0,22	3,99	1,00	4,99	1	4,99	
12,4	0,4	2,18	9,24	3,79	0,22	3,79	1,00	4,79	1	4,79	
12,8	0,4	2,11	9,24	3,59	0,22	3,59	1,00	4,59	1	4,59	
13,2	0,4	2,05	9,24	3,39	0,22	3,39	1,00	4,39	1	4,39	
13,6	0,4	1,99	9,24	3,19	0,22	3,19	1,00	4,19	1	4,19	
14	0,4	1,93	9,24	2,99	0,22	2,99	1,00	3,99	1	3,99	
14,4	0,4	1,88	9,24	2,79	0,22	2,79	1,00	3,79	1	3,79	
14,8	0,4	1,83	9,24	2,59	0,22	2,59	1,00	3,59	1	3,59	
15,2	0,4	1,78	9,24	2,39	0,22	2,39	1,00	3,39	1	3,39	
15,6	0,4	1,74	9,24	2,19	0,22	2,19	1,00	3,19	1	3,19	
16	0,4	1,69	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	2,99	1	2,99	
16,4	0,4	1,65	9,24	1,79	0,22	1,79	1,00	2,79	1	2,79	
16,8	0,4	1,61	9,24	1,60	0,22	1,60	1,00	2,60	1	2,60	
17,2	0,4	1,58	9,24	1,40	0,22	1,40	1,00	2,40	1	2,40	
17,6	0,4	1,54	9,24	1,20	0,22	1,20	1,00	2,20	1	2,20	
18	0,4	1,51	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
18,4	0,4	1,47	9,24	0,80	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
18,8	0,4	1,44	9,24	0,60	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
19,2	0,4	1,41	9,24	0,40	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
19,6	0,4	1,38	9,24	0,20	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
20	0,4	1,36	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

Çizelge 6.40. Forest Service yöntemiyle elde edilen gerilmelere göre 20 m'lik duvar için tasarım değerleri.

