

T.C.
İSTANBUL NİŞANTAŞI ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ (TEZLİ) YÜKSEK LİSANS PROGRAMI

ZEMİNLERİN GEOFOAM KATKISIYLA GÜÇLENDİRME
ALTERNATİFLERİNİN NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ahmetcan KURTOĞLU

Yüksek Lisans Tezi

ZEMİNLERİN GEOFOAM KATKISIYLA GÜÇLENDİRME
ALTERNATİFLERİNİN NÜMERİK OLARAK ARAŞTIRILMASI

Ahmetcan KURTOĞLU

T.C.
İstanbul Nişantaşı Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
İnşaat Mühendisliği (Tezli) Yüksek Lisans Programı

Yüksek Lisans Tezi

ORCID ID: 0009-0002-8778-0064

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Selçuk BİLDİK

İstanbul
Mayıs 2024

KABUL VE ONAY

Ahmetcan KURTOĞLU tarafından hazırlanan “Zeminlerin Geofom Katkısıyla Güçlendirme Alternatiflerinin Nümerik Olarak Araştırılması” başlıklı bu çalışma, 17 Mayıs 2024 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak jürimiz tarafından Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesi: **Dr. Öğr. Üyesi Ümit KARADOĞAN** _____
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyesi: **Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR** _____
Nişantaşı Üniversitesi

Tez Danışmanı: **Doç. Dr. Selçuk BİLDİK** _____
İstanbul Nişantaşı Üniversitesi

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

Enstitü Yönetim Kurulu;

Karar Tarihi :

Karar Numarası :

Dr. Öğr. Üyesi Şerafettin SEVGİLİ

Enstitü Müdürü

ETİK BEYAN

Bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını tezimin/projemin kaynak gösterilen durumlar dışında özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

17 Mayıs 2024

Ahmetcan KURTOĞLU



SAVUNMA ÖNCESİ ONAYLAR

BENZERLİK ONAYI		
Başlık	Zeminlerin Geofoam Katkısıyla Güçlendirme Alternatiflerinin Nümerik Olarak Araştırılması	
Savunma Tarihi	17.05.2024	
Sayfa Sayısı	95	
Benzerlik Yüzdesi (%)	%14	
Benzerlik Yüzdesi (%) (Kaynakça Hariç)	%13	
Taranan Program	Turnitin	
Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, özet, ana bölümler ve sonuç kısımlarından oluşan çalışmam için şahsım ve tez danışmanım/Enstitü Sorumlusu tarafından intihal tespit programında taraması yapılmıştır. Tez Danışmanımın gözetiminde tamamladığım çalışmamın azami benzerlik oranlarına göre intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.		
Öğrenci Ahmetcan Kurtoğlu	Danışman Doç. Dr. Selçuk BİLDİK	Enstitü Sorumlusu

TEZDEN ÇIKARILAN YAYIN		
Yayın Künyesi	Kurtoğlu A., Tak G. ve Bildik S. (2024). Numerical Investigation of Alternatives For Strengthening Soils with Geofoam or Geogrid Reinforcements. <i>7. Uluslararası Ankara Multidisipliner Bilimsel Çalışmalar Kongresi Bildiri Kitapçığı</i> içinde (ss. 109-110). Ankara, Türkiye.	
Yayın Türü	☐ Ulusal Hakemli Dergide Makale ☐ Uluslararası Hakemli Dergide Makale ☒ Ulusal Kongre/Sempozyumda Bildiri ☐ Uluslararası Kongre Sempozyumda Bildiri	
	Enstitü Sekreteri	

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam boyunca yardım ve tavsiyeleri ile beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. Selçuk BİLDİK'e gösterdiği ilgi ve katkılardan dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Yalnızca üniversite değil hayatımın her alanında yanımda olan, yardımlarını esirgemeyen, zorlukların üstesinden birlikte geldiğimiz sevgili arkadaşım Gizil TAK'a ve üniversitenin bana verdiği en güzel insanlardan biri olan ve yanımda olmasından büyük mutluluk duyduğum Sinan ONAR'a sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Yıllar süren benzersiz destek ve rehberliğiyle inancımı ve kararlılığımı asla kaybetmememi sağlayan canım aileme sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Ahmetcan KURTOĞLU

Mayıs, 2024

ÖZET

Ahmetcan KURTOĞLU

Zeminlerin Geofoam Katkısıyla Güçlendirme Alternatiflerinin Nümerik Olarak

Araştırılması

Yüksek Lisans Tezi

İstanbul, 2024

Geoteknik mühendisliğinin araştırdığı en önemli konularından biri temellerin tasarımı ve temel tasarımını etkileyen parametrelerin belirlenmesidir. İnşa amaçlarına göre farklı yükleme koşullarına maruz kalan temeller genellikle düşey basınç yüklerine maruz kalmaktadırlar. Ancak temeller bazı özel durumlarda çekme kuvvetlerine de maruz kalabilmektedir. Bu yükleme koşulları genellikle devrilme momentine maruz kalan elektrik hatları, düşey yönde kaldırma kuvveti etkisinde olan deniz platformları, köprü kablolarının bağlı olduğu temeller gibi yapılarda meydana gelmektedir. Bu temellerin tasarımında oluşan temele etki eden çekme kuvvetlerinin karşılanması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. En sık kullanılan yöntemler temellerin ankraj ile güçlendirilmesi veya temelin belirli derinliğe gömülerek üzerindeki zemin ağırlığı yardımıyla ankraj gibi çalıştırılmasıdır. Bu çalışmada kil zemine gömülü ankraj plakalarının davranışı sonlu elemanlar yöntemi ile araştırılmıştır. Bu kapsamda farklı gömülme derinliklerindeki ankraj plakalarının davranışı araştırılmıştır. Ayrıca geofoam ile güçlendirilmiş ankrajların davranışı incelenmiştir. Bu kapsamda geofoam kalınlığı, geofoam konumu, geofoam elastisite modülü ile yeraltı su seviyesinin çekme kapasitesine etkileri araştırılmıştır. Geofoam ile yapılan güçlendirmenin kil zeminlerde ankrajların çekme kapasitesini önemli ölçüde artırdığı görülmüştür.

Anahtar Kelimeler

Geofoam, çekme kapasitesi, ankraj plakası, zemin güçlendirme, sonlu elemanlar

ABSTRACT

Ahmetcan KURTOĞLU

Numerical Investigation of Alternatives for Improvement of Soils with Geofoam

Master's Thesis

İstanbul, 2024

One of the most important topics researched in geotechnical engineering is the design of foundations and determining the parameters affecting the foundation design. Foundations exposed to different loading conditions depending on their construction purposes are generally exposed to vertical pressure loads. However, foundations may also be exposed to uplift forces in some special cases. These loading conditions generally occur in structures such as power lines subject to overturning moments, marine platforms under the influence of vertical buoyancy, and foundations to which bridge cables are attached. Various methods are used to counteract the uplift forces acting on the foundation in the design of these foundations. The most used methods are strengthening the foundations with anchors or burying the foundation to a certain depth and operating it as an anchor with the help of the weight of the soil on it. In this study, the behavior of anchor plates embedded in clay soil was investigated using the finite element method. In this context, the behavior of anchor plates at different burial depths was investigated. Additionally, the behavior of anchors reinforced with geofoam was examined. The effects of geofoam thickness, geofoam location, geofoam elasticity module, and groundwater level on tensile capacity were investigated. It has been observed that reinforcement with geofoam significantly increases the tensile capacity of anchors in clay soils.

Keywords

Geofoam, uplift capacity, anchor plate, ground reinforcement, finite elements.

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
ETİK BEYAN	ii
SAVUNMA ÖNCESİ ONAYLAR	iii
TEŞEKKÜR.....	iv
ÖZET.....	v
ABSTRACT.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
TABLolar DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
SİMGELER DİZİNİ.....	xiii
KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
GİRİŞ	1
BİRİNCİ BÖLÜM: LİTERATÜR ÖZETİ	3
1.1. Umashankar ve ark. (2015)	3
1.2. Witthoeft ve Kim (2016)	4
1.3. Khan ve Meguid (2018)	5
1.4. Tarek ve ark. (2018)	6
1.5. Naddaf ve ark. (2019).....	7
1.6. Akınay ve Kılıç (2019).....	8
1.7. Anand ve ark. (2019).....	10
1.8. Vaslestad ve ark. (2019).....	11
1.9. Kumar ve ark. (2019)	12
1.10. Wang ve Huang (2021)	13
1.11. Wang ve Huang (2021)	14
1.12. Khalaj ve ark. (2023).....	15
1.13. Bildik ve ark. (2023)	16
1.14. Niroumand ve ark. (2023)	17
İKİNCİ BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM	20
2.1. Araştırma İçeriği	20
2.2. Plaxis 2D Sonlu Elemanlar Programı.....	21
2.3. Çalışma Düzleminin Oluşturulması	21
2.4. Zemin Profilinin Oluşturulması.....	22

2.5. Mohr-Coulomb Malzeme Model.....	23
2.6. Model Temel	25
2.7. Deplasmanın Uygulanması.....	26
2.8. Geofoam Malzemesi.....	27
2.9. Sınır Koşulları	28
2.10. Mesh Analizi	28
2.11. Başlangıç Gerilme Durumunun Oluşturulması	29
2.12. Sayısal Analiz.....	29
ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: BULGULAR	32
3.1. Gömülme Derinliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi	32
3.2. Geofoam Kalınlığının Taşıma Kapasitesine Etkisi	38
3.3. Geofoam Elastisite Modülünün Çekme Kapasitesine Etkisi.....	44
3.3.1. 50 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	45
3.3.2. 100 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	47
3.3.3. 150 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	49
3.4. Geofoam Konumunun Çekme Kapasitesine Etkisi	52
3.4.1. 50 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	52
3.4.2. 100 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	56
3.4.3. 150 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	60
3.5. Yer Altı Su Seviyesinin Çekme Kapasitesine Etkisi.....	65
3.5.1. Geofoamsuz Analizler	65
3.5.2. Geofoamlu Analizler (H/B=5).....	66
3.5.3. Geofoamlu Analizler (H/B=9).....	70
DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: SONUÇLAR.....	75
4.1.Sonuçlar.....	75
4.2. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler	77
KAYNAKLAR	78

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Nümerik Analizler	20
Tablo 2. Mohr-Coulomb Model Zemin Parametreleri	25
Tablo 3. Model Ankraj Plakası Özellikleri	26
Tablo 4. Geofoam Malzemesi için Lineer Elastik Model Parametreleri	27



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Umashankar ve ark. Çalışma Modeli.....	3
Şekil 2. Witthoeft ve Kim (2016:298) Örnek Modeli	5
Şekil 3. EPS Geofoam için Direkt Kesme Deneyi	6
Şekil 4. Tarek ve ark. (2018:15) Nümerik Modeli.....	7
Şekil 5. Deney Düzeneği.....	8
Şekil 6. Akınay ve Kılıç Sonlu Elemanlar Modeli.....	9
Şekil 7. Akınay ve Kılıç Deney Düzeneği	9
Şekil 8. Anand ve ark. Laboratuvar Deneyleri.....	11
Şekil 9. Geofoam ile Köprü Ayağı İmalatı	12
Şekil 10. Kumar ve ark. Nümerik Modeli.....	13
Şekil 11. Wang ve Huang Nümerik Çalışma Modeli.....	14
Şekil 12. Wang ve Huang Deney Modeli.....	15
Şekil 13. Khalaj ve ark. Deney Düzeneği Şematik Görünümü.....	16
Şekil 14. Bildik ve ark. Deney Düzeneği	17
Şekil 15. Niroumand ve ark. Deney Düzeneği ve Sayısal Analiz Modeli	19
Şekil 16. Şematik Gösterim	20
Şekil 17. Çalışma Düzleminin Oluşturulması.....	22
Şekil 18. Zemin Profilinin Oluşturulması	23
Şekil 19. Zemin Modelinin Oluşturulması.....	24
Şekil 20. Zemin Modelinde Parametrelerin Girilmesi	24
Şekil 21. Model Temelin Oluşturulması	26
Şekil 22. Yayıllı Deplasmanın Uygulanması	27
Şekil 23. Mesh Analizi.....	28
Şekil 24. ‘‘Initial Phase’’ (K0 Procedure).....	29
Şekil 25. Başlangıç Deformasyonlarının Sıfırlanması	30
Şekil 26. Model Geometrisi	31
Şekil 27. 50cm Kalınlığında Geofoamlu (H/B=5) ve Geofoamsuz Analizler	33
Şekil 28. Gömülme Derinliği-Kopma Faktörü (50cm Geofoam H/B=5)	33
Şekil 29. 100cm Kalınlığında Geofoamlu (H/B=5) ve Geofoamsuz Analizler	34
Şekil 30. Gömülme Derinliği-Kopma Faktörü (100cm Geofoam)	35
Şekil 31. 150cm Kalınlığında Geofoamlu (H/B=5) ve Geofoamsuz Analizler	36
Şekil 32. Gömülme Derinliği-Kopma Faktörü (150cm Geofoam)	37

Şekil 33. Geofoam Kalınlığının Çekme Kapasitesine Etkisi ($H/B=5$).....	38
Şekil 34. Geofoam Kalınlığı-Çekme Kapasitesi Oranı ($H/B=5$)	39
Şekil 35. Geofoam Kalınlığının Çekme Kapasitesine Etkisi ($H/B=9$).....	40
Şekil 36. Geofoam Kalınlığı-Çekme Kapasitesi Oranı ($H/B=9$)	40
Şekil 37. $H/B=5$ Analiz Çıktıları.....	42
Şekil 38. $H/B=9$ Analiz Çıktıları.....	43
Şekil 39. Gömülme Derinliği-Çekme Kapasitesi Oranı.....	44
Şekil 40. Geofoam Elastisite Modülü-Çekme Kapasitesi Oranı (50cm)	45
Şekil 41. 50cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	46
Şekil 42. Geofoam Elastisite Modülü-Çekme Kapasitesi Oranı (100cm)	47
Şekil 43. 100cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	48
Şekil 44. Geofoam Elastisite Modülü- Çekme Kapasitesi Oranı (150cm)	49
Şekil 45. 150cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler	50
Şekil 46. Farklı Elastisite Modülleri ve Farklı Geofoam Kalınlıklarının Karşılaştırılması	51
Şekil 47. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (50cm $H/B=5$).....	52
Şekil 48. Geofoam-Temel Arası Mesafe-Taşıma Çekme Oranı (50cm $H/B=9$).....	53
Şekil 49. $H/B=5$ Olması Durumu.....	54
Şekil 50. $H/B=9$ Olması Durumu.....	55
Şekil 51. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (100cm $H/B=5$).....	56
Şekil 52. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (100cm $H/B=9$).....	57
Şekil 53. $H/B=5$ Olması Durumu.....	58
Şekil 54. $H/B=9$ Olması Durumu.....	59
Şekil 55. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (150cm $H/B=5$).....	60
Şekil 56. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (150cm $H/B=9$).....	61
Şekil 57. $H/B=5$ Olması Durumu.....	62
Şekil 58. $H/B=9$ Olması Durumu.....	63
Şekil 59. Geofoam Konumu- Gömülme Derinliği	64
Şekil 60. Geofoamsuz Analizler	65
Şekil 61. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (50cm Geofoam $H/B=5$)	66
Şekil 62. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (100cm Geofoam $H/B=5$)	67
Şekil 63. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (150cm Geofoam).....	68
Şekil 64. Üç Farklı Geofoam Kalınlığında YASS Bulunması Durumu ($H/B=5$).....	69
Şekil 65. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (50cm Geofoam $H/B=9$)	70

Şekil 66. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (100cm Geofoam H/B=9)	71
Şekil 67. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (150cm Geofoam H/B=9)	72
Şekil 68. Üç Farklı Geofoam Kalınlığında YASS Bulunması Durumu (H/B=9).....	73
Şekil 69. YASS ve Gömülme Derinliği Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (150cm Geofoam)	74



SİMGELER DİZİNİ

Simge	Açıklama
γ_{unsat}	Kuru Birim Hacim Ağırlık
γ_{sat}	Doygun Birim Hacim Ağırlık
E_{50}	Üç eksenli Yükleme Rijitliği
E_{ur}	Üç eksenli Boşaltma-Yükleme Rijitliği
E_{oed}	Ödometre Yükleme Rijitliği
c	Kohezyon
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
ψ	Dilatasyon Açısı
ν	Poisson Oranı
EA	Eksenel Rijitlik
EI	Eğilme Rijitliği
d	Kalınlık

KISALTMALAR DİZİNİ

Kısaltma	Açıklama
BCR	Taşıma Kapasitesi Oranı
EPS	Expanded Polystyren Foam
PVC	Poli Vinil Clorür
FRP	Fiber Takviyeli Polimer
FLAC	Fast Lagrangeian Analysis of Continua
LDS	Yük Dağıtım Levhası
ASTM	American Society for Testing and Materials
kPa	Kilopascal
YASS	Yeraltı Su Seviyesi

GİRİŞ

Geçmişten günümüze kadar geoteknik mühendisliği zemin mekaniği ve temellerin mühendisliğine ilişkin birçok problemi ele alarak çözüm yöntemleri geliştirmektedir. Bu problemlerin başında temellerin statik ve dinamik yükler altındaki davranışının araştırılması gelmektedir. Temeller genellikle düşey basınç kuvvetlerine maruz kalan yapısal elemanlardır. Ancak bazı özel yapılarda temeller basınç kuvvetlerinin yanı sıra düşey çekme kuvvetleri de oluşmaktadır. Bu gibi durumlar ile genellikle devrilme momentine maruz kalan yapılar, düşey kaldırma kuvveti etkisindeki deniz platformları, yanal yüklere maruz kalan işaret direkleri, köprülerin kablolarına bağlı temel yapılarda meydana gelmektedir. Bu özel yapıların temelleri dizayn edilirken çekme kuvvetlerinin etkisi de göz önünde bulundurularak tasarlanmalıdır.

Geoteknik mühendisliğinde çekme kuvvetlerine maruz temellerin tasarımında genellikle temellerin gömülme derinliğinin artırılarak düşey yönde zemin yükü ile çekme kuvveti karşılanmaktadır. Ancak çok zayıf zemin koşullarında çekme kuvvetlerinin karşılanması için gömülme derinliğinin artırılması gerekmektedir. Bu durumda temel tasarımını uygulanabilir ve ekonomik olmaktan uzaklaştırmaktadır.

Son yıllarda teknolojik gelişmelerle birlikte zeminlerin güçlendirilmesinde farklı malzemelerin kullanımına başlanmıştır. Bu malzemeler çekme kapasitesine sahip oldukları gibi geri dolgularda da kullanılmaktadır. Geofom malzemesi de son yıllarda geri dolgularda kullanılan, farklı yoğunluk ve elastisite modüllerine sahip hafif malzemeler olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu tez çalışması kapsamında zayıf zemin koşullarına gömülü ankraj plakalarının çekme kuvvetleri altındaki davranışı sonlu elemanlar programı yardımıyla araştırılmıştır. Çalışma kapsamında zayıf kil zemin koşullarında ankraj gömülme derinliğinin etkisi incelenmiş ayrıca geri dolgu malzemesi olarak geofom kullanılması durumunda ankraj plakalarının davranışı incelenmiştir. Sayısal analizlerde Plaxis 2D programı kullanılmıştır.

Yapılan analizlerde geofom kalınlığının davranışa etkisi araştırılmış ve geofom kalınlıkları sırasıyla 50 cm, 100 cm ve 150 cm olacak şekilde seçilmiştir. Plaka gömülme derinliğinin etkisinin incelenmesi amacıyla iki farklı gömülme derinliğinde analizler

gerçekleştirilmiştir. Ayrıca geofoam konumunun da davranışa etkisini gözlemlemek adına geofoam ve temel arasındaki mesafelerin değişmesi durumu da incelenmiştir. Bunlara ek olarak geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülüne sahip olması durumunda çekme kapasitesi oranındaki farklılıklar ve yer altı su seviyesinin de davranışa etkisi araştırılmıştır.

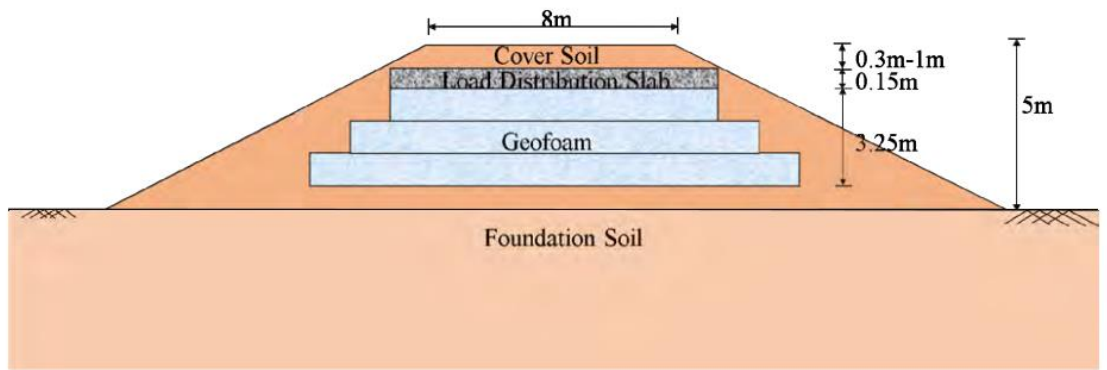
Bu tez çalışması kapsamında; birinci bölümde konu ile ilgili daha önce literatürde yapılmış benzer çalışmalar değerlendirilmiştir. İkinci bölümde, analizlerde kullanılan Plaxis 2D sonlu elemanlar programı açıklanmış ve modellerin nasıl oluşturulduğuna değinilmiştir. Ayrıca analizlerde kullanılan zemin, temel, geofoam parametreleri bu bölümde verilerek, yapılan analizler setleri bir tablo halinde özetlenmiştir. Üçüncü bölümde ise yapılan tüm analiz sonuçları, analiz modellerine ait program çıktıları sunulmaktadır. Son olarak dördüncü bölümde ise yapılan analizlerin sonuçları toplu şekilde değerlendirilerek tartışılmıştır.

BİRİNCİ BÖLÜM: LİTERATÜR ÖZETİ

Bu tez çalışması kapsamında zayıf kil zeminlere gömülü ankraj plakalarının davranışı sonlu elemanlar yöntemi ile araştırılmıştır. Kil zeminde geri dolgu malzemesi olarak geofoam malzemesi kullanılması durumunda farklı geofoam malzeme ve yerleşim konfigürasyonları için analizler yapılmıştır. Çalışmanın bu bölümünde, geofoam malzemesinin davranışı, zemin yapılarında kullanımı ve sığ temellerin çekme dayanımı ile ilgili daha önce yapılmış olan çalışmalara yer verilmektedir.

1.1. Umashankar ve ark. (2015)

Umashankar ve ark. (2015: 161), yaptıkları çalışmada, uygulanan yüklemeden kaynaklı olarak dolgu birimlerde meydana gelecek oturmaların elde edilmesi amacıyla sonlu farklar programından (FLAC -Fast Lagrangeian Analysis of Continua) faydalanmışlardır. Dolgu birimler üzerine ASSHTO spesifikasyonlarına göre hareketli yükler uygulayarak çalışmalarına gerçekleştirmişlerdir. Oluşturdukları sayısal model ile aynı zamanda uygulanan yükleme nedeniyle geofoam üzerindeki düşey gerilmeleri de analiz etmişlerdir. Geofoam üzerindeki çeşitli zemin örtüsü kalınlıkları (30cm, 75cm ve 100cm) ve geofoam malzemesinin iki farklı elastisite modülü değeri (1MPa ve 10MPa) için parametrik çalışmalar yapmışlardır. Umashankar ve ark. (2015: 161)'nın çalışma modeli Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Umashankar ve ark. Çalışma Modeli

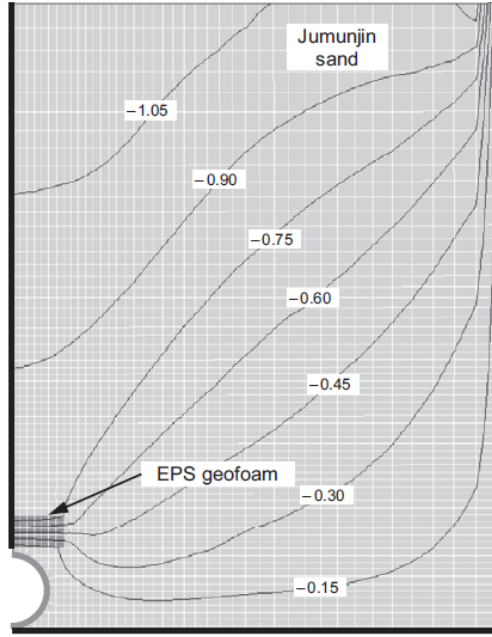
Kaynak: Umashankar ve ark., 2015: 161

Çalışmada çeşitli zemin kalınlıkları için dolgu oturmasındaki ve geofoam üzerindeki düşey gerilmelerdeki değişiklikler gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde ettikleri sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Zemin örtüsü kalınlığının artmasıyla beraber oturma ve yüklemeden kaynaklanan düşey gerilmelerde gözle görülür bir azalma meydana gelmiştir. Ekonomik bir çözüm olduğundan örtü kalınlığının 30cm olması tavsiye edilmektedir.
2. Yük dağıtım levhasının (LDS) dahil edilmesi durumunda, daha düşük elastisite modülüne sahip geofoam ($E=1\text{MPa}$) kullanılması durumunda dahi dolgu oturmasında önemli bir azalma (yaklaşık %25) gözlemlenmiştir. Ancak, daha yüksek elastisite modülüne sahip geofoam malzemesinde ($E=10\text{MPa}$) oluşan dolgu için bu azalmanın önemsiz olduğu görülmüştür.