Forest Service											
z (m)	Sv (m)	F.S. (kop.)	F.S. (sıyrıl.)	Lr (m) (hes.)	Le (m) (hes.)	Lr (m) (seç.)	Le (m) (seç.)	Lr+Le (seç.)	Donatı adedi	Donatı uzunluğu	Σ L (m)
0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0	0,00	297,56
0,4	0,4	67,32	11,44	9,77	1,24	9,77	1,24	11,01	1	11,01	
0,8	0,4	33,40	9,35	9,57	1,01	9,57	1,01	10,59	1	10,59	
1,2	0,4	22,11	9,24	9,37	0,77	9,37	1,00	10,37	1	10,37	
1,6	0,4	16,49	9,24	9,17	0,57	9,17	1,00	10,17	1	10,17	
2	0,4	13,13	9,24	8,97	0,44	8,97	1,00	9,97	1	9,97	
2,4	0,4	10,90	9,24	8,78	0,35	8,78	1,00	9,78	1	9,78	
2,8	0,4	9,32	9,24	8,58	0,30	8,58	1,00	9,58	1	9,58	
3,2	0,4	8,14	9,24	8,38	0,27	8,38	1,00	9,38	1	9,38	
3,6	0,4	7,23	9,24	8,18	0,25	8,18	1,00	9,18	1	9,18	
4	0,4	6,51	9,24	7,98	0,24	7,98	1,00	8,98	1	8,98	
4,4	0,4	5,93	9,24	7,78	0,23	7,78	1,00	8,78	1	8,78	
4,8	0,4	5,44	9,24	7,58	0,23	7,58	1,00	8,58	1	8,58	
5,2	0,4	5,03	9,24	7,38	0,22	7,38	1,00	8,38	1	8,38	
5,6	0,4	4,69	9,24	7,18	0,22	7,18	1,00	8,18	1	8,18	
6	0,4	4,38	9,24	6,98	0,22	6,98	1,00	7,98	1	7,98	
6,4	0,4	4,12	9,24	6,78	0,22	6,78	1,00	7,78	1	7,78	
6,8	0,4	3,89	9,24	6,58	0,22	6,58	1,00	7,58	1	7,58	
7,2	0,4	3,68	9,24	6,38	0,22	6,38	1,00	7,38	1	7,38	
7,6	0,4	3,49	9,24	6,18	0,22	6,18	1,00	7,18	1	7,18	
8	0,4	3,33	9,24	5,98	0,22	5,98	1,00	6,98	1	6,98	
8,4	0,4	3,17	9,24	5,78	0,22	5,78	1,00	6,78	1	6,78	
8,8	0,4	3,03	9,24	5,58	0,22	5,58	1,00	6,58	1	6,58	
9,2	0,4	2,91	9,24	5,38	0,22	5,38	1,00	6,38	1	6,38	
9,6	0,4	2,79	9,24	5,19	0,22	5,19	1,00	6,19	1	6,19	
10	0,4	2,68	9,24	4,99	0,22	4,99	1,00	5,99	1	5,99	
10,4	0,4	2,58	9,24	4,79	0,22	4,79	1,00	5,79	1	5,79	
10,8	0,4	2,49	9,24	4,59	0,22	4,59	1,00	5,59	1	5,59	
11,2	0,4	2,40	9,24	4,39	0,22	4,39	1,00	5,39	1	5,39	
11,6	0,4	2,32	9,24	4,19	0,22	4,19	1,00	5,19	1	5,19	
12	0,4	2,25	9,24	3,99	0,22	3,99	1,00	4,99	1	4,99	
12,4	0,4	2,18	9,24	3,79	0,22	3,79	1,00	4,79	1	4,79	
12,8	0,4	2,11	9,24	3,59	0,22	3,59	1,00	4,59	1	4,59	
13,2	0,4	2,05	9,24	3,39	0,22	3,39	1,00	4,39	1	4,39	
13,6	0,4	1,99	9,24	3,19	0,22	3,19	1,00	4,19	1	4,19	
14	0,4	1,93	9,24	2,99	0,22	2,99	1,00	3,99	1	3,99	
14,4	0,4	1,88	9,24	2,79	0,22	2,79	1,00	3,79	1	3,79	
14,8	0,4	1,83	9,24	2,59	0,22	2,59	1,00	3,59	1	3,59	
15,2	0,4	1,78	9,24	2,39	0,22	2,39	1,00	3,39	1	3,39	
15,6	0,4	1,74	9,24	2,19	0,22	2,19	1,00	3,19	1	3,19	
16	0,4	1,69	9,24	1,99	0,22	1,99	1,00	2,99	1	2,99	
16,4	0,4	1,65	9,24	1,79	0,22	1,79	1,00	2,79	1	2,79	
16,8	0,4	1,61	9,24	1,60	0,22	1,60	1,00	2,60	1	2,60	
17,2	0,4	1,58	9,24	1,40	0,22	1,40	1,00	2,40	1	2,40	
17,6	0,4	1,54	9,24	1,20	0,22	1,20	1,00	2,20	1	2,20	
18	0,4	1,51	9,24	1,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
18,4	0,4	1,47	9,24	0,80	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
18,8	0,4	1,44	9,24	0,60	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
19,2	0,4	1,41	9,24	0,40	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
19,6	0,4	1,38	9,24	0,20	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	
20	0,4	1,36	9,24	0,00	0,22	1,00	1,00	2,00	1	2,00	

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Yapılan hesaplamalarla noktasal yük ve zeminin kendi yükünden kaynaklanan yatay gerilmeler, güvenlik faktörleri, donatı aralığı ve donatı uzunluğuyla ilgili sonuçlar elde edilmiştir.

NAVFAC yönteminde noktasal yükten kaynaklanan yatay gerilmenin hesaplanabilemesi için kullanılan formülde, gerilme değerlerinin duvar yüksekliğine bağlı bir fonksiyon olduğu görülmektedir. Yapılan hesaplamalarda duvar yüksekliği değiştikçe gerilme değerlerinin değiştiği görülmektedir.

Forest Service yönteminde ise duvara etki eden gerilmelerin hesaplandığı formüllerin duvar yüksekliğinden bağımsız bir fonksiyon olduğu görülmektedir. Bu durumda duvar yüksekliği artsa bile gerilme değerleri bir önceki duvarın aynı yüksekliğinde değişmeden kalmaktadır. Örneğin 10 m yüksekliğindeki duvarın ilk 5 m'sinde oluşan gerilmeler 5 m yüksekliğindeki duvarda oluşan gerilmelerle aynı değerdedir. Hesaplanan donatı aralığı ve donatı uzunluğu değerleri, duvara etki eden yatay gerilmelere bağlı olduğundan değişiklik göstermektedir.

Yapılan karşılaştırmalardan biri, donatı aralığının sabit tutulup güvenlik faktörünün karşılaştırıldığı analizlerdir. Sıyrılmaya karşı güvenlik faktörünün bağlı olduğu değerler arasında etkin donatı uzunluğu, düşey gerilmeler ve donatı aralığı değerleri yer almaktadır. Duvar yüksekliği boyunca zeminin değişmediği varsayıldığından düşey gerilmeler her duvar için aynıdır. Etkin donatı uzunluğunun ise birçok duvar için aynı çıktığı görülmektedir. Farklı yöntemler sonucu farklı gerilmelerin hesaplandığı aynı duvar yüksekliklerinde aynı ve sabit donatı aralığı kullanıldığında, her iki yöntemde tüm duvar boyunca aynı sıyrılmaya karşı güvenlik faktörü elde edilmiştir, 3 m'lik duvarın ilk katmanında etkin donatı uzunluğu, 5 m'lik duvarda ise donatı aralığı NAVFAC ve Forest Service yönteminde farklılık gösterdiğinden sıyrılmaya karşı güvenlik faktörü bu duvar yüksekliklerinde farklılık gösterebilmektedir.

Kopmaya karşı güvenlik faktörleri incelendiğinde ise iki yöntem arasında büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre Forest

Service yönteminin NAVFAC yöntemine göre çoğunlukla daha tutucu bir yöntem olabildiği görülmektedir.

Kullanılan toplam donatı uzunluğu tüm duvarlarda her iki yöntemde de eşittir.

Bir diğer karşılaştırma bir tek noktadan etki ettirilen 200 kN'luk noktasal yük kullanılarak yapılan karşılaştırmalardır. Bu karşılaştırmada ise toplam donatı uzunlukları her duvar yüksekliğinde farklılıklar göstermektedir. Güvenlik faktörü, donatı aralığı gibi değerler bir önceki bölümde yer alan çizelgelerde detaylı bir şekilde gösterilmiştir. Çizelge 7.1'de araç yükünden kaynaklanan gerilmeler sonucunda elde edilen toplam donatı uzunluğu değerleri tüm duvarlar için toplu halde sunulmuştur. Çizelge 7.2'de ise 200 kN'luk noktasal yükün oluşturduğu gerilmeler sonucunda elde edilen toplam donatı uzunlukları verilmiştir.

Çizelge 7.1. Araç yükünden kaynaklanan gerilmeler sonucunda hesaplanan donatı uzunluğu değerleri.

Duvar Yüksekliği (m)	Toplam Donatı (m)	
	NAVFAC	Forest Service
3	14	14
5	15,49	15,49
10	83,86	83,86
15	171,64	171,64
20	288,34	288,34

Çizelge 7.2. Noktasal yükten kaynaklanan gerilmeler sonucunda hesaplanan donatı uzunluğu değerleri.