1.2. Witthoeft ve Kim (2016)

Witthoeft ve Kim (2016: 298), gömülü boru üzerine yerleştirilen geofoam panellerin etkisini araştırmak amacıyla bir araştırma gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla ölçekli bir deneysel çalışmayı kullanarak zemin, EPS geofoam ve çelik boru gibi malzemelerin nümerik model parametrelerini kalibre etmişlerdir. İkinci aşama olarak EPS geofoam panellerinin farklı genişlik ve kalınlıkta olması durumunu incelemişlerdir. Witthoeft ve Kim (2016:298)'in araştırmalarında kullanmış oldukları örnek model Şekil 2'de gösterilmektedir.



Şekil 2. Witthoeft ve Kim (2016:298) Örnek Modeli

Kaynak: Witthoeft ve Kim, 2016: 298

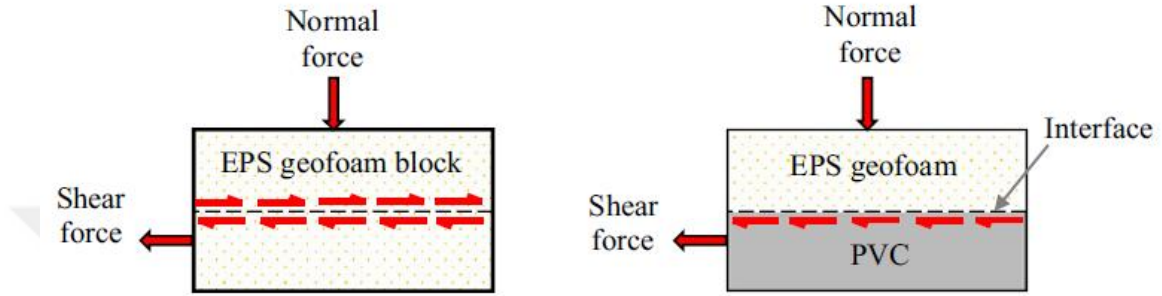
Yapılan araştırmada elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmaktadır.

- 1) Zemin etkisi: 'Optimum' geofom konfigürasyonu, borunun üzerindeki kayma gerilimlerini harekete geçirmek için gereken yer değiştirme miktarına bağlıdır. Gereken yer değiştirme miktarı zemin tipi ve birim hacim ağırlık gibi faktörlere bağlıdır.
- 2) Boru rijitliği etkisi: Belirli bir dolgu malzemesi içinde oluşan gerilmeler ve gerinimler aynı zamanda boru rijitliğine de bağlı olduğu görülmektedir. Boru rijitliği, boru malzemesinin yanı sıra borunun şekline de (örneğin dairesel veya farklı eğrilik) bağlıdır.
- 3) Ekonomik faktörler: Optimize edilmiş bir tasarım, boru kesitinin azaltmasına ve geofom malzeme ve kurulum maliyetlerinin düşürülmesine imkan verebilmektedir.

1.3. Khan ve Meguid (2018)

Khan ve Meguid, (2018: 12) yaptıkları çalışmada farklı birim hacim ağırlıklarına sahip geofom malzemelerinin farklı materyaller ile birlikte kullanılması durumunda oluşacak (PVC ve kum) arayüz mukavemet parametrelerini incelemek amacıyla direkt kesme

deneyleri gerçekleştirmiştir. Bu amaçla, 15, 22 ve 35 kg/m³ olmak üzere üç farklı birim hacim ağırlıktaki geofoam malzeme üzerinde direkt kesme deneyleri yapmışlardır. Geofoam-PVC arayüzü için, geofoam yoğunluğunun artmasıyla hem adezyon hem de arayüzdeki sürtünme açısı artış göstermiştir. Geofoam malzemesinin yoğunluğu arttıkça ölçülen geofoam-kum arayüzeyi mukavemeti ve arayüz sürtünme açısında tutarlı bir artış olduğu gözlenmiştir.

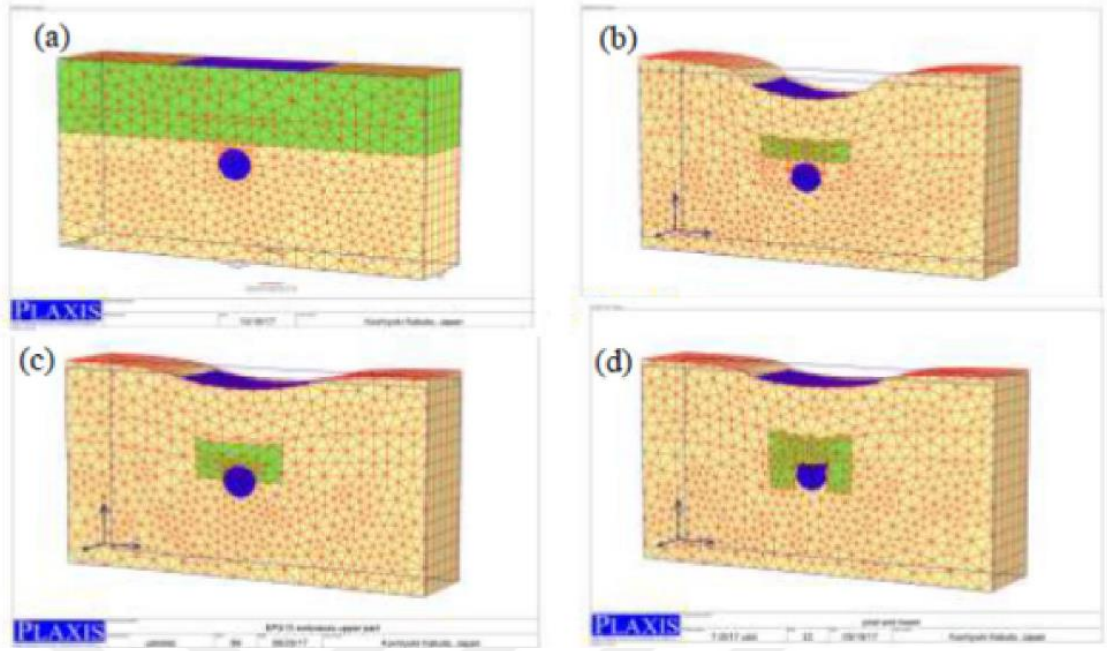


Şekil 3. EPS Geofoam için Direkt Kesme Deneyi

Kaynak: Khan ve Meguid, 2018: 12

1.4. Tarek ve ark. (2018)

Tarek ve ark. (2018: 15) geofoam malzemesinin esnek gömülü borulara etkileyen dikey ve yatay gerilmelerin azaltılmasındaki etkisini araştırmışlardır. Yaptıkları deneylerde esnek bir boruyu kum birim içerisine yerleştirmişlerdir. Statik yükler altında boru deformasyonunu ölçmek amacıyla sayısal analizler gerçekleştirmişlerdir. Sayısal analiz, PLAXIS-3D sonlu elemanlar yazılım programları kullanılarak deneysel modeli simüle etmek için gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar, EPS geofoam bloğun, blok birim hacim ağırlığına ve uygulanan yerleştirme tekniğe bağlı olarak gömülü boru sehimlerini ve şekil değiştirmelerini yüzdesel olarak azalttığını, en etkili yöntemin EPS bloğun boruyu sardığı konumda olması olduğu görülmüştür. PLAXIS-3D'den elde edilen sayısal sonuçlar ve deneysel olarak ölçülen verilerin uyumlu olduğu gözlenmiştir. Tarek ve ark. (2018:15)'nın yapmış olduğu sayısal modeller Şekil 4'te verilmektedir.



Şekil 4. Tarek ve ark. (2018:15) Nümerik Modeli

Kaynak: Tarek ve ark., 2018: 15

1.5. Naddaf ve ark. (2019)

Naddaf ve ark., (2019: 10) yaptıkları deneysel çalışmada, EPS geofoam malzemesinin rijitliği ve kalınlığının değişmesi durumunda, statik ve döngüsel temel yükleri altında dikdörtgen bir beton menfez üzerindeki düşey gerilimlerin dağılımına etkisini araştırmıştır. Bu amaçla ölçekli modeller oluşturup bir deney kutusu imal etmişlerdir. Deneysel çalışmalarında kötü derecelenmiş Kansas Nehri kumu kullanmışlardır.

Geofoam ve çevresindeki zeminin üzerindeki düşey gerilime dağılımlarını izlemek için basınç hücrelerinden faydalanmışlardır. Deneysel sonuçlarda, EPS geofoamun gömülü yapı üzerindeki düşey gerilmeleri azalttığı görülmüştür. Daha düşük rijitliğe sahip ve daha ince geofoamun, düşey gerilimin azaltılmasında daha fazla etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca, analitik çözümlerin deneysel sonuçlarla uyumlu sağladığı gözlemlenmiştir.

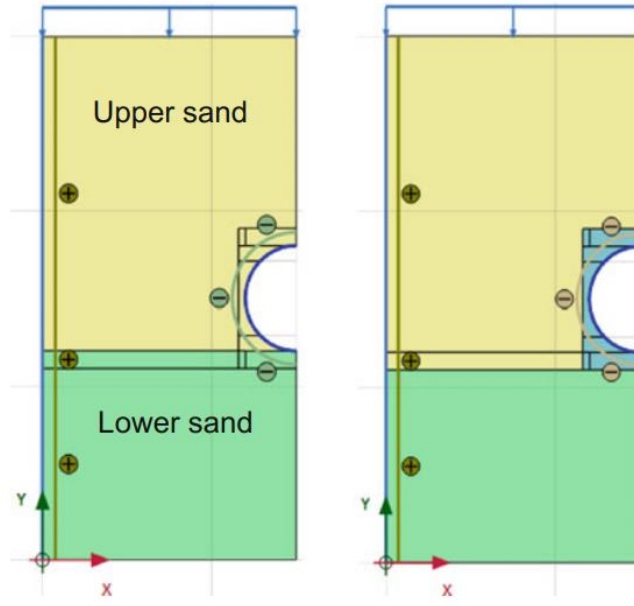


Şekil 5. Deney Düzeneği

Kaynak: Naddaf ve ark., 2019: 10

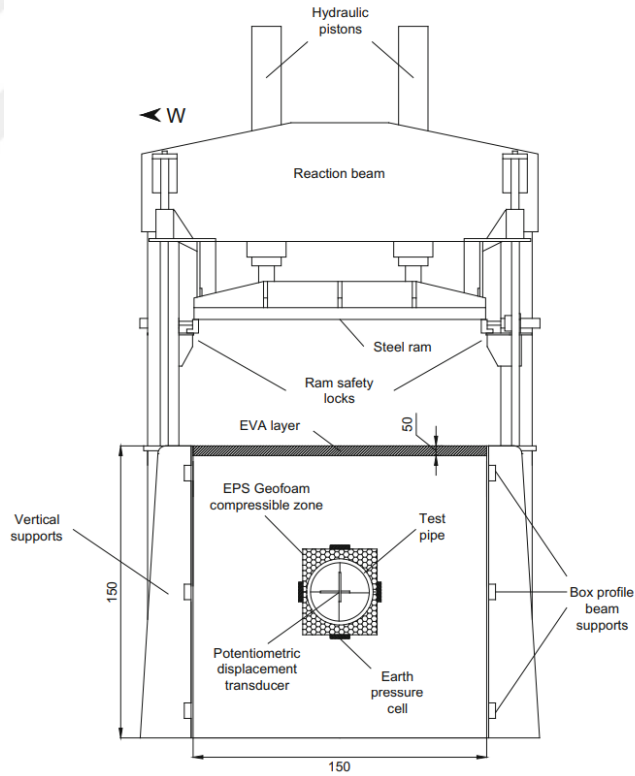
1.6. Akınay ve Kılıç (2019)

Akınay ve Kılıç (2019: 129), sıkıştırılabilir bölge uygulamasının gömülü HDPE boru davranışı üzerindeki etkilerini araştırmak amacıyla ölçekli laboratuvar model testleri ve sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirmiştir. Bu amaçla iki farklı kumdan oluşan bir zemin modeli oluşturmuşlardır. Sıkıştırılabilir malzeme olarak 10 kg/m^3 yoğunluğa sahip EPS Geofoam malzemesi kullanmışlardır. Önerilen geometriye sahip sıkıştırılabilir bölge, dikey boru sehiminde %89 oranında, yatay boru sehiminde %96 oranında ve boru tepesindeki dikey gerilmede %77 oranında azalma sağladığı gözlemlenmiştir. Sonlu elemanlar analizi, sıkıştırılabilir bölgenin nispeten çok küçük eğilme momentleri sağladığını ve boru çevresinde neredeyse tekdüze bir eğilme momenti dağılımı sağladığını göstermiştir. 200 kPa sürşarj yükü altında boru etrafındaki maksimum eğilme momentinde %78 oranında azalma sağlandığı görülmüştür. Akınay ve Kılıç (2019: 138)'in sonlu elemanlar modeli Şekil 6'da deney düzeneği Şekil 7'de sunulmaktadır.



Şekil 6. Akınay ve Kılıç Sonlu Elemanlar Modeli

Kaynak: Akınay ve Kılıç, 2019: 138



Şekil 7. Akınay ve Kılıç Deney Düzenegi

Kaynak: Akınay ve Kılıç, 2019:131

1.7. Anand ve ark. (2019)

Hafif dolgu malzemeleri, yumuşak zeminde, soğuk bölgelerde ve gömülü boruların/menfezlerin üzerinde inşaa yapılmasını içeren gelişmiş inşaat projelerinde inşaat malzemesi olarak giderek daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerden bir tanesi, 1960'lardan bu yana geoteknik mühendisliğinde aktif olarak kullanılan genişletilmiş polistiren (EPS) geofoamlardır. Anand ve ark. (2019: 10) yaptıkları çalışmada EPS geofoam malzemesinin altyapılarda dolgu malzemesi olarak kullanıldığı durumlardaki davranışını kapsamlı bir şekilde incelemişlerdir. Boyut, şekil ve gerilme dağılımı açısından malzeme karakterizasyonundaki eşitsizlik nedeniyle, EPS 22 geofoam malzemesini araştırmak için kapsamlı bir analiz yapmışlardır. Birim hacim ağırlık, basınç dayanımı ve serbest basınç dayanımı davranışlarını araştırmak için farklı boyutlardaki farklı geofoam numuneleri üzerinde laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Saha koşullarında gerilme dağılımını araştırmak amacıyla saha çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmadan elde edilen bazı önemli gözlemler aşağıda özetlenmektedir:

1. EPS 22 geofoam malzemesinin birim hacim ağırlığı sekiz numune için belirlenmiş olup, tüm numunelerin ASTM D6817'de belirtilen minimum gerekliliklere göre daha yüksek birim hacim ağırlığına sahip olduğu görülmüştür. Dört numunenin serbest basınç dayanımı değerlendirilmiştir. %1 gerinimdeki serbest basınç dayanımının ASTM standartlarında belirtilen minimum değerleri karşılamadığı, %5 ve %10 gerinimde ise minimum değerlerden yüksek olduğu görülmüştür.
2. EPS 22 geofoam malzemesindeki gerilme dağılımının incelenmesi amacıyla arazide 1.8 m kalınlığındaki geofoam malzemesi zemin yüzeyinden 0.6 m derinliğe gömülmüştür. Gerilme dağılımını değerlendirmek için geofoam katmanına sabit bir sürekli yükleme uygulanmıştır. Gözlem amacıyla geofoam katmanının üstüne ve altına basınç hücreleri yerleştirilmiştir. Bu çalışmada değerlendirilen gerilme dağılımının literatürde yayınlanan yöntemlerle değerlendirilenlerden farklı olduğu görülmüştür. EPS geofoam katmanı içindeki yük dağılım açısının dikey olarak ölçüldüğünde 16° olduğu tahmin edilmiştir; bu, oturma hesaplamalarında da kullanılabilir. Gerilme dağılımını değerlendiren gelecekteki çalışmalarda, bu materyaldeki gerilme dağılımına ilişkin mevcut anlayışı geliştirebilecek dijital görüntü korelasyon tekniği önerilmektedir.

Anand ve ark. (2019:10)'nın yaptıkları laboratuvar çalışmaları Şekil 8'de sunulmaktadır.



Şekil 8. Anand ve ark. Laboratuvar Deneyleri

Kaynak: Anand ve ark., 2019: 10

1.8. Vaslestad ve ark. (2019)

Vaslestad ve ark. (2019: 281) derin temel sistemlerine alternatif olarak otoyol ve köprü yapılarını desteklemek amacıyla geofom malzemesinin kullanılabilirliğini incelemişlerdir. 36.8 m uzunluğunda, tek açıklıklı çelik bir köprü olan Løkkeberg köprüsünde köprü ayağı altında 6 ila 16 m arasında değişen yumuşak kil zemin bulunmaktadır. Bu zemin köprü ayağında stabilite ve oturma problemine yol açmaktadır. Köprünün ağırlığını taşımak amacıyla taşıyıcı kazıklara alternatif olarak EPS geofom köprü ayağında dolgu olarak kullanılmıştır. Doğrudan EPS geofom dolgular ile desteklenen hafif geçici ve kalıcı köprülerin, mühendislik değerlendirmeleri ve saha gözlemlerinde başarı gösterdiği görülmüştür. Ayrıca, yumuşak zemin tipine sahip sahalarda geofomun köprü ayaklarında dolgu malzemesi olarak kullanılmasının imalat süresi ve maliyet açısından oldukça verimli olduğu sonucuna varılmıştır.

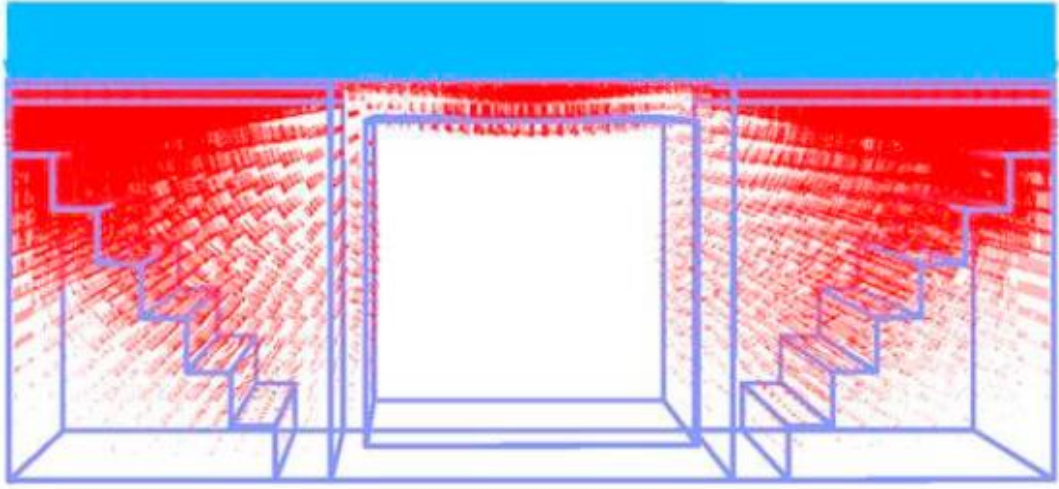


Şekil 9. Geof foam ile Köprü Ayağı İmalatı

Kaynak: Vaslestad ve ark., 2019: 281

1.9. Kumar ve ark. (2019)

Kutu menfezlerin genellikle drenaj ve araçlar için bir geçiş sağlaması ve yol dolgusu için sağlam bir temel görevi görmesi gerekmektedir. Kutu menfezler yastıklama etkisi nedeniyle trafik yüküne ve aşırı yüke maruz kalırlar. Kutu menfez kesitleri aynı zamanda yanıl toprak basınçlarının etkisinde kalmaktadır. EPS geof foam, kutu menfez üzerindeki zati ve yanıl yükün azalmasına yardımcı olabilen hafif bir dolgu malzemesidir. Kumar ve ark. (2019: 3643), dolgu malzemesi olarak EPS geof foam kullanarak kutu menfezin kesit boyutlarını optimize etmek amacıyla çalışmalar yapmıştır. Bu amaca ulaşmak için PLAXIS 3D programını kullanılarak sonlu elemanlar analizleri gerçekleştirmişlerdir. Sonlu elemanlar analizinin sonuçları, geof foamun dolgu malzemesi olarak kullanılmasının, geleneksel granüler dolgu malzemeleriyle karşılaştırıldığında kutu menfez yüzeyindeki yanıl deformasyonun azaltılmasına yardımcı olduğunu göstermektedir. Geof foam kullanımının kutu menfez kesitinin azaltılmasını mümkün kıldığı görülmüştür, bu da beton ve donatı gereksinimini en aza indirmede faydalı olurken projenin toplam maliyetini azaltmaktadır.

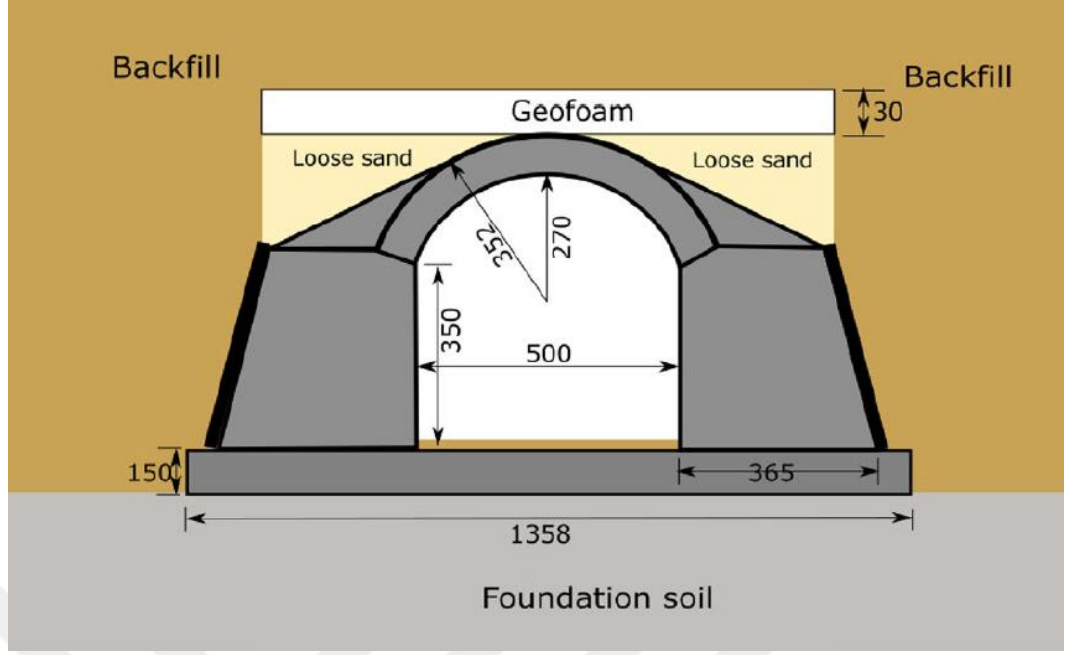


Şekil 10. Kumar ve ark. Nümerik Modeli

Kaynak: Kumar ve ark., 2019: 3643

1.10. Wang ve Huang (2021)

Wang ve Huang, (2021: 25) yapmış oldukları nümerik çalışmalarda, geniş açıklıklı beton menfezleri korumak amacıyla kullanılan geofom malzemenin davranışını incelemişlerdir. Çalışmada dolgu yol altında 5 m net açıklığa sahip bir betonarme menfez modellemişlerdir. Menfezin farklı bölümlerine iki farklı birim hacim ağırlıkta (7.5 kg/m^3 ve 15.0 kg/m^3) geofom malzeme yerleştirilmiştir. Geofom malzemesi yapıya gelen gerilmeyi azaltırken, gerilmenin azalma davranışı menfezin farklı bölgelerinde önemli ölçüde değişiklik göstermiştir. En yüksek gerilime azalışı menfez banketinde ortaya çıkarken (yaklaşık %90), menfezin taç şeklinden ötürü tepe noktasında hafif bir gerilme yoğunlaşması görülmüştür. Ayrıca, dolgu yüksekliğinin geofom genişliğini aşması durumunda geofomun zeminde gözle görülür farklı oturmalarına neden olmayacağı sonucuna varılmıştır.



Şekil 11. Wang ve Huang Nümerik Çalışma Modeli

Kaynak: Wang ve Huang, 2021: 25

1.11. Wang ve Huang (2021)

Wang ve Huang (2021: 5), uygulama ihtiyaçlarını göz önünde bulundurularak, derine gömülü, büyük boyutlu menfezlerde aşırı yükten kaynaklı oluşan gerilmeleri azaltmak için farklı yerleşim planlarına sahip farklı geofoamların etkinliğini araştırmak için tam ölçekli bir saha çalışması gerçekleştirmiştir. Sekiz deney setinden beşi, 300 ve 600 mm kalınlığında iki farklı geofoam (7.5 ve 15 kg/m^3) ile yapılırken, geri kalan üçü sırasıyla gevşek kum, hafif ve normal konsolide kil ile oluşturulmuştur. Elde edilen verilerde geofoamun menfez üzerindeki aşırı gerilmeleri büyük ölçüde azaltabildiği gözlenmiştir. Genel olarak, geofoamun daha yüksek sıkıştırılabilirliği, daha fazla gerilime aktarımına yol açmış ancak gömülme derinliği nedeniyle yüzeyde aşırı oturmaya neden olmadığı görülmüştür.

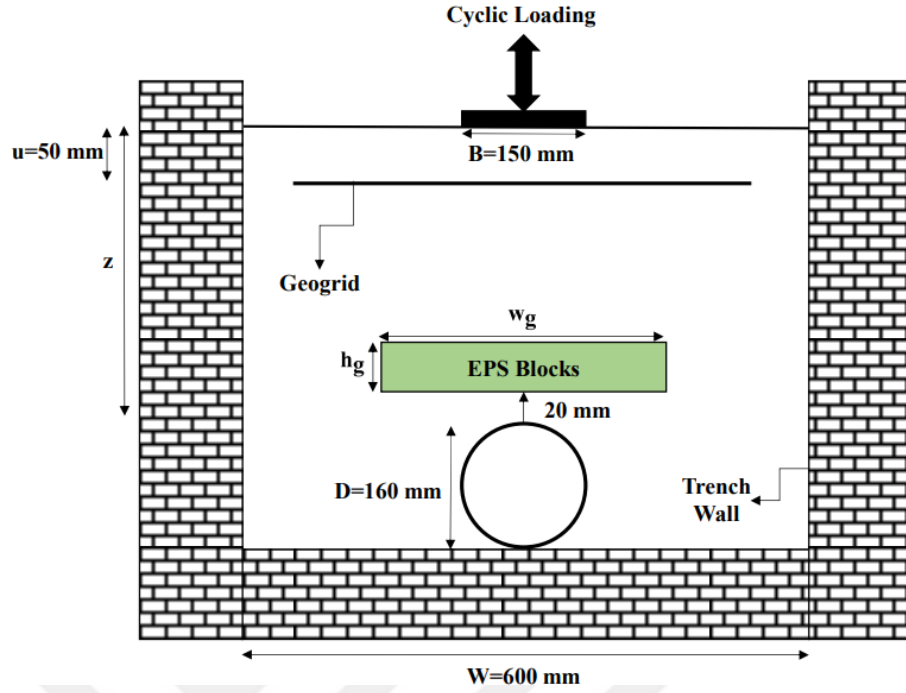


Şekil 12.Wang ve Huang Deney Modeli

Kaynak: Wang ve Huang, 2021: 5

1.12. Khalaj ve ark. (2023)

Khalaj ve ark., (2023: 29) bir hendeğe gömülü 160 mm çapındaki PVC boruların davranışını incelemek amacıyla laboratuvar deneyleri gerçekleştirmişlerdir. Deney düzeneğinde geofoam bloklar ve geogrid tabakalarını güçlendirme amacıyla birlikte kullanmışlardır. Yol üzerine etkiyen araç yüklerini temsil etmek amacıyla 150mm çapında bir plakaya 450 kPa genlikli ve 0.3 Hz frekanslı döngüsel yük uygulamışlardır. Yaptıkları deney setlerinde geofoam blokların kalınlığı (30, 60 ve 100mm) ve birim hacim ağırlığının (10, 20 ve 30kg/cm³) davranışa etkisini incelemişlerdir. Geogrid ile güçlendirilmiş sistemde döngüsel yükleme sonucunda gömülü borunun düşey yöndeki deformasyonunun geogrid ile güçlendirilmemiş sisteme kıyasla %20 azalma gösterdiği görülmüştür. Geofoam blokların kalınlığının 30mm'den 100mm'ye çıkarılması durumunda boru tacındaki gerininin %83 oranında azaldığı sonucuna varılmıştır. Geofoam bloğun birim hacim ağırlığının azalması durumunda boru tacında ve boru yan yüzeyindeki basınçta artış gözlenmiştir. Yapılan çalışmaya ait deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 13'te sunulmaktadır.



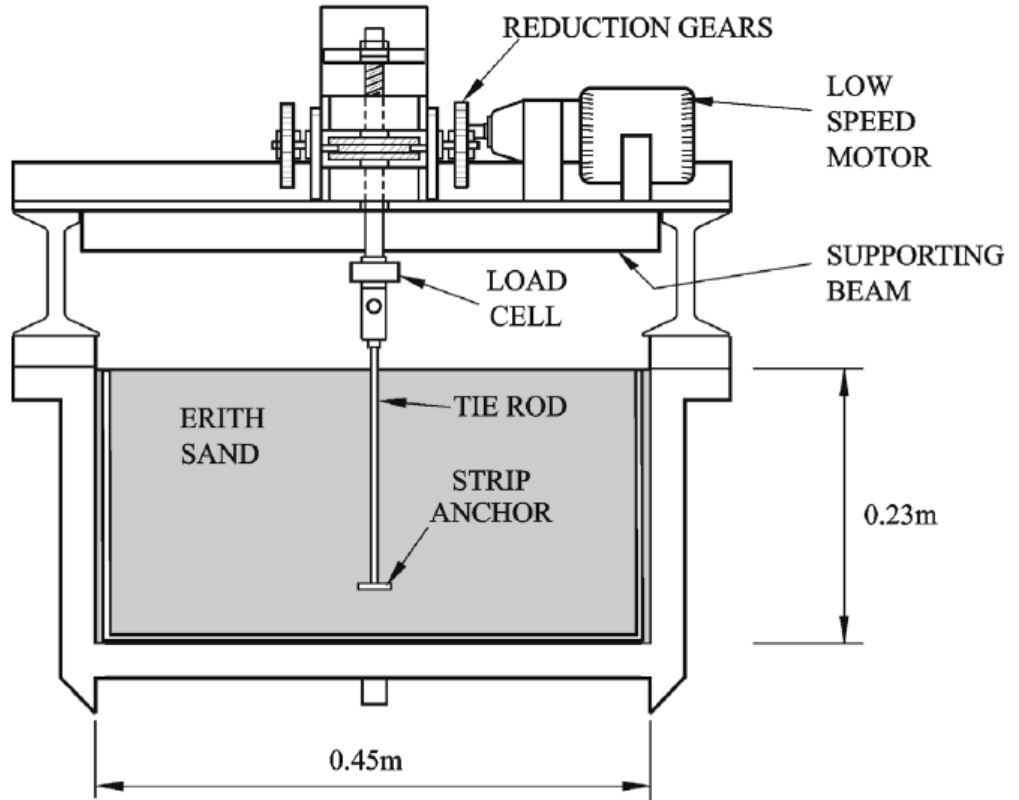
Şekil 13. Khalaj ve ark. Deney Düzeneği Şematik Görünümü

Kaynak: Khalaj ve ark., 2023: 29

1.13. Bildik ve ark. (2023)

Ankraj tipi temeller çekme kuvvetlerine maruz kalan yapılarda kullanılan temel türlerinden biridir. Bu ankrajlar genellikle gömüldükleri derinliğe bağlı olarak üzerlerindeki zeminin ağırlığına ve göçme sırasında göçme yüzeylerinden elde edilen sürtünme direncine göre tasarlanır. Gömülme derinliğini arttırmadan temelin kaldırma kapasitesini arttırmanın bir yöntemi geogrid malzemesinin kullanılmasıdır. Bildik ve ark. (2023: 2) farklı kombinasyonlarda yerleştirilen geogrid etkisi dikkate alınarak şerit ankraj plakalarının farklı gömme derinliklerindeki kaldırma kapasiteleri araştırmışlardır. Bu amaçla yaptıkları çalışmada ankraj plakasının gömülme derinliğini arttırmadan geogrid kullanılarak daha ekonomik bir çözüm elde edilip edilemeyeceğini gözlemlemek amacıyla bir dizi deney gerçekleştirmişlerdir. Deneyler, gerçek sonuçlara daha yakın değerler veren santrifüj deney düzeneği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Ankraj gömülme derinlikleri $H/B=2$ ve $H/B=5$ olacak şekilde iki farklı sıklıktaki kum üzerinde deneyler yapılmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde geogrid kullanımının kaldırma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı görülmüştür. Güçlendirme konfigürasyonu olarak

ankraj plakasının hemen üstüne 45 derece eğim açısı ile yerleştirilen tek geogrid katmanının kullanılması, geogridin yatay ve düşey olarak kullanılmasına göre daha etkili sonuçlar vermiştir. Araştırmada güçlendirme ile kaldırma kapasitesinde %98'e varan artışlar elde edildiği görülmüştür. Ayrıca prototip model sonlu elemanlar yöntemini esas alan sayısal bir programla analiz edilmiş ve sonuçlar deneysel sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucunda deneysel ve sayısal sonuçların birbiriyle uyum sağladığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar kullanılarak uygulamaya yönelik öneriler sunulmuştur.



Şekil 14. Bildik ve ark. Deney Düzeneği

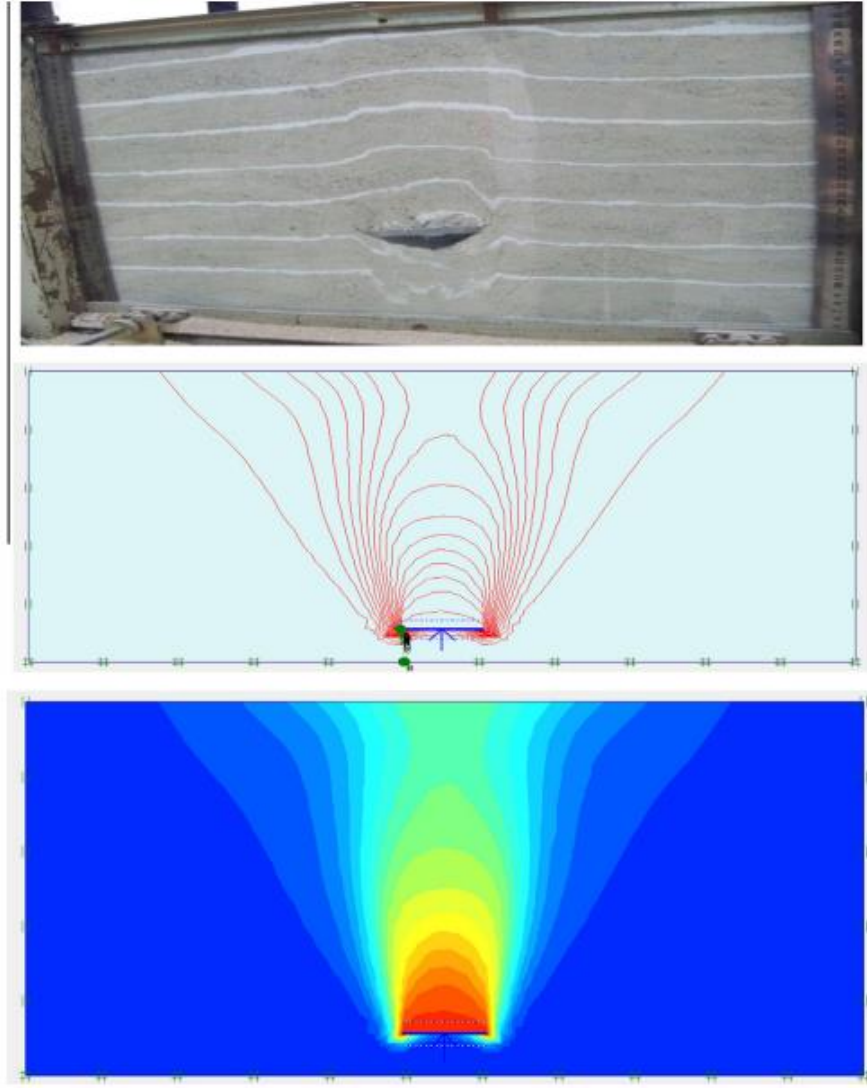
Kaynak: Bildik ve ark., 2023: 13

1.14. Niroumand ve ark. (2023)

Niroumand ve ark. (2023: 2608), geogrid ile iyileştirilmiş zeminlerde ve iyileştirmenin bulunmadığı zeminlerde simetrik ankraj plakalarının kaldırma tepkisini, model testler ve sayısal modeller ile değerlendirmiştir. Kum birimlerde simetrik ankraj plakası üzerinde

güçlendirme amacıyla birçok geogrid katmanı kullanmışlardır. Mevcut araştırmada, kumun rölatif sıklığı, geogrid gömülme oranları ile boyut, geogrid katmanı sayısı ve geogrid katmanının ankraj plakasına yakınlığı gibi parametreleri ölçekli bir modelde incelenmiştir. Yapılan model deneylerde göçme mekanizması ve ilgili kopma yüzeylerini incelemişlerdir.

GFR, geogridi zemine sabitleyen fiber takviyeli polimerden (FRP) yapılmış, yenilikçi tasarıma sahip bir sistemdir. Deney sonuçları, GFR takviyesinin kullanılmasının dairesel ankraj plakalarının kaldırma kapasitesinin arttırılmasında önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir. Simetrik ankraj plakasına bir kat geogrid eklenmesi, geogridsiz durum ile karşılaştırıldığında, ankraj kaldırma kapasitesinde %19 oranında artış olduğu sonucuna varılmıştır. Ancak GFR'nin dahil edilmesiyle artış %29'a yükselmiştir. Geogrid takviyesinin katman sayısının arttırılmasının kaldırma kapasitesini olumlu yönde etkilediği görülmüştür. Öte yandan GFR'li tek katmanlı geogrid kullanılması durumu ile sadece geogrid takviyesi kullanılması durumu kıyaslandığında, GFR ile beraber geogrid kullanılması durumu daha yüksek kaldırma kapasitesi sağlamıştır. Bunun nedeni, GFR'nin her katman seviyesinde sağladığı ek ankrajdır. Genel olarak sonuçlar, gevşek ve sıkı kumdaki simetrik ankraj plakalarının kaldırma kapasitesinin, GFR'li geogrid eklenmesiyle önemli ölçüde artırılabilceğini göstermektedir. Ayrıca GFR'li geogridin dahil edilmesinin, gerekli kaldırma kapasitesine ulaşmak için daha yüksek L/D oranına olan gereksinimi azalttığı da gözlemlenmiştir. Laboratuvar ve sayısal analiz sonuçlarının kopma faktörü ve göçme mekanizması modeli açısından uyum içinde olduğu görülmüştür.



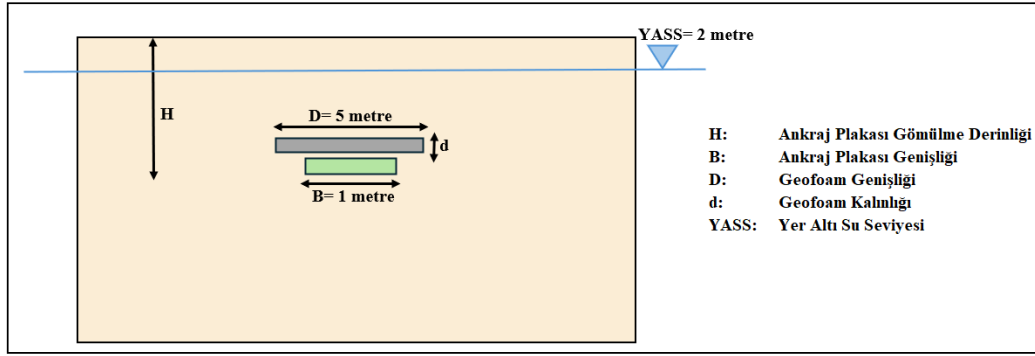
Şekil 15. Niroumand ve ark. Deney Düzeneği ve Sayısal Analiz Modeli

Kaynak: Niroumand ve ark., 2023: 2608

İKİNCİ BÖLÜM: MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma İçeriği

Bu çalışma kapsamında kil birim içerisine gömülü, çekmeye çalışan bir ankraj plakası (temel) üzerinde geofoam malzemesinin taşıma kapasitesine etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda iki farklı gömülme derinliği, üç farklı kalınlık, üç farklı elastisite modülüne sahip geofoam malzemesi kullanılmış olup, geofoam malzemesinin farklı gömülme derinliklerinde bulunması durumu ve yer altı su seviyesinin davranışa etkisi araştırılmıştır. Yapılan analizlere ait şematik gösterim Şekil 16’da yapılan analizlerin özetlendiği analiz setleri ise Tablo 1’de özetlenmektedir.



Şekil 16. Şematik Gösterim

Tablo 1. Sayısal Analizler

Plaka Gömülme Derinliği Etkisi	Gömülme Derinliği Oranı (H/B)
	5
	6
	7
	8
	9
Kalınlık Etkisi	Geofoam Kalınlığı (cm)
	50
	100
	150
Derinlik Etkisi	Geofoam-Temel Arası Mesafe (cm)
	0
	50
	100

Elastisite Modülü Etkisi	Geofoam Elastisite Modülü (kN/m²)
	5000
	7000
	10000
Yeraltı Su Seviyesi	YASS Derinliği (m)
	0
	2

Sayısal analizlerde Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılmış olup, analizler Tablo 4'te özetlenmiştir. Analiz sonuçlarından yük-deplasman değerleri elde edilmiş olup bu eğrilerde %20 deformasyona karşılık gelen yük nihai taşıma gücü olarak tanımlanmıştır. Sonuçlar bölümünde nihai taşıma kapasitesi boyutsuzlaştırılarak çekme kapasitesi oranı (UCR) olarak sunulmuştur. Çekme kapasitesi oranı (UCR), geofoamsuz analizlerdeki temel taşıma kapasitesinin geofoamlu deneylerdeki temel taşıma kapasitesine oranı olarak hesaplanmıştır (Denk. 1).

$$UCR = \frac{q_{geofoamlu}}{q_{geofoamsuz}} \quad (1)$$

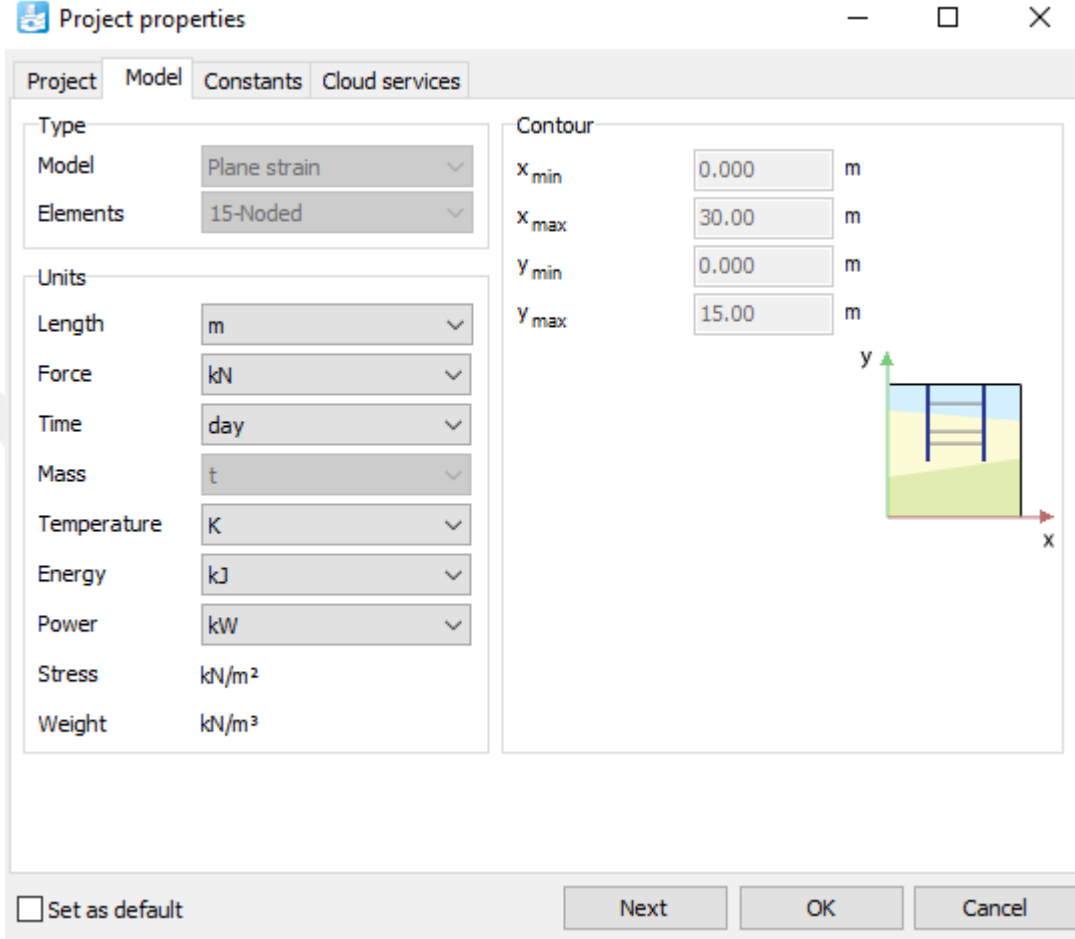
2.2. Plaxis 2D Sonlu Elemanlar Programı

PLAXIS 2D, geoteknik problemleri için sonlu elemanlar yöntemiyle, deformasyon ve stabilite analizleri gerçekleştirebilen bir bilgisayar programıdır. İlk olarak 1987 yılında Hollanda Delft Teknik Üniversitesi tarafından yumuşak zemin üzerindeki nehir dolgularının sonlu elemanlar yöntemi ile kolay bir şekilde analiz edilebilmesi için tasarlanmıştır. Sonraki yıllarda ise, geoteknik mühendisliğinin diğer uygulama alanlarını da kapsayacak şekilde genişletilmiştir. Program, geoteknik mühendisliği projelerinin tasarımında ihtiyaç duyulan, zemin-yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzeme farklılığı olan durumlarda kullanılabilmekte ve pratikte uygulanabilir sonuçlar vermektedir (Keskin, 2009).

2.3. Çalışma Düzleminin Oluşturulması

Plaxis 2D sonlu elemanlar programında çalışma düzlemi oluşturulurken model 'Plane Strain' (düzlem şekil değiştirme) koşulları ve 15 düğümlü eleman modeli kullanılmıştır.

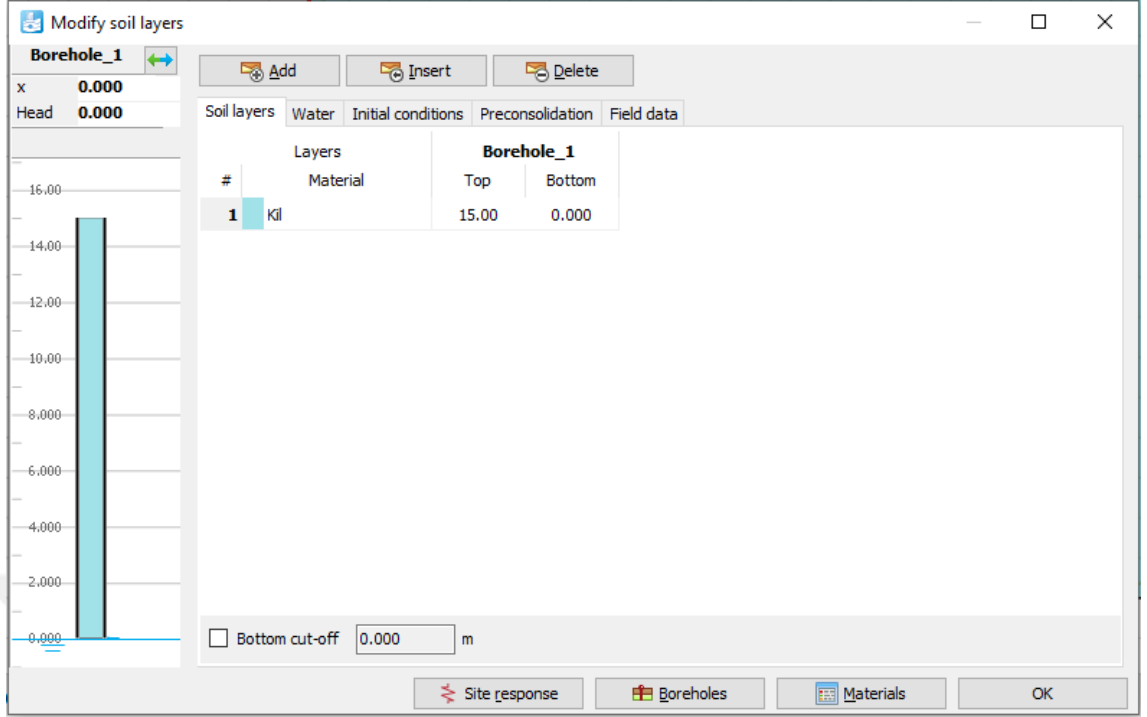
Modelde kullanılan birimler metre ve kilonewton (kN) olarak belirlenmiştir. Model boyutları x yönünde 30 metre, y yönünde ise 15 metre olacak şekilde belirlenmiştir. Çalışma düzleminin oluşturulmasına ait görsel Şekil 17’de verilmektedir.



Şekil 17. Çalışma Düzleminin Oluşturulması

2.4. Zemin Profilinin Oluşturulması

Zemin profilleri oluşturulurken zemin tabakalarının derinlikleri ve yer altı su seviyesi programda ‘borehole’ adı verilen sondaj kuyuları ile tanımlanmaktadır. Sondaj kuyuları istenilen derinlikte oluşturulabilmektedir. Bu çalışmada tabakalı zemin modeli üzerinde çalışılmadığından zemin profili tek tabakalı olarak modellenmiş olup tabaka derinliği 15 metre olarak belirlenmiştir. Yer altı su seviyesi bazı analizlerde dikkate alınmazken, bazı analizlerde yüzeyden itibaren 2 metre olarak kabul edilmiştir. Zemin profilinin oluşturulmasına ait görsel Şekil 18’de verilmektedir.