Duvar Yüksekliği (m)	Toplam Donatı (m)	
	NAVFAC	Forest Service
3	16,39	16,64
5	30,87	31,12
10	87,84	88,09
15	178,02	178,27
20	297,31	297,56

KAYNAKLAR

- Ahmadi H., Bezuijen A., (2018). Full-scale mechanically stabilized earth (MSE) walls under strip footing load, *Geotextiles and Geomembranes*, 46 (2018) 297–311.
- Bonaparte, R., Holtz, R. D. ve Giroud, J. P., (1987). Soil reinforcement design using geotextiles and geogrids. In *Geotextile Testing and the Design Engineer*, ASTM STP 952, ed. J. E. Fluet, Jr. American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, pp. 69-116.
- Broms, B. B., (1978). Design of fabric reinforced retaining structures. In *Proceedings of the Symposium on Earth Reinforcement*. ASCE, Pittsburgh, PA, p. 282. (Summarized in National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) Report 290 (1987). Reinforcement of earth slopes and embankments.
- Claybourn, A. F., (1990). *A Comparison of Design Methods For Geosynthetic-Reinforced Earth Walls*, Yüksek Lisans Tezi, Auraria Library Digital Collections, University of Colorado, Denver, Colorado.
- Claybourn, A. F. ve Wu, J. T. H., (1993). Geosynthetic-reinforced soil wall design, *Geotextiles and Geomembranes*, 12 (1993) 707-724.
- Collin, J. G., (1986). *Earth Wall Design*. Doktora Tezi, Department of Civil Engineering, University of California, Berkeley, CA.
- Das, B. M., (2006). *Principles of Geotechnical Engineering*, (6th Edition). ABD: Thomson, 89.
- Ghanbari, A., Taheri, M., (2012). An analytical method for calculating active earth pressure in reinforced retaining walls subject to a line surcharge, *Geotextiles and Geomembranes*, 34 (2012) 1-10.
- Ho S. K. ve Rowe R. K., (1997). Effect of wall geometry on the behaviour of reinforced soil walls, *Geotextiles and Geomembranes*, 14 (1996) 521-541.
- Koerner R. M., (2005). *Designing with Geosynthetics* (5th Edition). ABD: PEARSON Prentice Hall, 231.

Leshchinsky, D. ve Perry, E. B., (1987). *A design procedure for geotextile-reinforced walls*. In *Proceedings of the Geosynthetics '87 Conference*, Vol. 1, New Orleans, pp. 95-107.

NAVFAC, (1986). *Foundations & Earth Structures, Naval Facilities Engineering Command*, USA.

Schmertmann, G. R., Chouery-Curtis, V. E., Johnson, R. D. ve Bonaparte, R., (1987). Design charts for geogrid-reinforced soil slopes. In *Proceedings of the Geosynthetics '87 Conference*, Vol. 1, New Orleans, pp. 108-20.

Skejic et al., (2018). Influence of wire mesh characteristics on reinforced soil model wall failure mechanisms-physical and numerical modelling, *Geotextiles and Geomembranes*, 46 (2018) 726–738.

Steward et al., (1977). *Guidelines for Use of Fabrics in Construction and Maintenance of Low-Volume Roads*, *United States Forest Service*, USDA.

|

ÖZ GEÇMİŞ



Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KALENDER, Murat
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 02.01.1992, Ankara
 Medeni hali : Bekâr
 Telefon : +90 538 832 92 01
 e-mail : kalendermurat01@gmail.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2016 - Halen
Lisans	Anadolu Üniversitesi / İnşaat Mühendisliği	2016
Lise	Alparslan Anadolu Lisesi	2009

İş Deneyimi

-

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

Kalender, M., Özer M., (2019). *Farklı yöntemlerle hesaplanan yük tesirlerinin geosentetik donatılı duvar tasarımına etkisinin incelenmesi*, III. Uluslararası Multidisipliner Akademik Çalışmalar Sempozyumunda sunuldu, İzmir.

Hobiler

Tiyatro, halk müziği, bilimsel okuma. |



GAZİ GELECEKTİR,,