Şekil 18. Zemin Profilinin Oluşturulması

2.5. Mohr-Coulomb Malzeme Model

Bu tez çalışması kapsamında Mohr Coulomb malzeme modeli kullanılmıştır. Mohr Coulomb malzeme modeli zeminde oluşan gerilme-deformasyon davranışını lineer elastik-tam plastik olarak modelleyen bir malzeme modelidir. Geoteknik mühendisliğinde kullanılan malzeme modeli için gerekli olan model parametre sayısının artması davranışın modellenmesindeki çok yönlülüğü de etkilemektedir. Bu araştırma kapsamında seçilmiş olan Mohr Coloumb malzeme modeli az sayıda parametreye ihtiyaç duymakta olup bununla beraber yeterli doğrulukta sonuçlara ulaşmaktadır. Bu modelde kullanılan beş temel giriş parametresi sırasıyla Elastisite modülü (E), poisson oranı (ν), içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyon (c) ve dilatasyon açısıdır (ψ). Şekil 19 ve Şekil 20’de bu parametreler ile zemin modelinin oluşturulması verilmektedir. Tablo 2’de zemin parametreleri detaylı olarak açıklanmıştır.

Soil - Mohr-Coulomb - Kil

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Material set		
Identification		Kil
Material model		Mohr-Coulomb
Drainage type		Drained
Colour		RGB 161, 226, 232
Comments		
General properties		
γ_{unsat}	kN/m ³	15.00
γ_{sat}	kN/m ³	16.00
Advanced		
Void ratio		
Dilatancy cut-off		☐
e_{init}		0.5000
e_{min}		0.000
e_{max}		999.0
Damping		
Rayleigh α		0.000
Rayleigh β		0.000

Next OK Cancel

Şekil 19. Zemin Modelinin Oluşturulması

Soil - Mohr-Coulomb - Kil

General Parameters Groundwater Thermal Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	5000
ν' (nu)		0.2500
Alternatives		
G	kN/m ²	2000
E_{ped}	kN/m ²	6000
Strength		
c'_{ref}	kN/m ²	50.00
ϕ' (phi)	°	1.000
ψ (psi)	°	0.000
Velocities		
V_s	m/s	36.17
V_p	m/s	62.64
Advanced		
Set to default values		☒
Stiffness		
E'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
Strength		
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
Tension cut-off		☒
Tensile strength	kN/m ²	0.000
Undrained behaviour		

Next OK Cancel

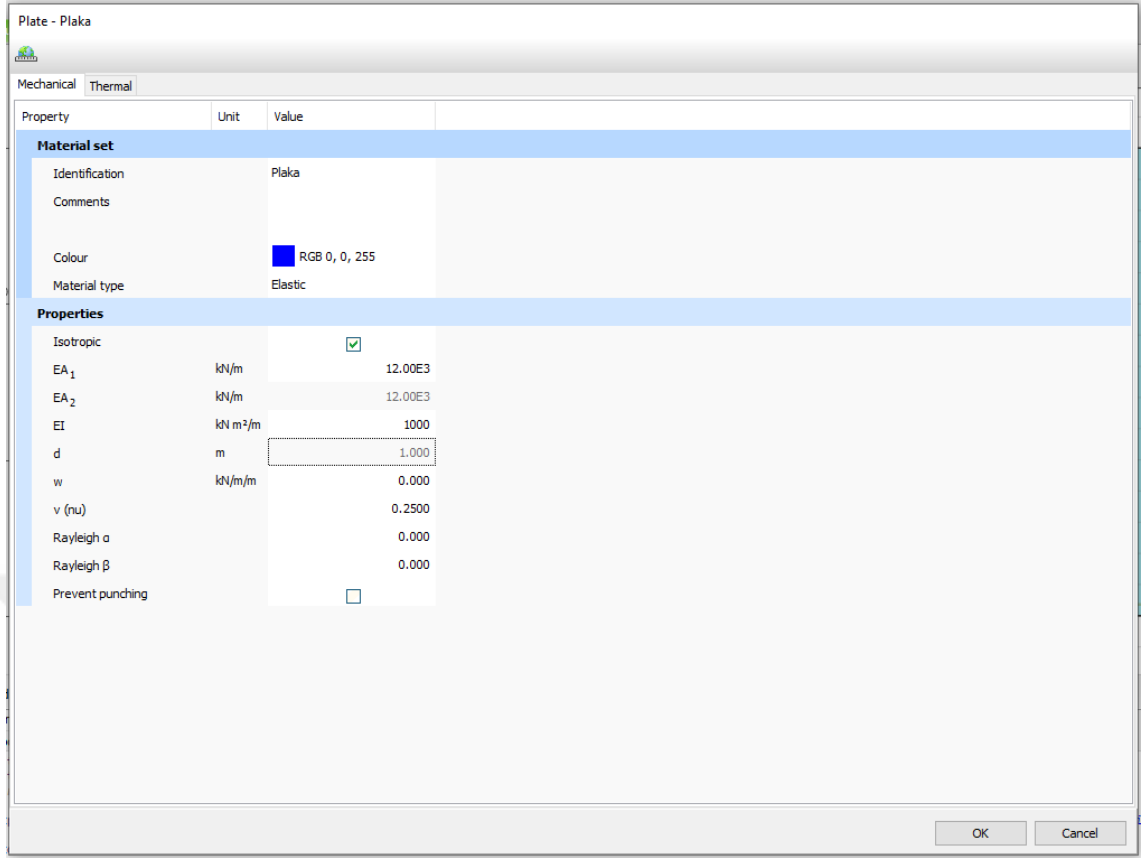
Şekil 20. Zemin Modelinde Parametrelerin Girilmesi

Tablo 2. Mohr-Coulomb Model Zemin Parametreleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Kuru Birim Hacim Ağırlık	γ_{unsat}	kN/m ³	15
Doygun Birim Hacim Ağırlık	γ_{sat}	kN/m ³	16
Elastisite Modülü	E'	kN/m ²	5000
Kohezyon	c	kN/m ²	50
İçsel Sürtünme Açısı	ϕ	(°)	1
Dilatasyon Açısı	ψ	(°)	0
Poisson Oranı	v	-	0.25

2.6. Model Temel

Çalışmada model ankraj plakası kiriş eleman (plate) olarak modellenmiştir. Bu elemana ait malzeme özellikleri, poisson oranı= 0.25, EI=12000 kNm²/m ve EA=1000 kN/m'dir. Kiriş elemanın genişliği 1 metre olarak belirlenmiş ve zemin yüzeyinden 5 metre derinde modellenmiş olup üniform şekilde deplasmana maruz bırakılmıştır. Model ankraj plakası malzemesinin oluşturulması Şekil 21'de verilmektedir. Tablo 3'te model temel malzeme özellikleri açıklanmıştır.



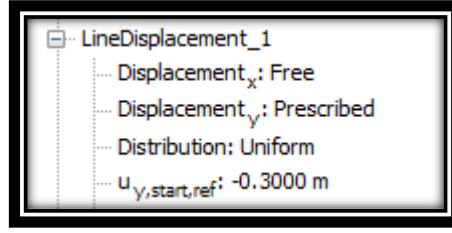
Şekil 21. Model Temelin Oluşturulması

Tablo 3. Model Ankraj Plakası Özellikleri

Parametre Adı	Simge	Birim	Değeri
Eksenel Rijitlik	EA	kN/m	12000
Eğilme Rijitliği	EI	kNm²/m	1000
Poisson Oranı	v	-	0.25
Kalınlık	d	m	1.0

2.7. Deplasmanın Uygulanması

Plaxis 2D programında tekil ve yayılı deplasman sistemleri bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında model ankraj plakası üzerine üniform yayılı deplasman uygulanmıştır. Ankraj plakasının çekme davranışı incelendiğinden üniform deplasman plakaya, çekme yönünde verilmiştir. Şekil 22’de üniform deplasman veri penceresi görülmektedir. Çekme yönünde uygulanan deplasman analizlerde 30 cm olarak kabul edilmiş ve analiz sonuçlarında bu deplasmana karşılık gelen taşıma kapasiteleri incelenmiştir.



Şekil 22. Yayılı Deplasmanın Uygulanması

2.8. Geofoam Malzemesi

Geofoamlar, granüler polisteren boncukların ön şişirme ve kalıplanması neticesinde üretilen, geoteknik mühendisliği uygulamalarında kullanılan, hafif ve kapalı gözenekli yapıya sahip genleştirilmiş polistiren (EPS) bloklardır. Bu çalışma kapsamında geofoam malzemesi ankraj plakasının üzerine zemine gömülü şekilde yerleştirilmiştir. Geofoam malzemesinin gömülme derinliği, elastisite modülü, ankraj plakası ile arasındaki mesafe ve kalınlığı değiştirilerek taşıma kapasitesindeki değişimler incelenmiştir. Geofoam malzemesi parametreleri Tablo 4'te verilmektedir.

Tablo 4. Geofoam Malzemesi için Lineer Elastik Model Parametreleri

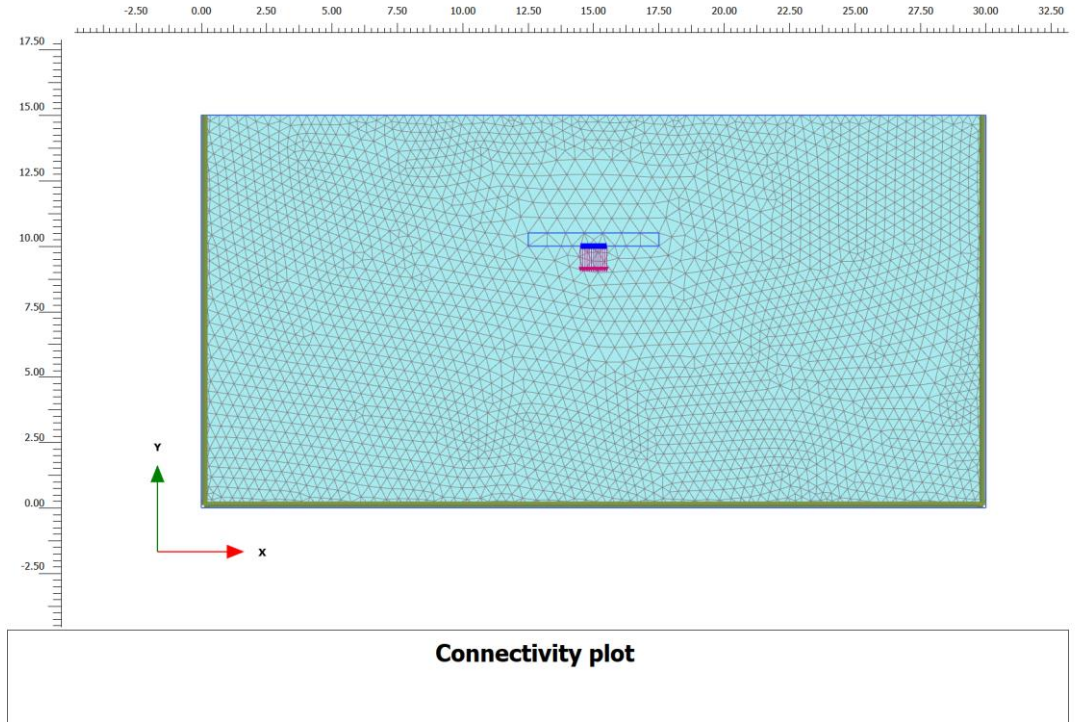
Parametre Adı	Simge	Birim	Değer
Drenaj Tipi	Non-Porous		
Kuru Birim Hacim Ağırlık	γ_{unsat}	kN/m ³	0.32
Doygun Birim Hacim Ağırlık	γ_{sat}	kN/m ³	0.32
1. Elastisite Modülü	E'	kN/m ²	5000
2. Elastisite Modülü	E'	kN/m ²	7000
3. Elastisite Modülü	E'	kN/m ²	10000
Poisson Oranı	ν	-	0.30

2.9. Sınır Koşulları

Modelin sınır koşulları Plaxis 2D programında verilen mevcut standart sınır koşulları olarak belirlenmiştir. Standart sınır koşullarında, kurulan modelin tabanında hem düşey hem yatay deplasmanlar ($u_x=0$, $u_y=0$) engellenir ve modelin düşey kenarlarında, sadece düşey hareketlere izin verilmektedir ($u_x=0$, $u_y=\text{serbest}$).

2.10. Mesh Analizi

Plaxis 2D programı sonlu elemanlara ayırma işlemini otomatik olarak gerçekleştirebilmektedir. Programda çok kaba (very coarse), kaba (coarse), orta (medium), gevşek (fine) ve çok gevşek (very fine) olacak şekilde beş adet mesh sıklığı bulunmaktadır. Programda seçilen mesh sıklığının analiz sonucunu doğru verebilecek incelikte olması gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında programdaki mesh sıklığı fine olarak seçilmiştir. Yapılan örnek mesh analizinin sonucuna ait görsel Şekil 23'te verilmektedir.



Şekil 23. Mesh Analizi

2.11. Başlangıç Gerilme Durumunun Oluşturulması

Plaxis 2D sonlu elemanlar programında analiz yapılmadan önceki ilk aşama başlangıç gerilme durumunun tanımlanmasıdır. Başlangıç gerilmesi zeminin birim hacim ağırlığından ve zeminin oluşumundan etkilenmektedir. Plaxis 2D programında başlangıç gerilme durumu “K0 Procedure” veya “Gravity Loading” olarak belirlenebilmektedir. “K0 Procedure” zemin ağırlığı ve boşluk suyu basınçlarını dikkate alır. Bu aşamada uygulanan dış yükler ya da temel, geofoam gibi malzemelerin ağırlığı dikkate alınmaz. Dolayısıyla bu nesnelerin “initial phase” aşamasında aktifleştirilmesine gerek yoktur. “K0 Procedure” sadece zemin yüzeyinin yatay olduğu durumlar için kullanılırken “Gravity Loading” şevli zeminlerde kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında başlangıç gerilmeleri “K0 Procedure” ile oluşturulmuştur. Initial Phase’e girilen başlangıç gerilmelerini oluşturma görseli Şekil 24’te verilmiştir.

Name	Value
General	
ID	Initial phase [InitialPhase]
Calculation type	K0 procedure
Loading type	Staged construction
ΣM_{weight}	1.00000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Estimated end time	0.00000 day
First step	0
Last step	0
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Updated water pressure	☐
Ignore suction	☒
Numerical control parameters	
Use compression for result	☐
Reached values	

Şekil 24. “Initial Phase” (K0 Procedure)

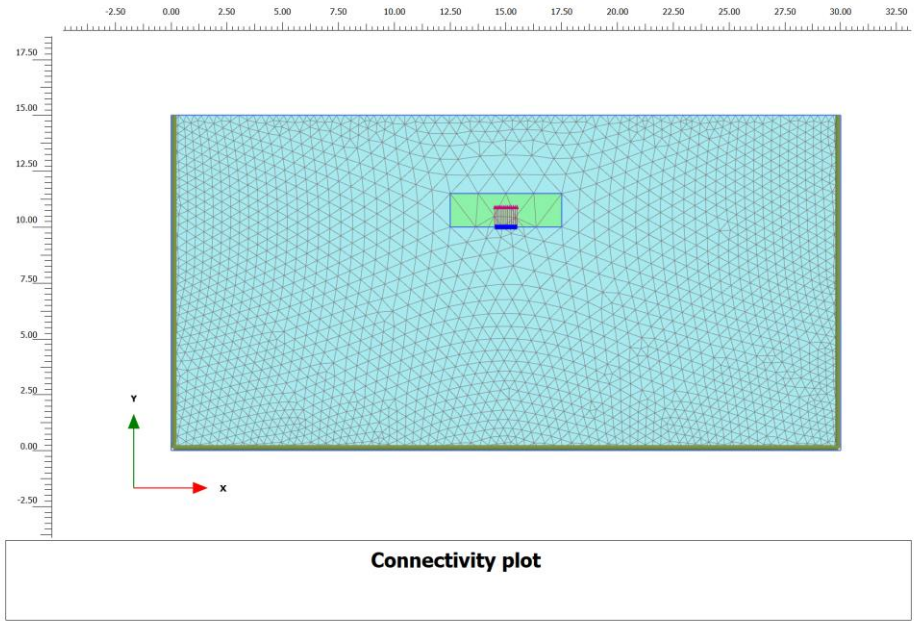
2.12. Sayısal Analiz

Sayısal analizler iki farklı aşamada gerçekleştirilmiştir. Bu aşamalardan ilki başlangıç gerilmelerinin oluşturulduğu “Initial Phase” aşamasıdır. İkinci aşamada model ankraj plakası, plakaya uygulanan üniform yayılı deplasman ve geofoam malzemesi

aktifleştirilmiştir. Initial Phase’de başlangıç gerilmelerinin oluşturulmasının ardından bir sonra gelen aşamada deplasmanlar sıfırlanarak sonraki analiz aşamalarında oluşacak deplasmanlar üzerinde ilk fazdaki deplasmanların etkisi kaldırılmalıdır. Fakat ilk aşamada oluşturulan başlangıç gerilmeleri aynen kalmaktadır. Şekil 25’te başlangıç deformasyonlarının sıfırlanması gösterilmiştir. Oluşturulan analiz modeli örneği Şekil 26’da verilmektedir.

Name	Value
General	
ID	Phase_1
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
EM _{stage}	1.00000
EM _{weight}	1.00000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	0.00000 day
Estimated end time	0.00000 day
First step	1
Last step	371
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,	☐
Reset displacements to zero	☒
Reset small strain	☒
Reset state variables	☐
Reset time	☐
Updated mesh	☐
Updated water pressure	☐
Ignore suction	☒
Cavitation cut-off	☐
Cavitation stress	100.000 kN/m ²
Numerical control parameters	
Max cores to use	256
Max number of steps store	1
Use compression for result	☐
Use default iter parameter	☒
Max steps	1000
Tolerated error	0.0100000
Max unloading steps	5
Max load fraction per step	0.500000

Şekil 25. Başlangıç Deformasyonlarının Sıfırlanması



Şekil 26. Model Geometrisi

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM: BULGULAR

Bu bölümde Tablo 1’de verilen analiz setleri sonuçları değerlendirilmiştir. Şekil 27’de geofoamsuz modeller (sırasıyla yer altı su seviyesinin dikkate alınmadığı durum, yer altı su seviyesinin 2 metre olduğu durum) verilmektedir. Şekil 28’de H/B=5 gömülme derinliğinde, 10000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoam malzemesinde üç farklı kalınlıkta yapılmış olan sayısal modeller örnek olarak verilmiştir.

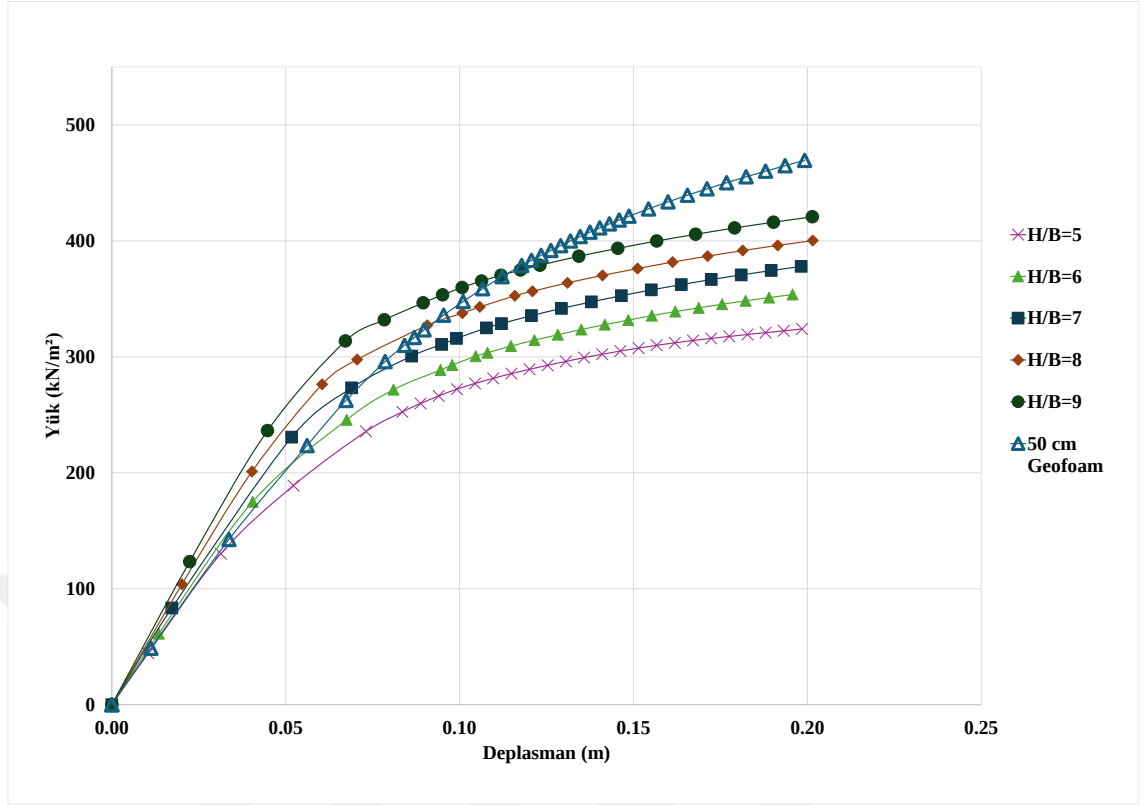
3.1. Gömülme Derinliğinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu bölümde geofoam malzemesinin zemin iyileştirmesine olan katkısını incelemek amacıyla birtakım analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla geofoamun olmadığı durumda temel farklı gömülme derinliklerinde konumlandırılıp (H/B= 5, 6, 7, 8 ve 9) nihai çekme kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen nihai çekme kapasiteleri üç farklı kalınlıkta geofoam kullanılması durumunda elde edilen çekme kapasiteleri ile karşılaştırılmıştır. Bu bölümde yapılan analizlerde geofoam elastisite modülü 10000 kN/m² olarak alınmış olup geofoam temelin tam üzerinde, H/B=5 gömülme derinliğinde olacak şekilde konumlandırılmıştır.

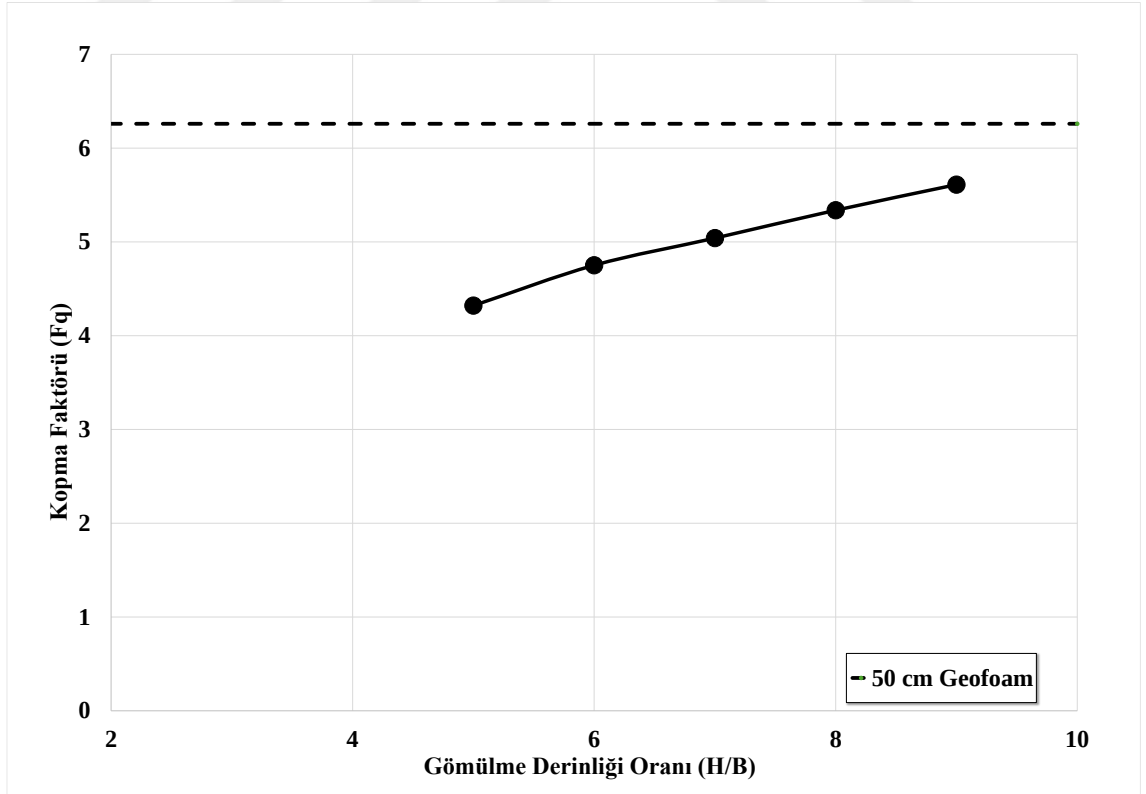
Analiz sonuçlarının gösterilmesinde, boyutsuz bir parametre olan kopma faktörü (F_q) kullanılmıştır. Kopma faktörü hesabı Denklem 2’de açıklanmaktadır.

$$F_q = \frac{Q_u}{\gamma \times A D_f} \quad (2)$$

Bu denklemde Q_u nihai çekme kapasitesine karşılık gelen yük, γ zeminin birim hacim ağırlığı, A temel alanı, D_f temel gömülme derinliği olarak tanımlanmaktadır.

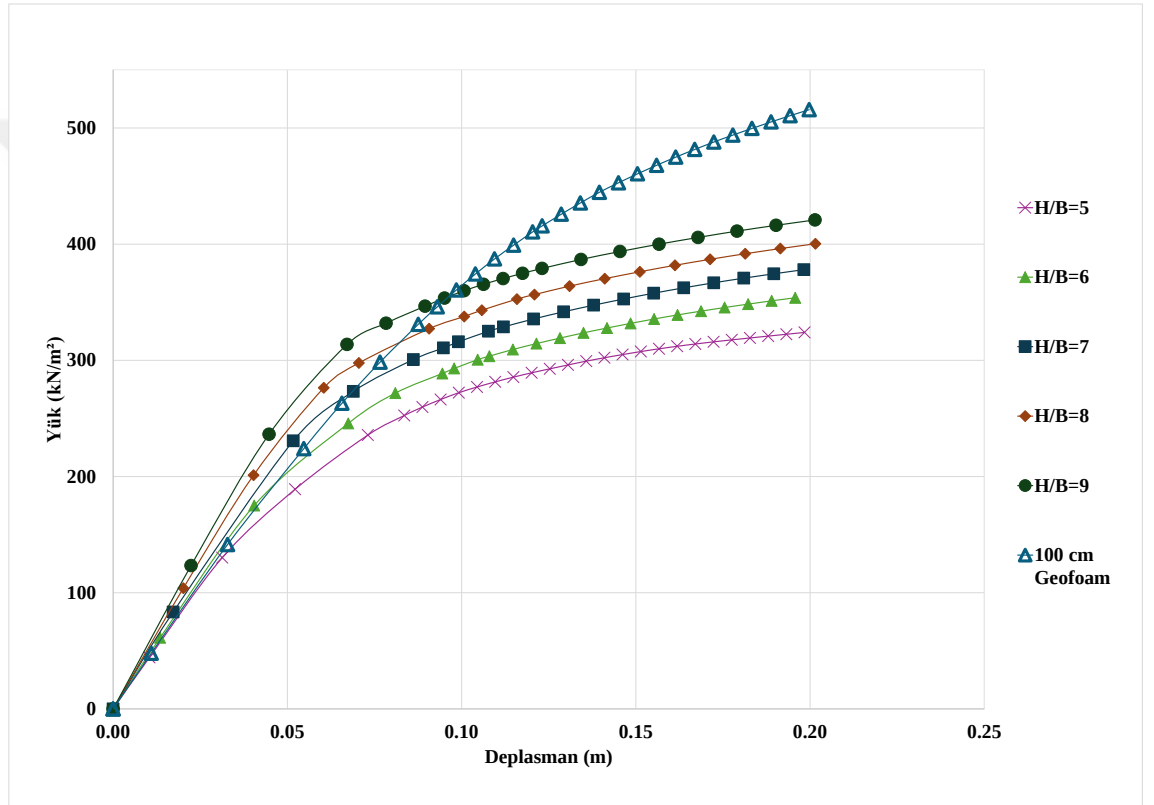


Şekil 27. 50cm Kalınlığında Geofoamlu (H/B=5) ve Geofoamsuz Analizler

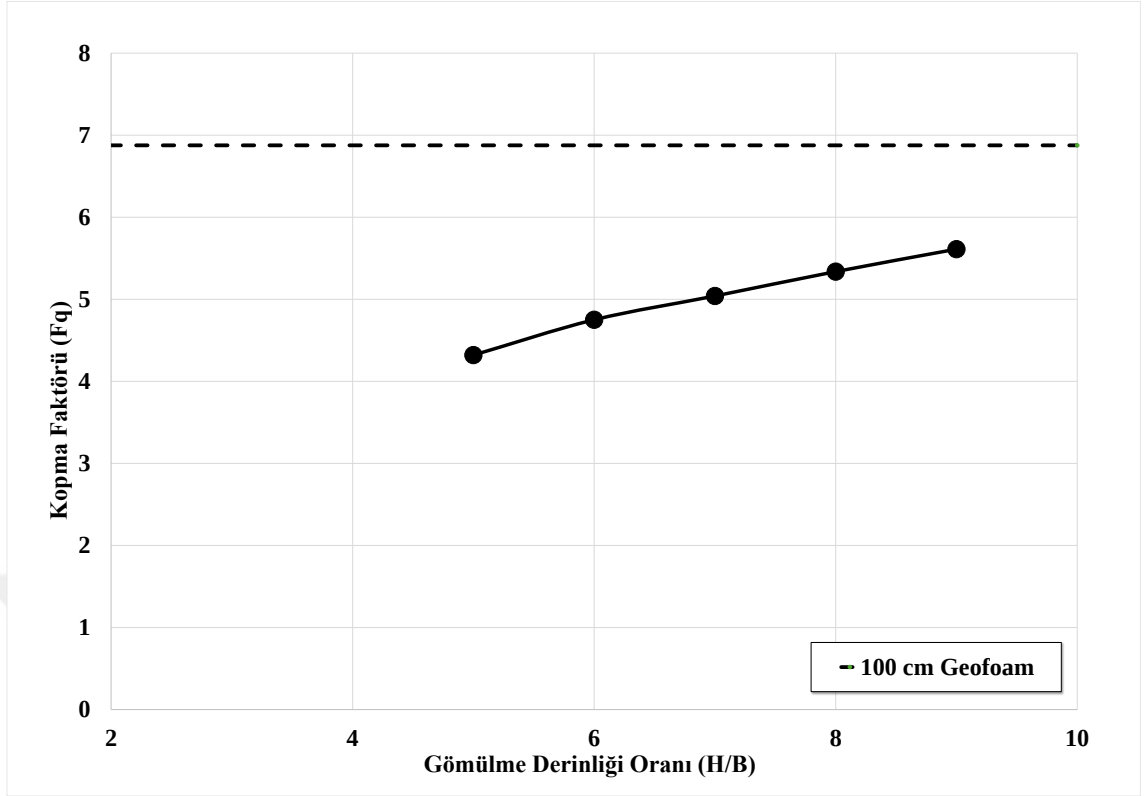


Şekil 28. Gömülme Derinliği-Kopma Faktörü (50cm Geofoam H/B=5)

Şekil 27’de 50cm geofoam ($H/B=5$) ile zemin iyileştirilmesi yapılması durumu ile geofoamsuz ve farklı gömülme derinliklerinde yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. $H/B=9$ gömülme derinliği ile geofoamun bulunduğu analiz karşılaştırıldığında %10 deplasmanda geofoamlu analizin $H/B=9$ gömülme derinliği ile neredeyse aynı nihai çekme kapasitesine ulaştığı görülmektedir. Geofoamlu analiz henüz %10 deplasmana ulaşmadan $H/B=9$ gömülme derinliği dışındaki tüm gömülme derinliklerinde yapılan analizlerden elde edilen nihai çekme kapasitelerinin üzerinde kalmaktadır.

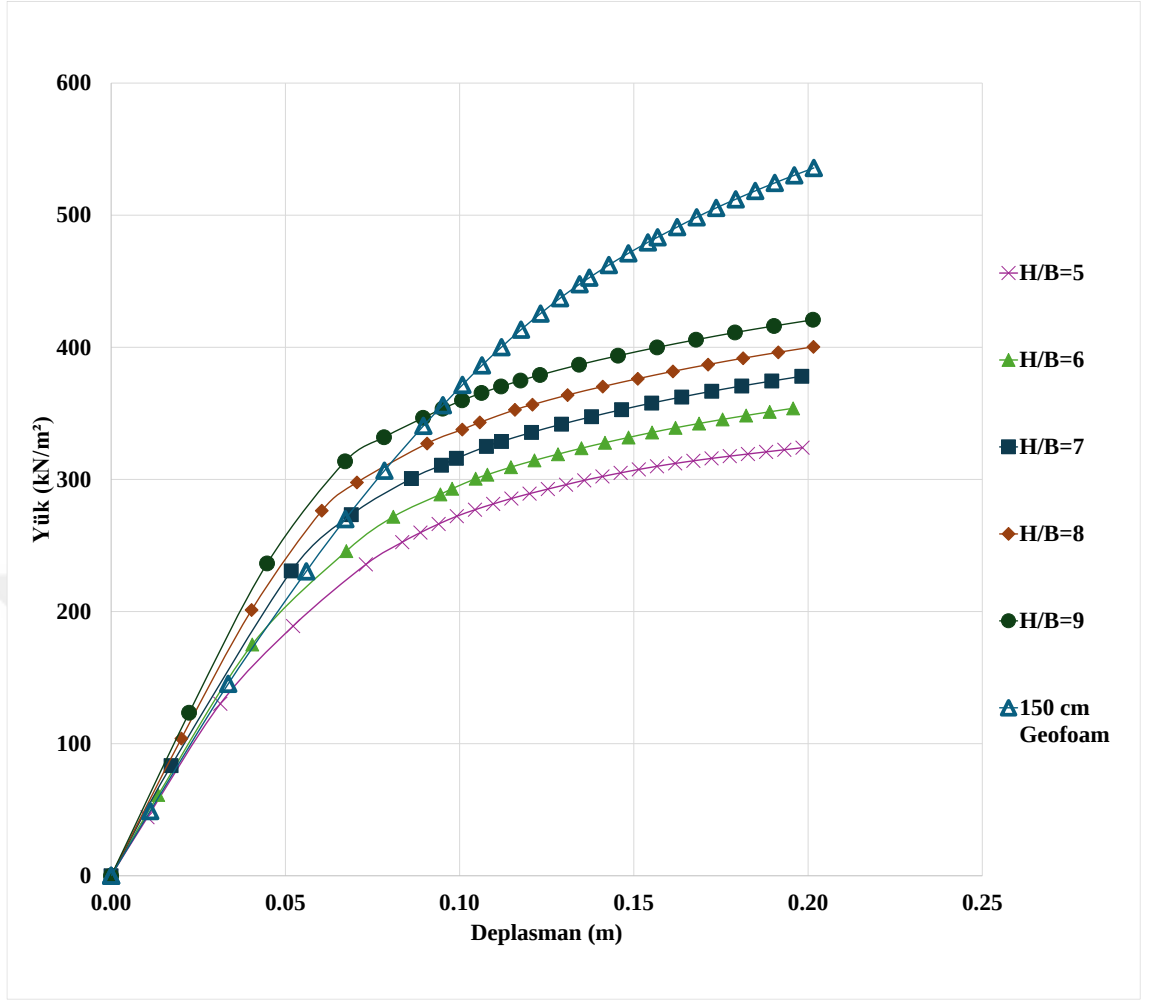


Şekil 29. 100cm Kalınlığında Geofoamlu ($H/B=5$) ve Geofoamsuz Analizler

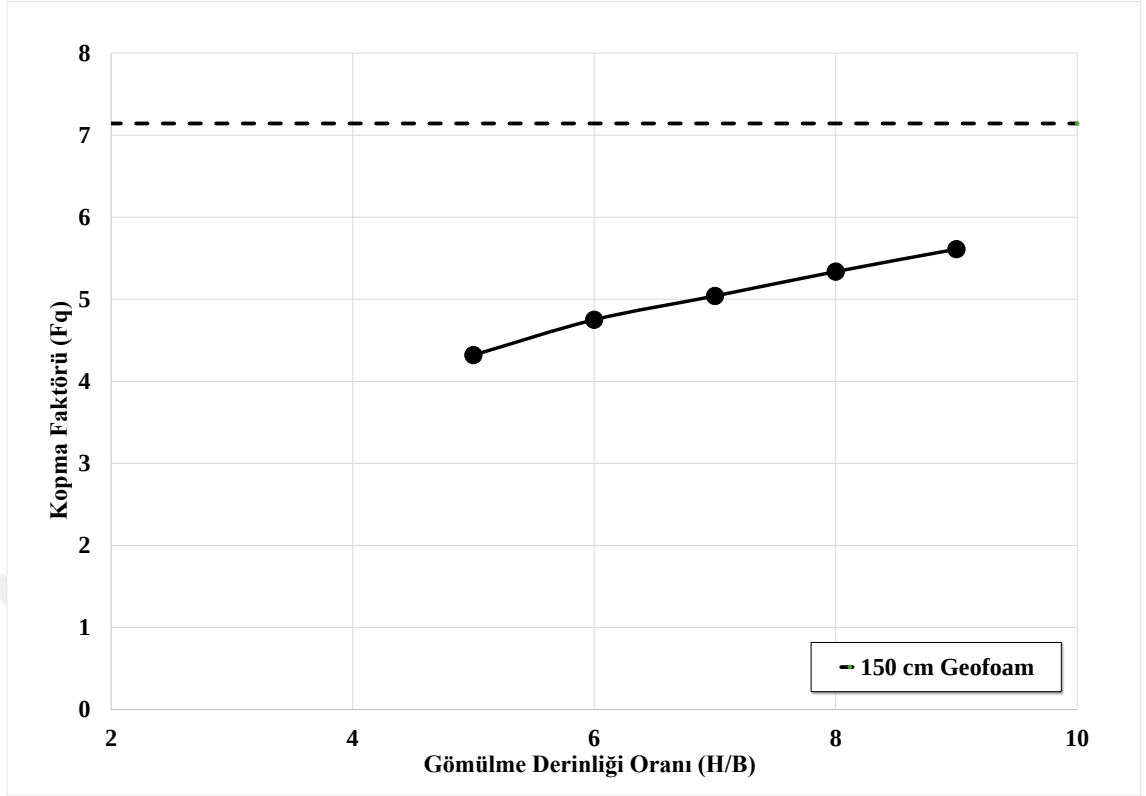


Şekil 30. Gömölme Derinliği-Kopma Faktörü (100cm Geofoam)

Şekil 29’da 100cm geofoam ($H/B=5$) ile zemin iyileştirilmesi yapılması durumu ile geofoamsuz ve farklı gömölme derinliklerinde yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. $H/B=9$ gömölme derinliği ile geofoamun bulunduğu analiz karşılaştırıldığında %10 deplasmanda geofoamlu analizin $H/B=9$ gömölme derinliğinde elde edilen nihai çekme kapasitesi ile aynı kapasiteye ulaştığı görülmektedir. Geofoamlu analiz %20 deplasmana ulaştığında geofoamsuz analizlerde elde edilen çekme kapasitelerinin çok daha üzerinde bir performansa ulaşmaktadır.



Şekil 31. 150cm Kalınlığında Geofoamlu (H/B=5) ve Geofoamsuz Analizler



Şekil 32. Gömölme Derinliği-Kopma Faktörü (150cm Geofoam)

Şekil 31’de 150cm geofoam ($H/B=5$) ile zemin iyileştirilmesi yapılması durumu ile geofoamsuz ve farklı gömölme derinliklerinde yapılan analiz sonuçları karşılaştırılmaktadır. $H/B=9$ gömölme derinliği ile geofoamun bulunduğu analiz karşılaştırıldığında %10 deplasmanda geofoamlu analizin $H/B=9$ gömölme derinliğinde elde edilen nihai çekme kapasitesini aştığı görülmektedir.

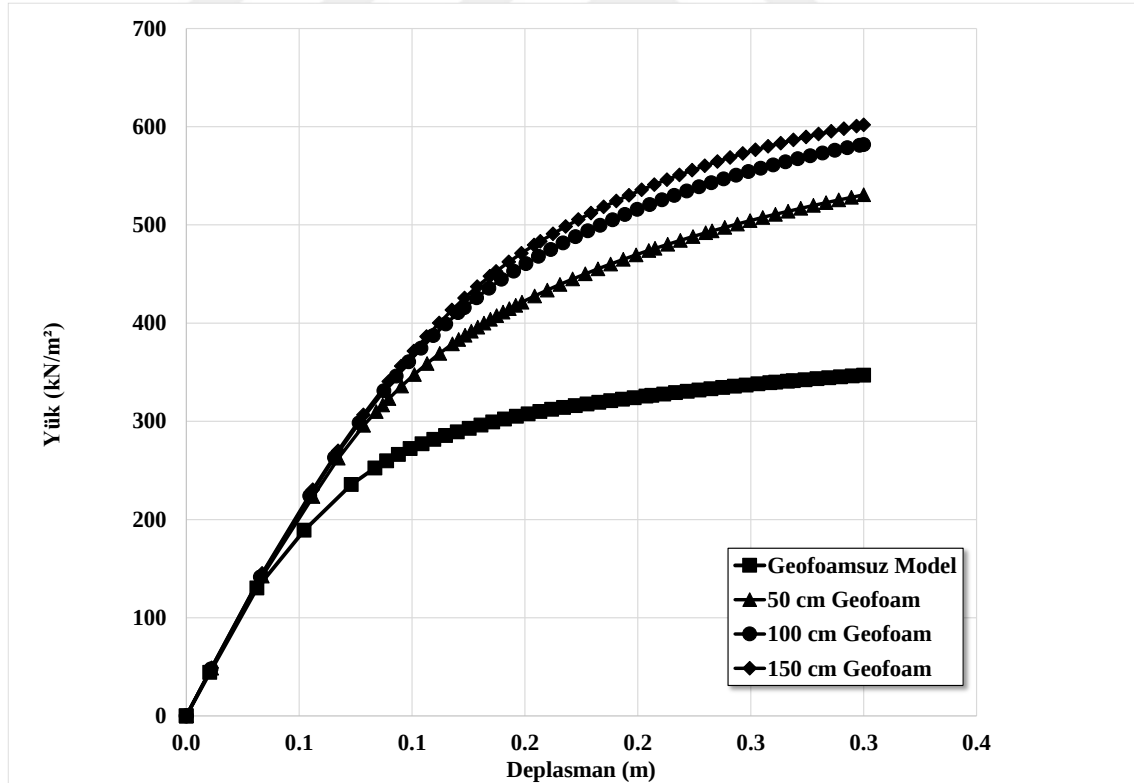
Bu bölümde geofoam malzemesinin zemin iyileştirmesine olan katkısını incelemek amacıyla birtakım analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla geofoamun olmadığı durumda temel farklı gömölme derinliklerinde konumlandırılıp ($H/B= 5, 6, 7, 8$ ve 9) nihai çekme kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen nihai çekme kapasiteleri üç farklı kalınlıkta geofoam kullanılması durumu ile karşılaştırıldığında en yüksek çekme kapasitesine 150 cm kalınlığındaki geofoam ile ulaşıldığı görülmektedir. Fakat 100cm kalınlığında yapılan analiz ile çok büyük farklar ortaya çıkmamıştır. Temel gömölme derinliği geofoam kullanımı ile azaltılabilmektedir. Tüm geofoam kalınlıklarında elde edilen nihai çekme kapasitelerinin geofoamsuz durumda en büyük H/B gömölme oranında elde edilen sonuçları aştığı görülmüştür. 150 cm kalınlığında geofoam kullanılması durumu önemli

bir fark yaratmamıştır. Dolayısıyla sistemin optimum çalıştığı durumun 100cm kalınlığında geofoam kullanılması durumu olduğu görülmüştür.

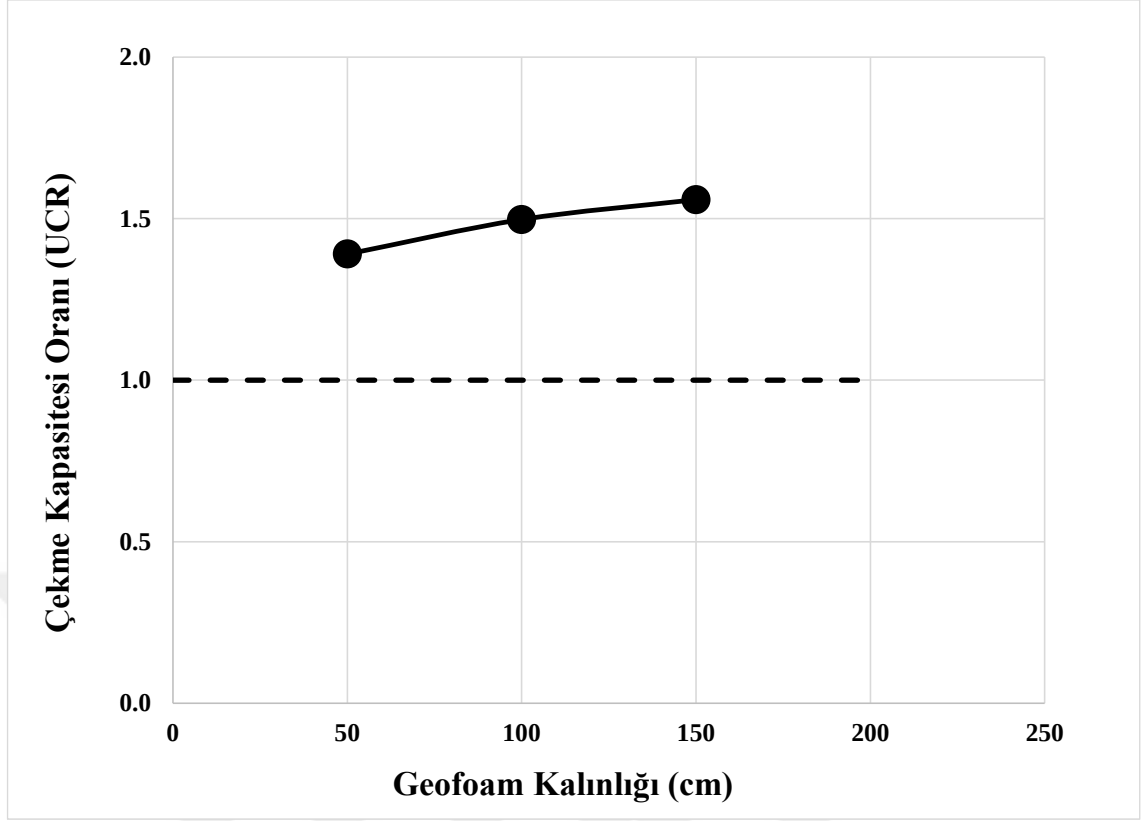
3.2. Geofoam Kalınlığının Taşıma Kapasitesine Etkisi

Bu bölümde kil birime gömülü çekmeye çalışan bir plaka üzerindeki geofoam kalınlığının çekme kapasitesi oranına etkisi iki farklı plaka gömülme derinliğinde incelenmektedir. Bu amaçla sırasıyla geofoamsuz, 50 cm, 100 cm ve 150 cm kalınlığında geofoamların plakanın tam üzerine yerleştirilmesi durumunda çekme kapasitesi oranlarına etkisi incelenmiştir. Plaka gömülme derinliğinin $H/B=5$ olması durumunda yapılan analizler Şekil 37’de, $H/B=9$ olması durumunda yapılan analizler Şekil 38’de sunulmuştur.

Şekil 33 ve Şekil 35’te sırasıyla $H/B=5$ ve $H/B=9$ gömülme derinliklerindeki yük-deplasman eğrileri verilirken, Şekil 34 ve Şekil 36’da farklı gömülme derinliklerinde UCR eğrileri sunulmuştur. Şekil 39’da gömülme derinlikleri-çekme kapasitesi oranları karşılaştırılmaktadır.

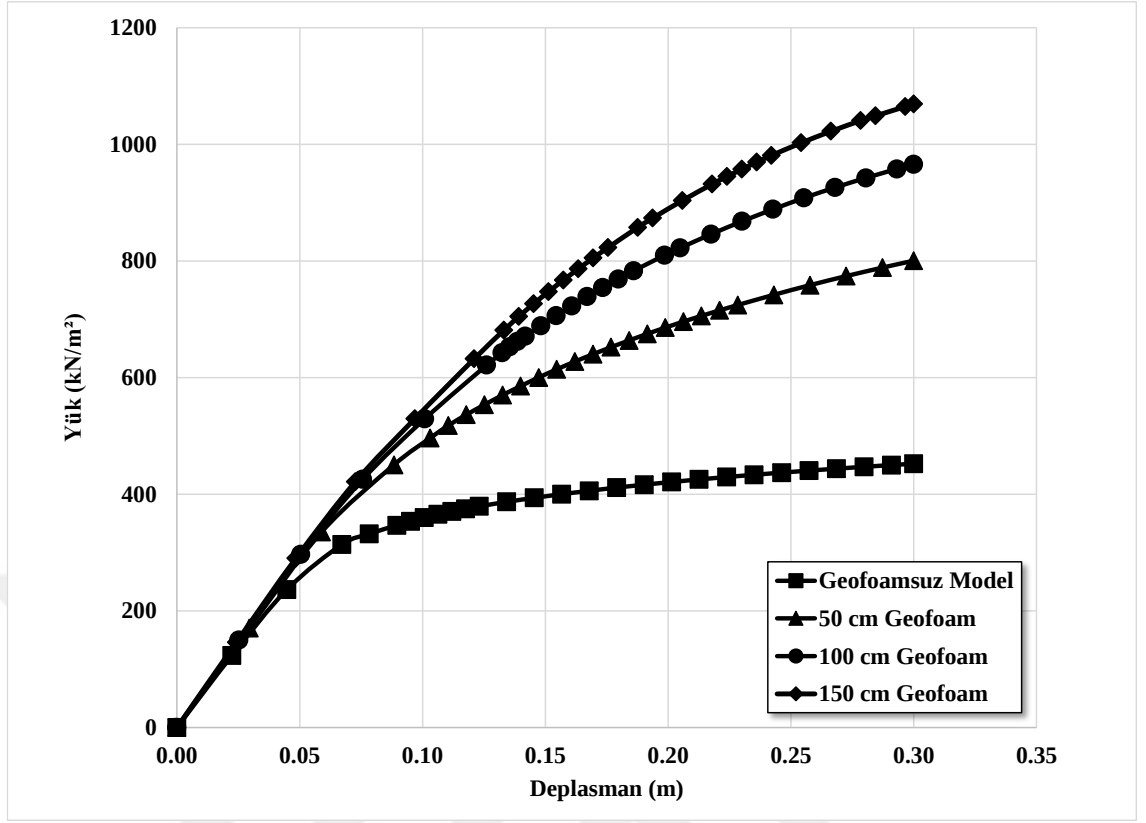


Şekil 33. Geofoam Kalınlığının Çekme Kapasitesine Etkisi ($H/B=5$)

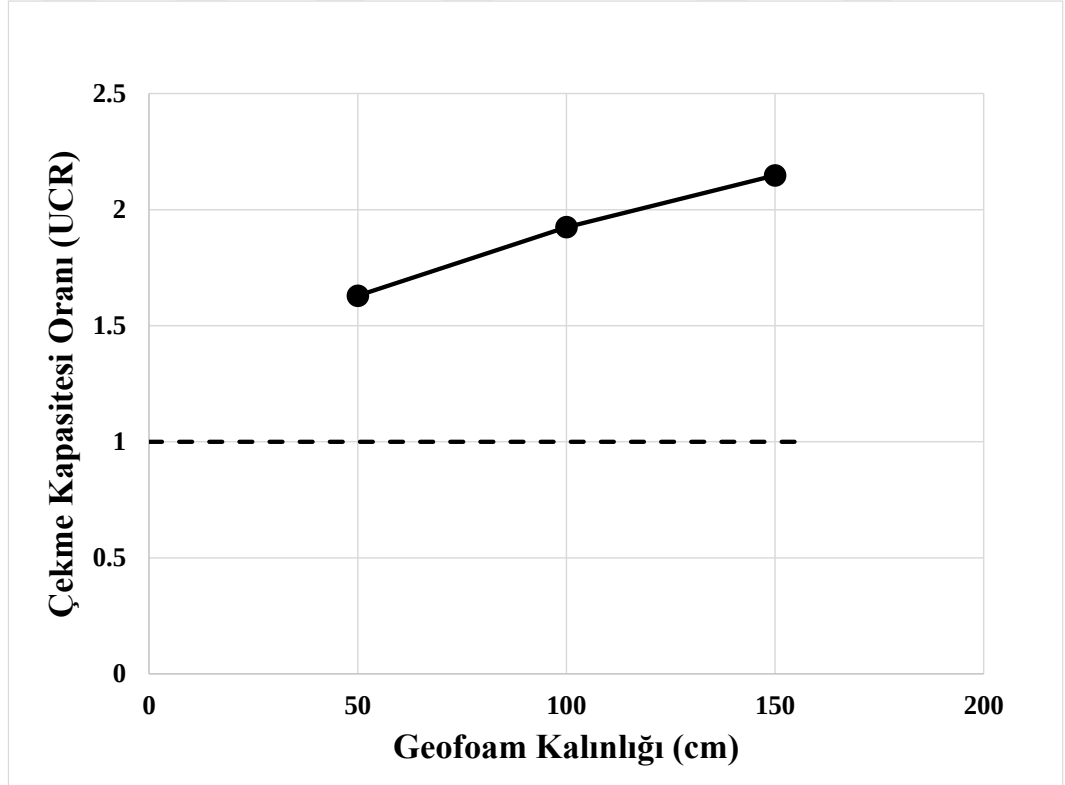


Şekil 34. Geofoam Kalınlığı-Çekme Kapasitesi Oranı (H/B=5)

Şekil 34'te $H/B=5$ durumunda üç farklı geofoam kalınlığının çekme kapasitesi incelenmiştir. Geofoamsuz analiz sonucuna en yakın durumun geofoam kalınlığının 50 cm olması durumu olduğu gözlenmektedir. Ayrıca geofoam kalınlığının artması durumunun çekme kapasitesi oranını 1.0'den 1.56'ya çıkardığı görülmüştür. Kalınlığın artmasıyla temel çekme kapasitesi oranı da artmaktadır. Şekil 33'teki yük-deplasman eğrileri incelendiğinde geofoamsuz durumdaki nihai çekme kapasitesinin yaklaşık 350 kN/m² olduğu, geofoam kalınlığının 150 cm'ye ulaşması durumunda nihai çekme kapasitesinin 1100 kN/m²'ye çıktığı gözlemlenmiştir.



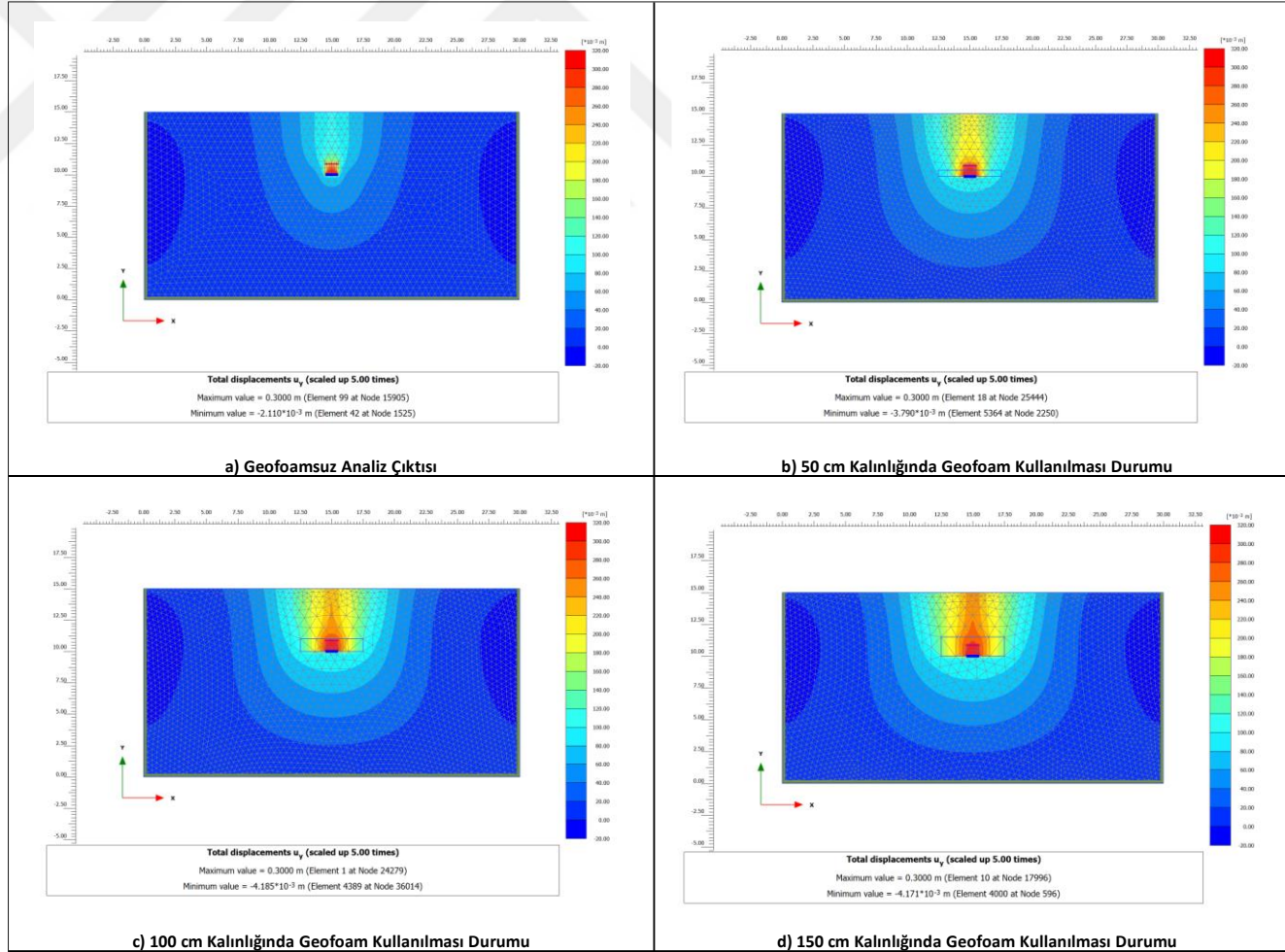
Şekil 35. Geofabric Kalınlığının Çekme Kapasitesine Etkisi (H/B=9)



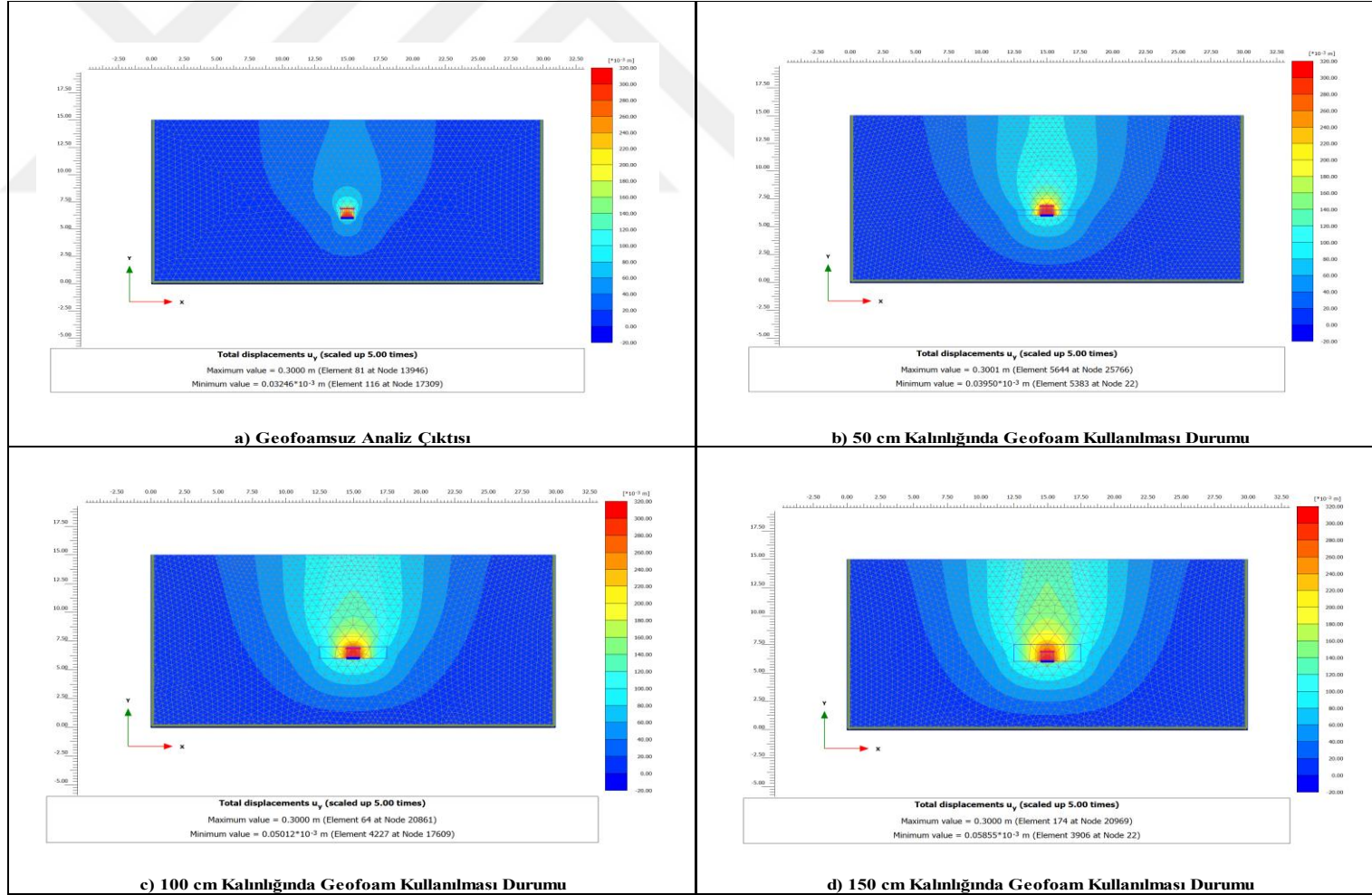
Şekil 36. Geofabric Kalınlığı-Çekme Kapasitesi Oranı (H/B=9)

Şekil 36’da $H/B=9$ durumunda üç farklı geofoam kalınlığının çekme kapasitesi incelenmiştir. $H/B=5$ olması durumuna benzer olarak maksimum çekme kapasitesi oranına 150 cm kalınlığında geofoam kullanılması durumunda ulaşıldığı gözlenmiştir. Geofoam kalınlığının artmasıyla beraber çekme kapasitesi oranı 1.0’den 2.14’e kadar ulaşmaktadır. Kalınlığın artmasıyla temel çekme kapasitesi oranı da artmaktadır. Şekil 35’teki yük-deplasman eğrileri incelendiğinde geofoamsuz durumdaki nihai çekme kapasitesinin yaklaşık 450 kN/m^2 olduğu, geofoam kalınlığının 150 cm’ye ulaşması durumunda nihai çekme kapasitesinin 1064 kN/m^2 ’ye çıktığı gözlemlenmiştir.

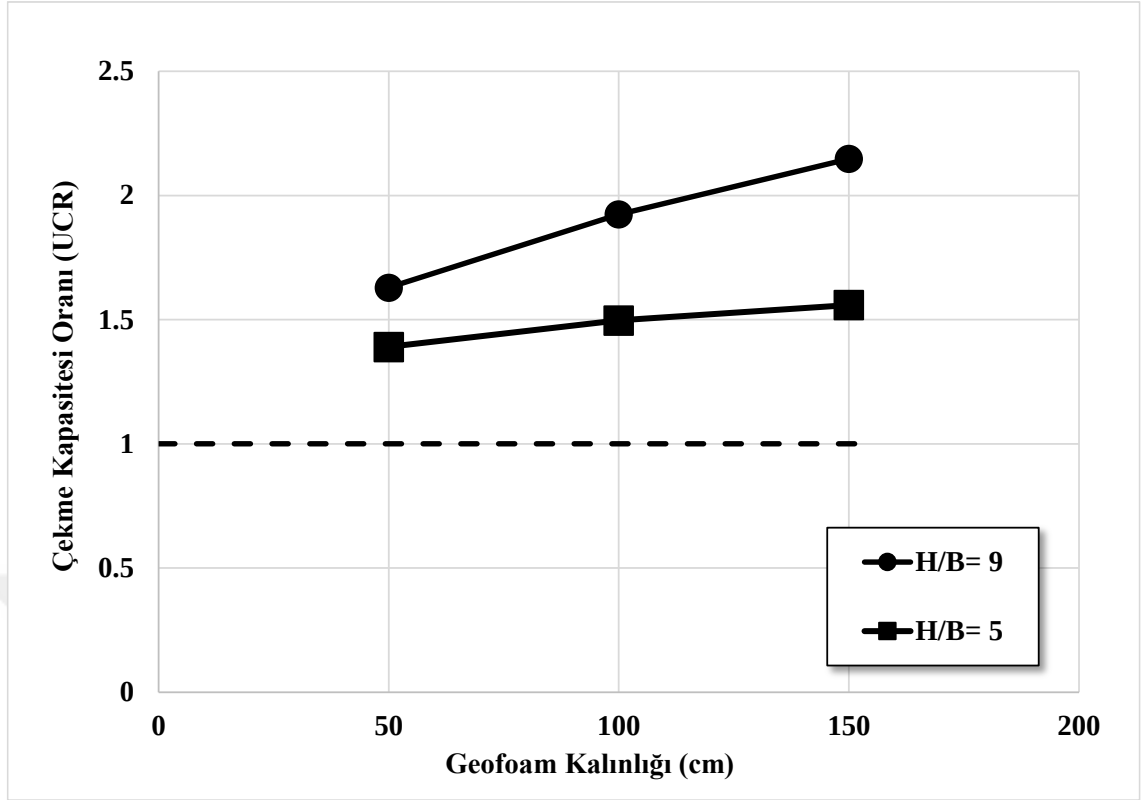




Şekil 37. H/B=5 Analiz Çıktıları



Şekil 38. H/B= 9 Analiz Çıktıları



Şekil 39. Gömülme Derinliği-Çekme Kapasitesi Oranı

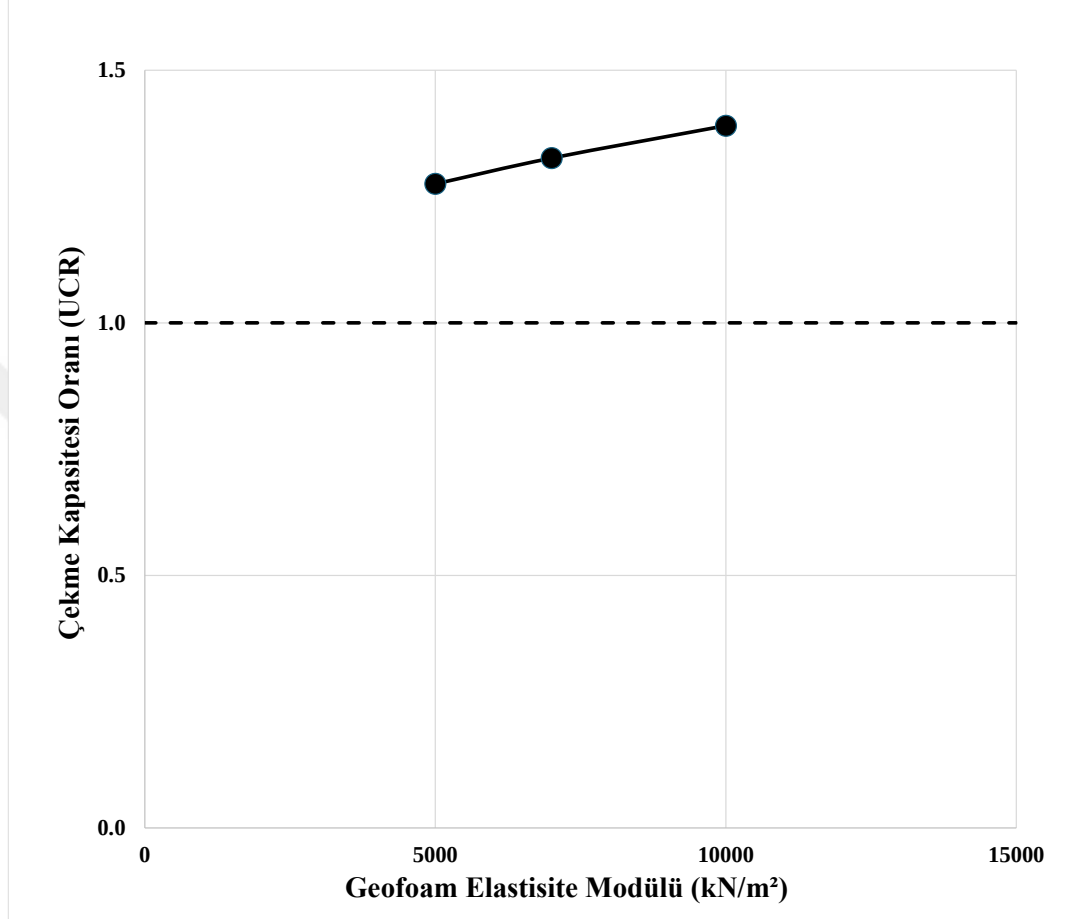
Şekil 39’da üç farklı geofoam kalınlığı ve iki farklı gömülme derinliğinin çekme kapasitesi oranına etkisi incelenmektedir. Her iki gömülme derinliğinde de geofoam malzemesinin kalınlığının artmasıyla beraber çekme kapasitesi oranında artış olduğu gözlenmiştir. Ayrıca gömülme derinliğinin artması durumunun sistemi olumlu yönde etkilediği görülmektedir.

3.3. Geofoam Elastisite Modülünün Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu bölümde kil birime gömülü çekmeye çalışan bir plaka üzerindeki geofoam malzemesinin çekme kapasitesi oranına etkisi incelenmektedir. Bu amaçla sırasıyla 5000 kN/m², 7000 kN/m² ve 10000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoam malzemeler ile analizler gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülünün davranışa etkisi incelenirken üç farklı geofoam kalınlığı ayrı ayrı değerlendirilmiş olup, yapılan analizlerde geofoam malzemesi H/B=5 oranında zemine gömülmüştür.

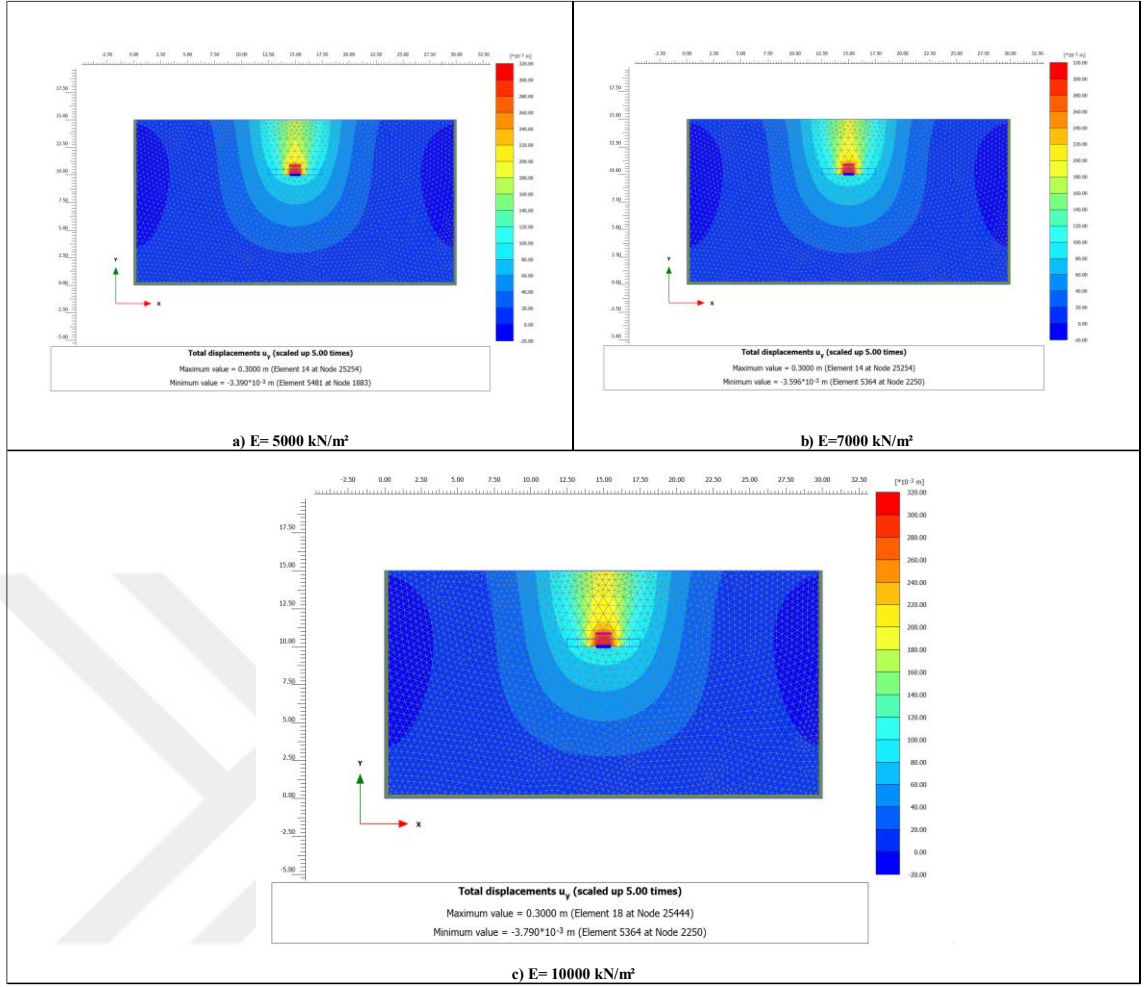
3.3.1. 50 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

Şekil 41’de 50 cm kalınlığındaki geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülü ile yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır.



Şekil 40. Geofoam Elastisite Modülü-Çekme Kapasitesi Oranı (50cm)

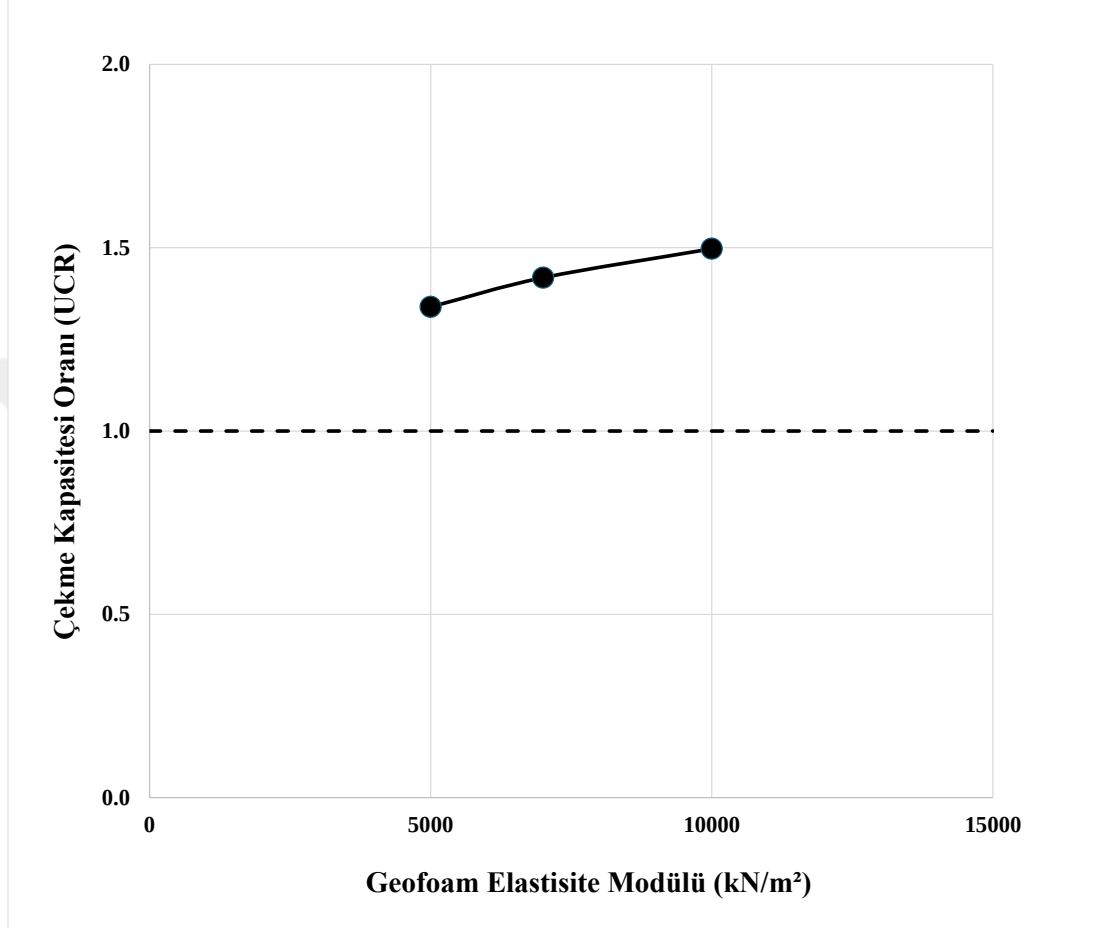
50 cm kalınlığında ve plakanın tam üzerinde konumlandırılmış geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülünde ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 40’ta sunulmuştur. Şekil 40 incelendiğinde 5000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR’nin 1.28, 7000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR’nin 1.33 ve 10000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR’nin 1.39’a ulaştığı görülmektedir.



Şekil 41. 50cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

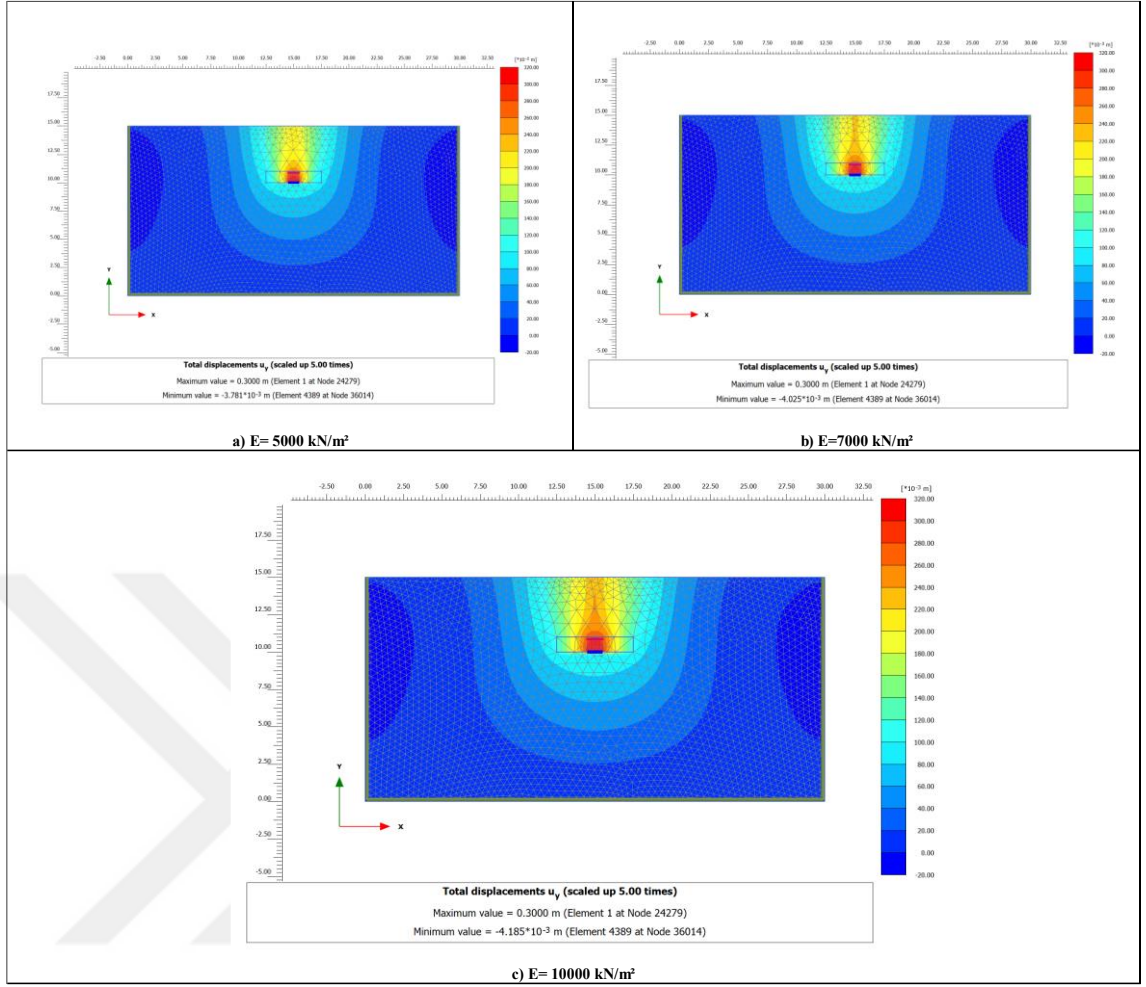
3.3.2. 100 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

Şekil 43'te 100 cm kalınlığındaki geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülü ile yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır.



Şekil 42. Geofoam Elastisite Modülü-Çekme Kapasitesi Oranı (100cm)

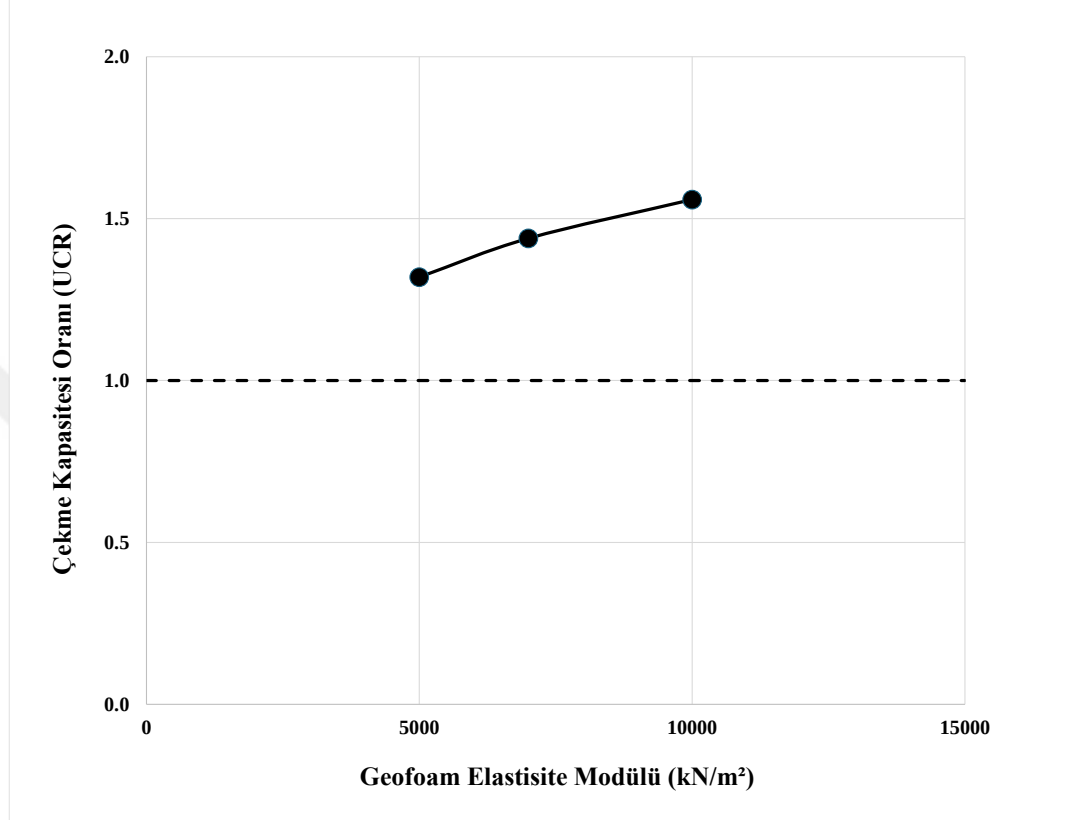
100 cm kalınlığında ve plakanın tam üzerinde konumlandırılmış geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülünde ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 42’de sunulmuştur. Şekil 42 incelendiğinde 5000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR’nin 1.34, 7000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR’nin 1.42 ve 10000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR’nin 1.50’ye ulaştığı görülmektedir.



Şekil 43. 100cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

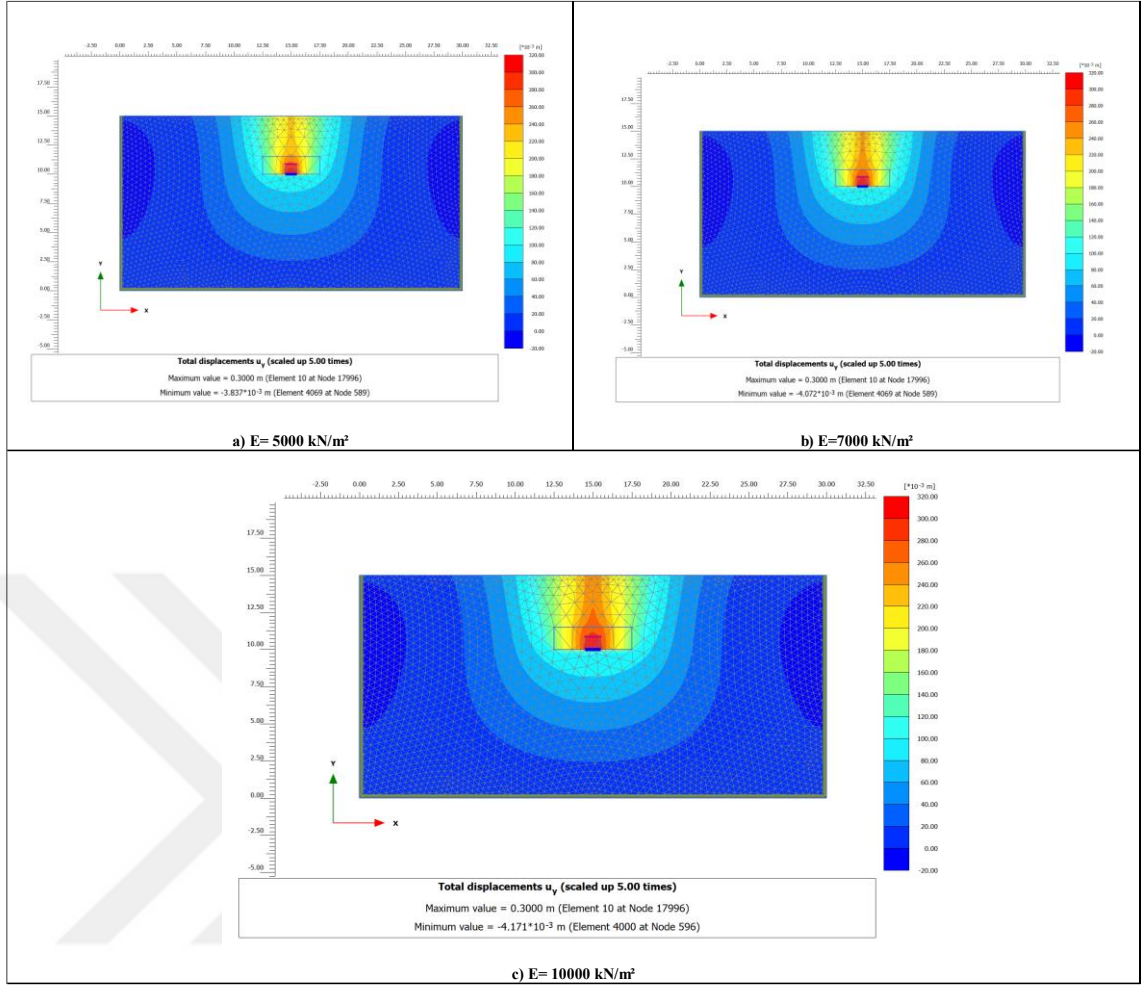
3.3.3. 150 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

Şekil 45'te 150 cm kalınlığındaki geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülü ile yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır.

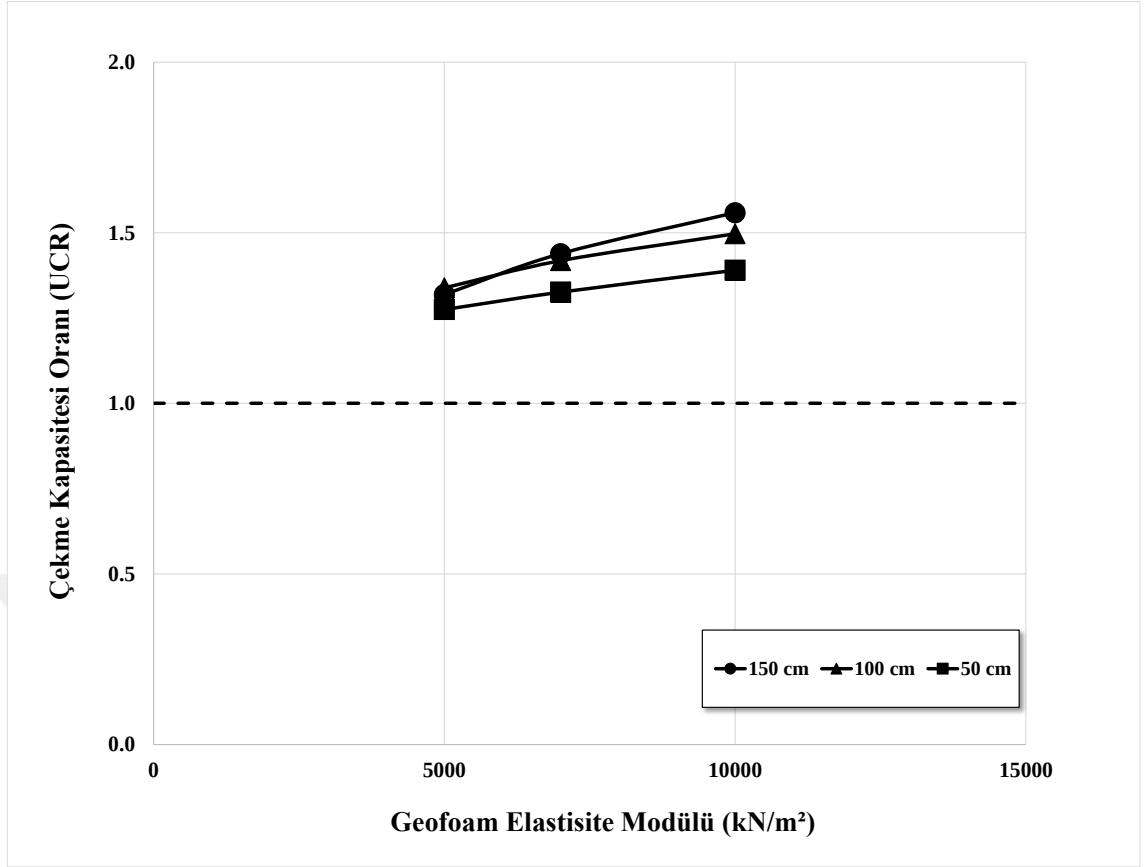


Şekil 44. Geofoam Elastisite Modülü- Çekme Kapasitesi Oranı (150cm)

150 cm kalınlığında ve plakanın tam üzerinde konumlandırılmış geofoam malzemesinin üç farklı elastisite modülünde ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 44'te sunulmuştur. Şekil 44 incelendiğinde 5000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR'nin 1.32, 7000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR'nin 1.44 ve 10000 kN/m² elastisite modülüne sahip geofoamun bulunduğu analiz sonucunda UCR'nin 1.56'ya ulaştığı görülmektedir.



Şekil 45. 150cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler



Şekil 46. Farklı Elastisite Modülleri ve Farklı Geofoam Kalınlıklarının Karşılaştırılması

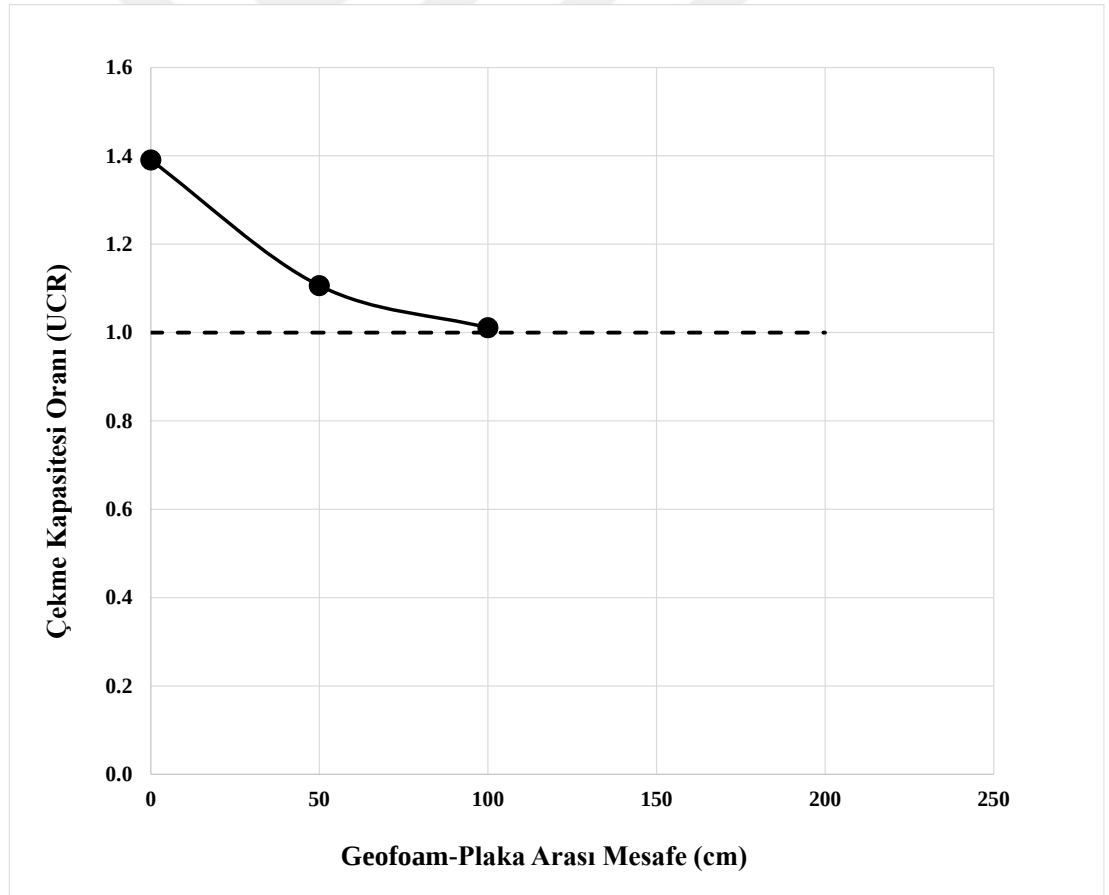
Şekil 46’da üç farklı kalınlığa sahip geofoam malzemelerinin 3 farklı elastisite modülünde kullanılması durumundaki toplu temel çekme kapasitesi oranı grafiği sunulmaktadır. Grafik incelendiğinde geofoam kalınlığı ve elastisite modülünün temel çekme kapasitesi oranına doğrudan etkisi olduğu görülmektedir. Elastisite modülünün ve geofoam kalınlığının artması durumunda temel çekme kapasitesi oranının da artış gösterdiği sonucuna varılmıştır.

3.4. Geofoam Konumunun Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu bölümde yapılan analizler ile iki farklı gömülme derinliğinde ($H/B=5$ ve $H/B=9$) geofoam konumunun temel çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla geofoam malzemesi sırasıyla temelin tam üzerinde, temelden 50 cm yukarıda ve temelden 100 cm yukarıda olacak şekilde konumlandırılıp farklı geofoam kalınlıklarında analizler gerçekleştirilmiştir. Bu analiz setlerinde geofoam malzemesi elastisite modülü $E=10000$ kN/m² olarak kullanılmıştır.

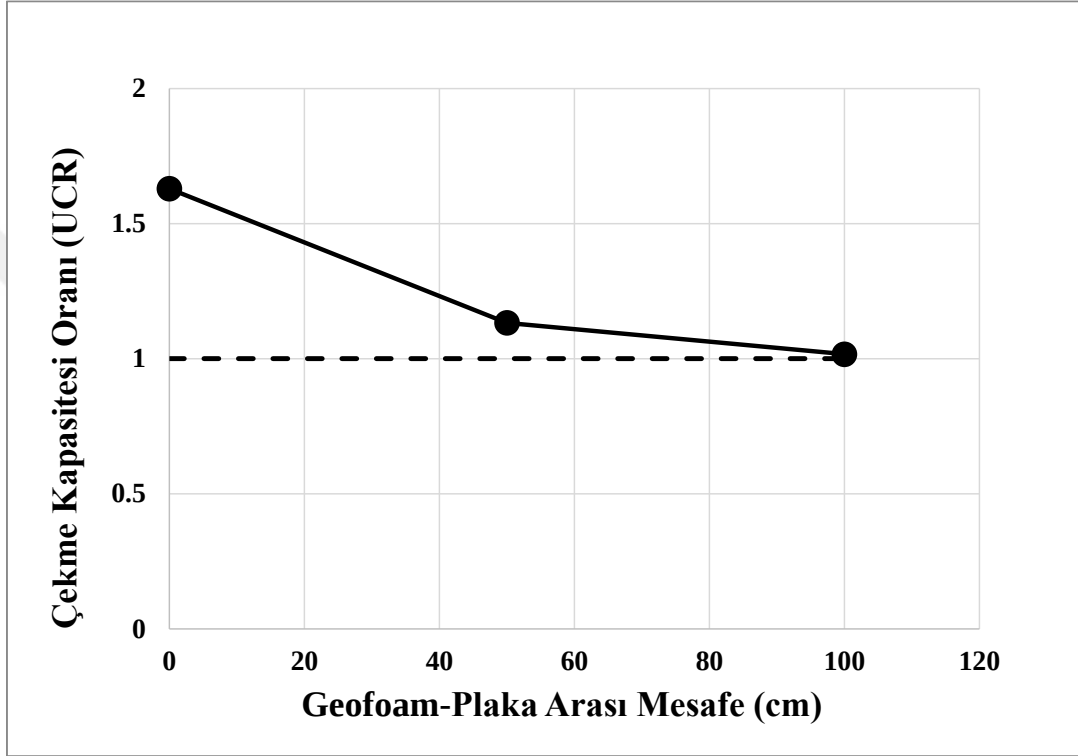
3.4.1. 50 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

Şekil 49 ve Şekil 50’de iki farklı gömülme derinliğinde ($H/B=5$ ve 9) 50 cm kalınlığındaki geofoam malzemesinin temelin tam üzerinde, temelden 50 cm yukarıda ve temelden 100 cm yukarıda olması durumunda yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır.



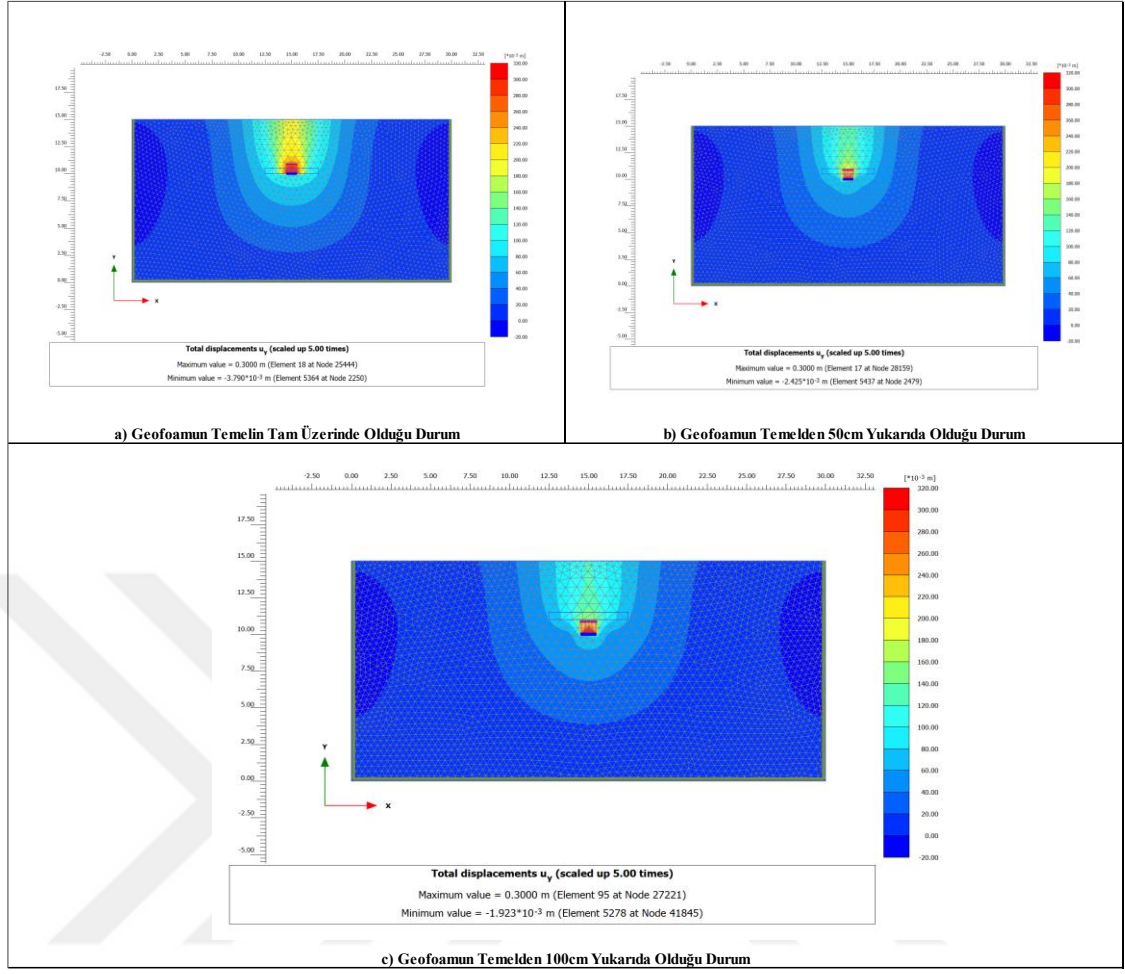
Şekil 47. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (50cm $H/B=5$)

50 cm kalınlığında gefoam malzemesinin $H/B=5$ oranında gömülmesi ve üç farklı konumda bulunması durumunda ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 47’de sunulmuştur. Şekil 47 incelendiğinde en yüksek çekme kapasitesi oranına gefoamun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca gefoamun temelden 100 cm yukarıda olması durumunda gefoamsuz analizler ile aynı sonuca ulaşıldığı görülmektedir.

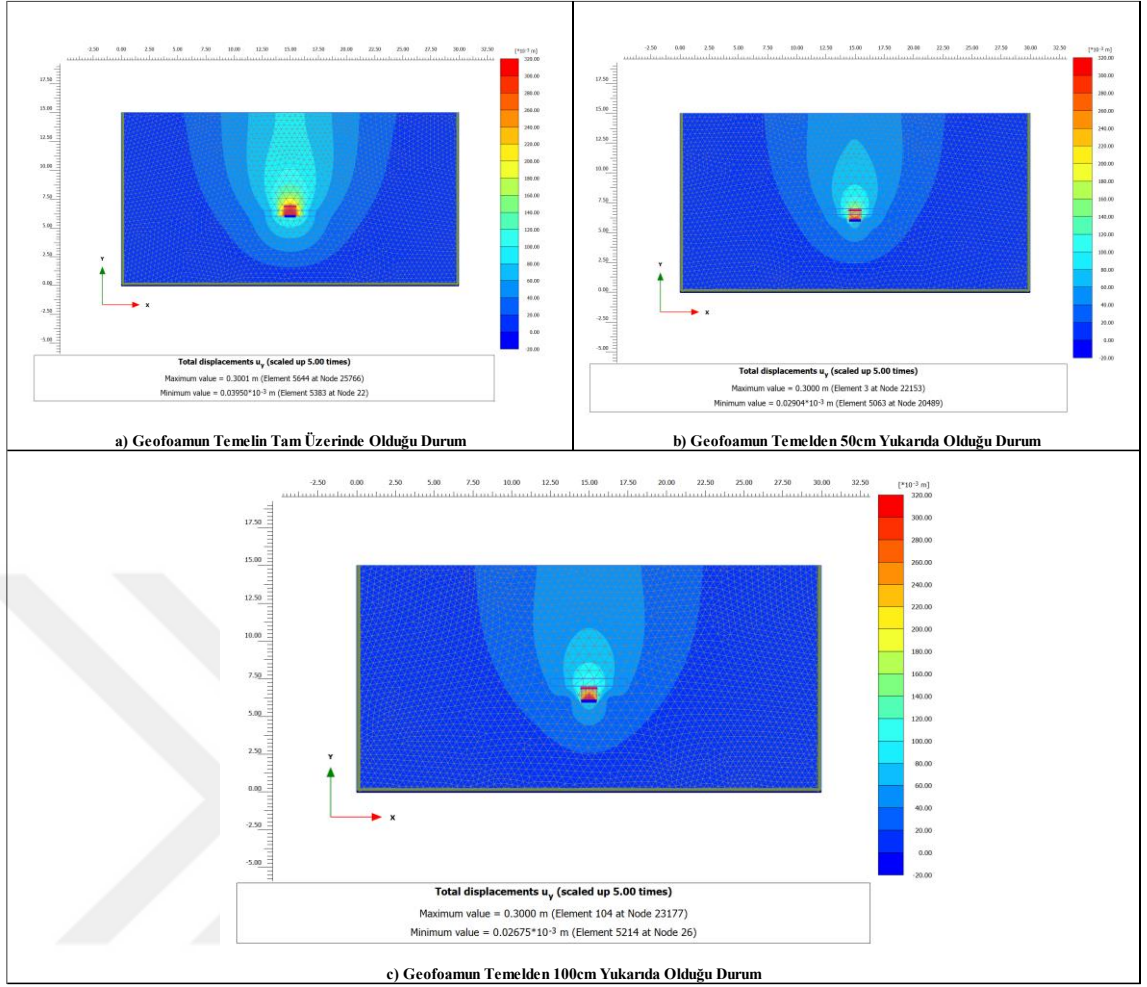


Şekil 48. Geofoam-Temel Arası Mesafe-Taşıma Çekme Oranı (50cm $H/B=9$)

50 cm kalınlığında gefoam malzemesinin $H/B=9$ oranında gömülmesi ve üç farklı konumda bulunması durumunda ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 48’de sunulmuştur. Şekil 48 incelendiğinde en yüksek çekme kapasitesi oranına gefoamun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca gefoamun temelden 100 cm yukarıda olması durumunda gefoamsuz analizler ile aynı sonuca ulaşıldığı görülmektedir.



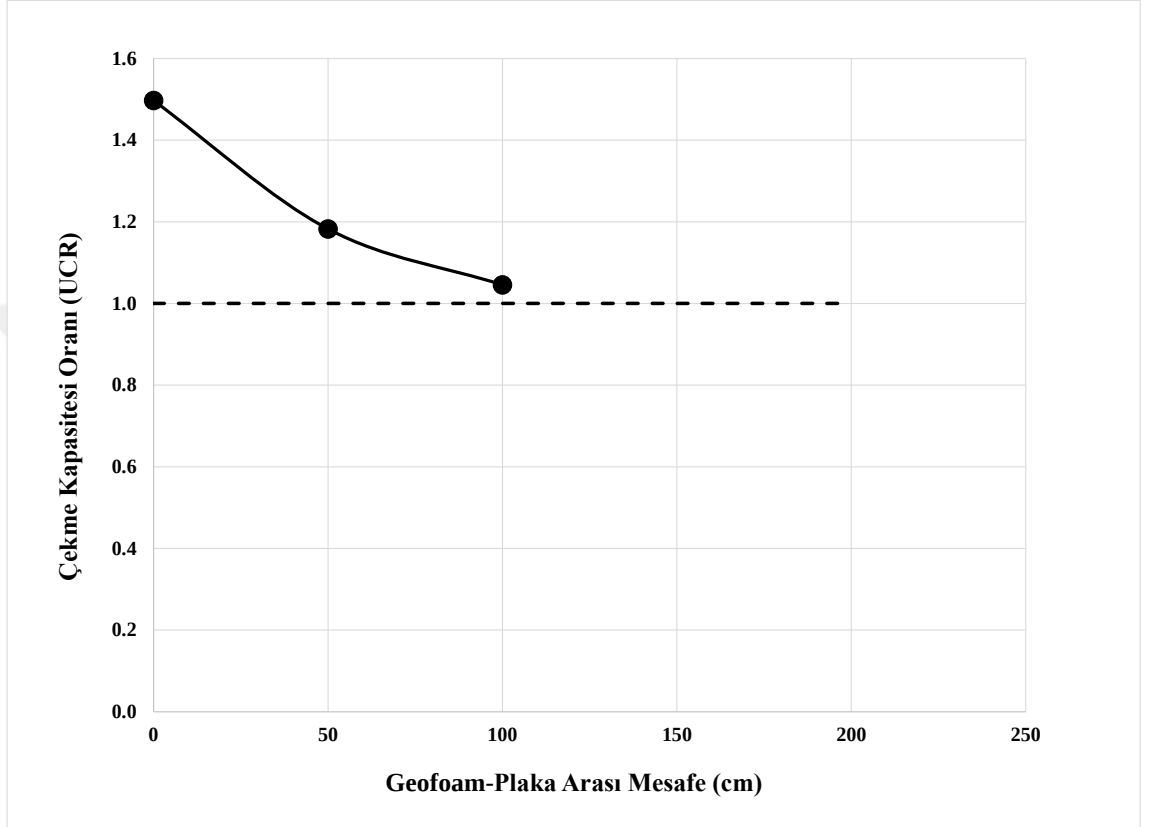
Şekil 49. H/B=5 Olması Durumu



Şekil 50. H/B=9 Olması Durumu

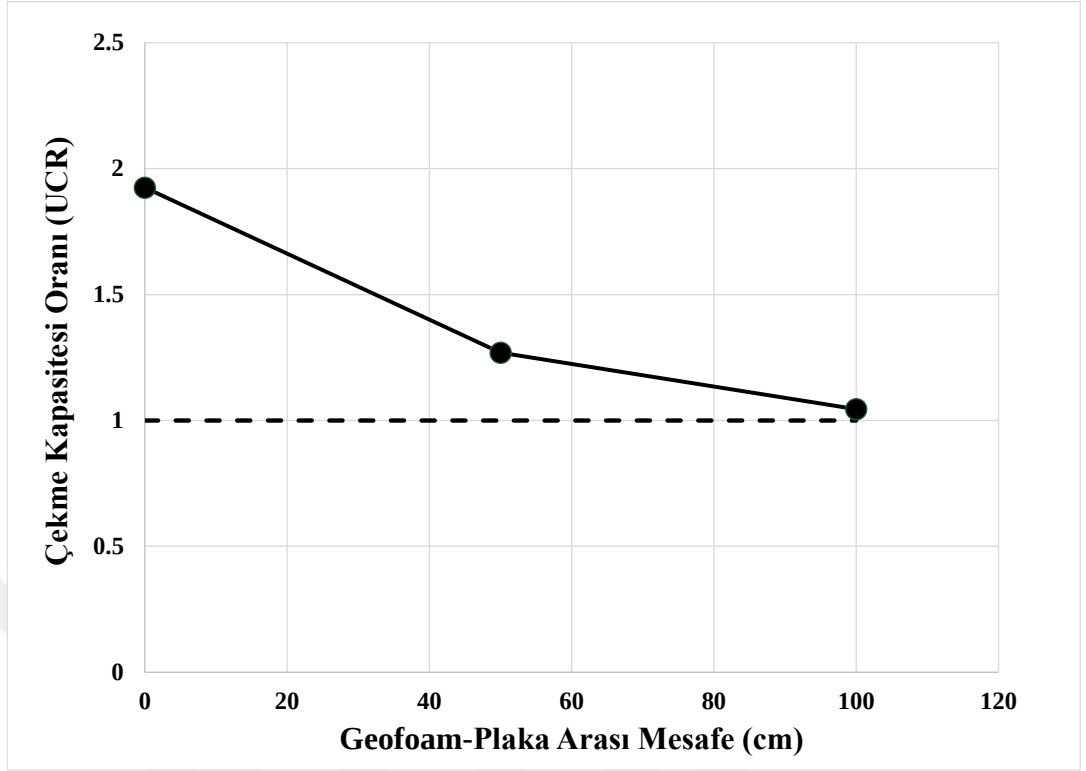
3.4.2. 100 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

Şekil 53 ve Şekil 54’te iki farklı gömülme derinliğinde ($H/B=5$ ve 9) 100 cm kalınlığındaki geofoam malzemesinin temelin tam üzerinde, temelden 50 cm yukarıda ve temelden 100 cm yukarıda olması durumunda yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır.



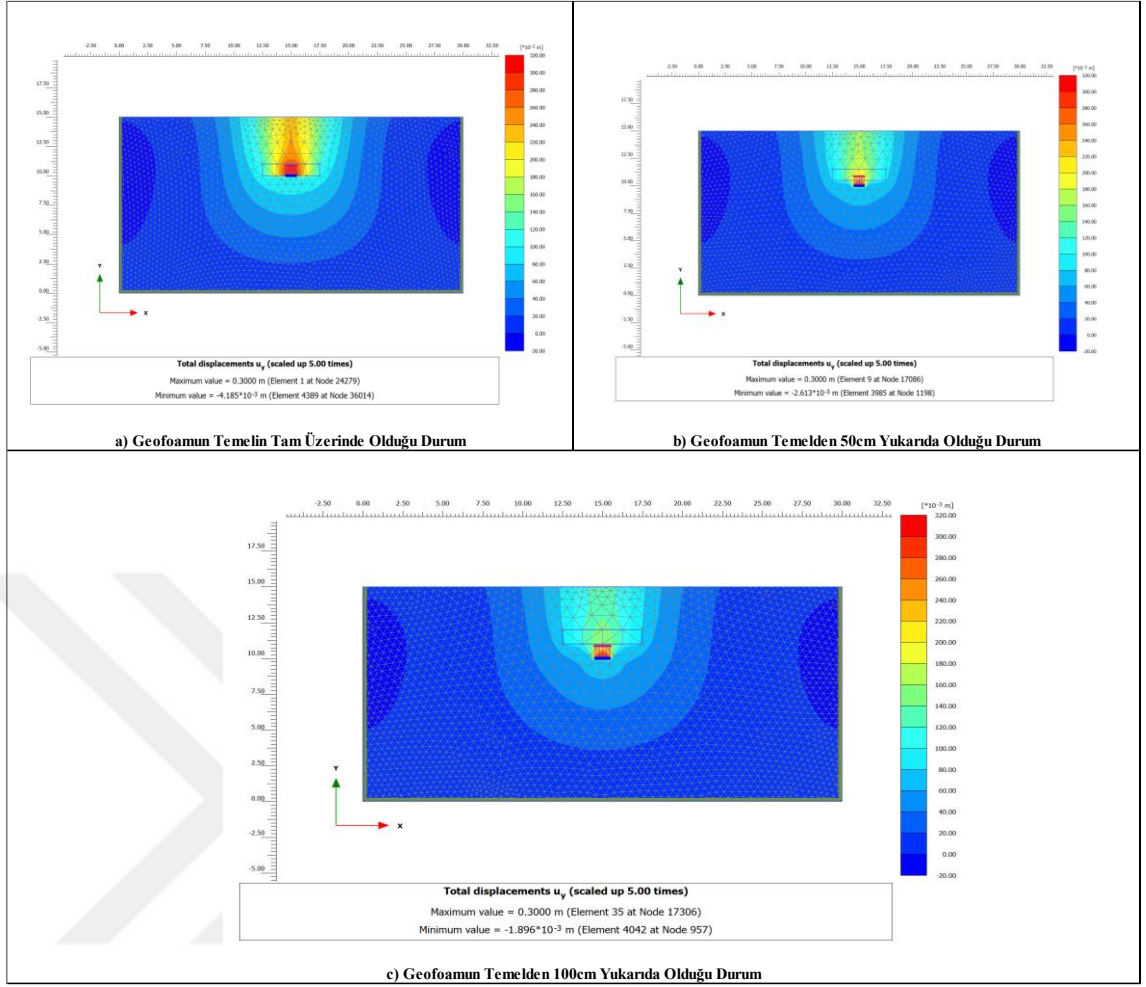
Şekil 51. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (100cm $H/B=5$)

100 cm kalınlığında geofoam malzemesinin üç farklı konumda bulunması durumunda ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 51’de sunulmuştur. Şekil 51 incelendiğinde en yüksek çekme kapasitesi oranına geofoamun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geofoamun temelden 100 cm yukarıda olması durumunda çekme kapasitesi oranının geofoamsuz durumdaki çekme kapasitesi oranına oldukça yaklaştığı görülmektedir.

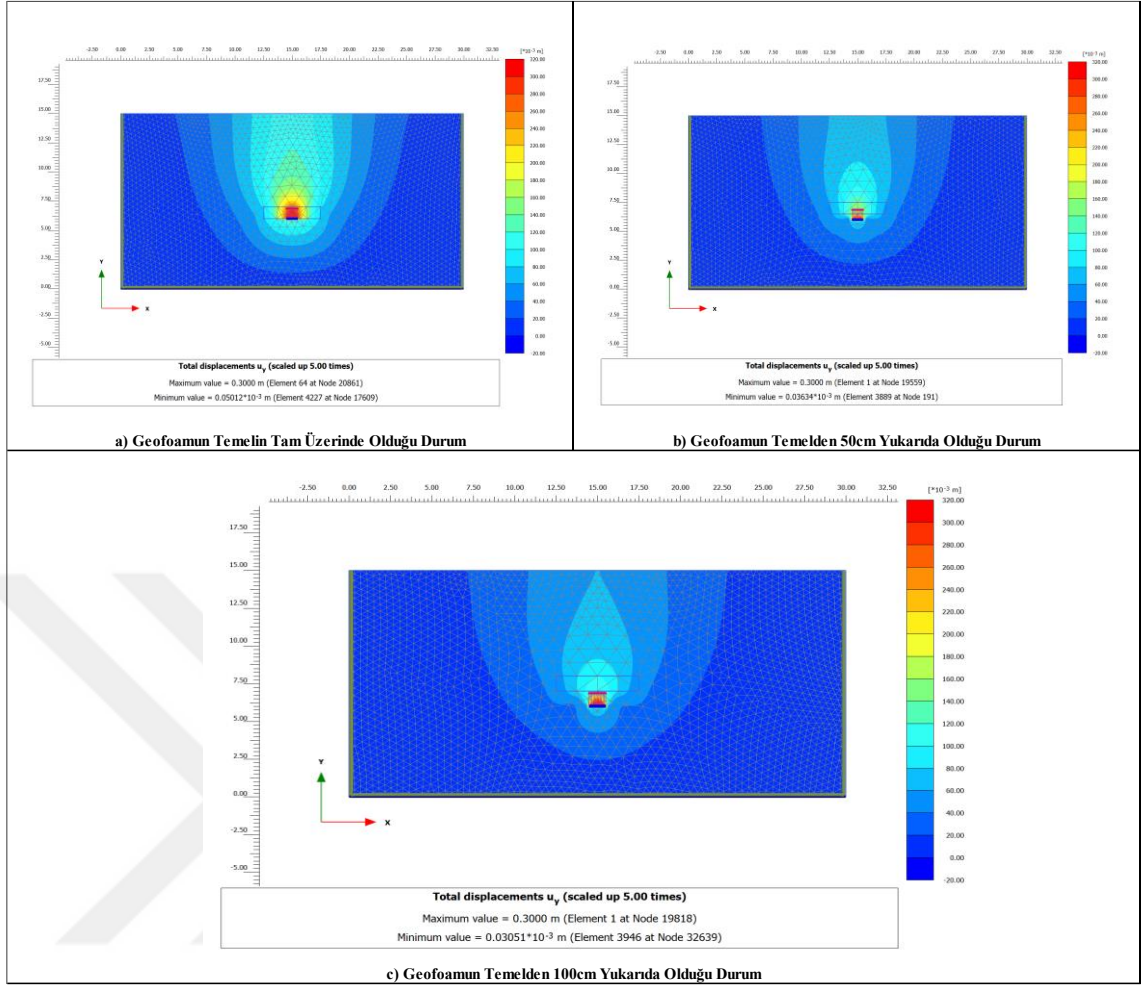


Şekil 52. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (100cm H/B=9)

100 cm kalınlığında geofoam malzemesinin üç farklı konumda bulunması durumunda ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 52’de sunulmuştur. Şekil 52 incelendiğinde en yüksek çekme kapasitesi oranına geofoamun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geofoamun temelden 100 cm yukarıda olması durumunda çekme kapasitesi oranının geofoamsuz durumdaki çekme kapasitesi oranına oldukça yaklaştığı görülmektedir.



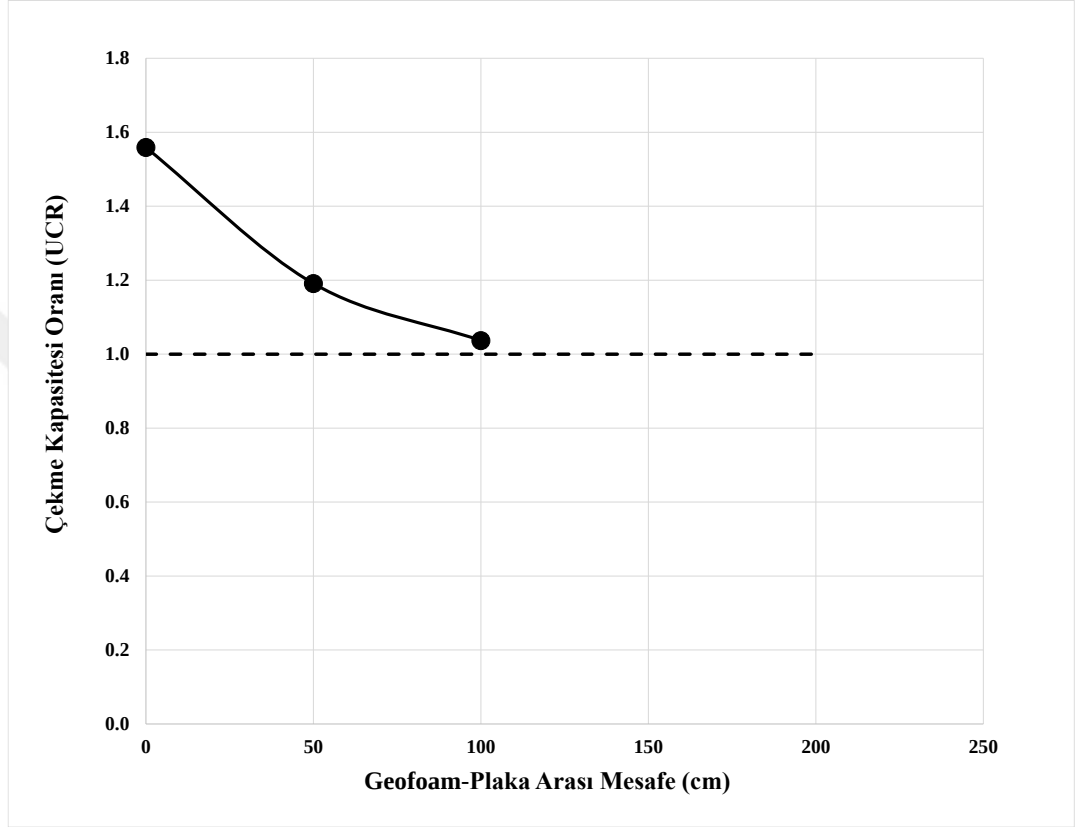
Şekil 53. H/B=5 Olması Durumu



Şekil 54. H/B=9 Olması Durumu

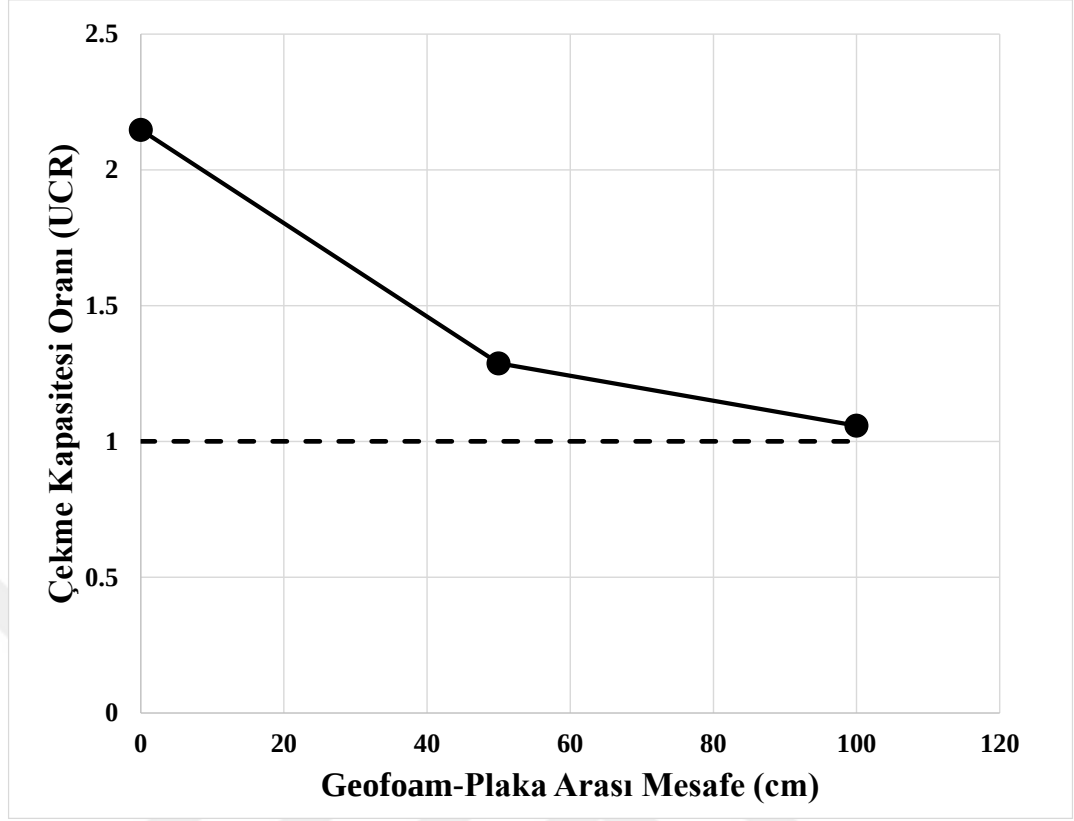
3.4.3. 150 cm Geofoam Kalınlığında Yapılan Analizler

Şekil 57 ve Şekil 58’de iki farklı gömülme derinliğinde ($H/B=5$ ve 9) 150 cm kalınlığındaki geofoam malzemesinin temelin tam üzerinde, temelden 50 cm yukarıda ve temelden 100 cm yukarıda olması durumunda yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır.



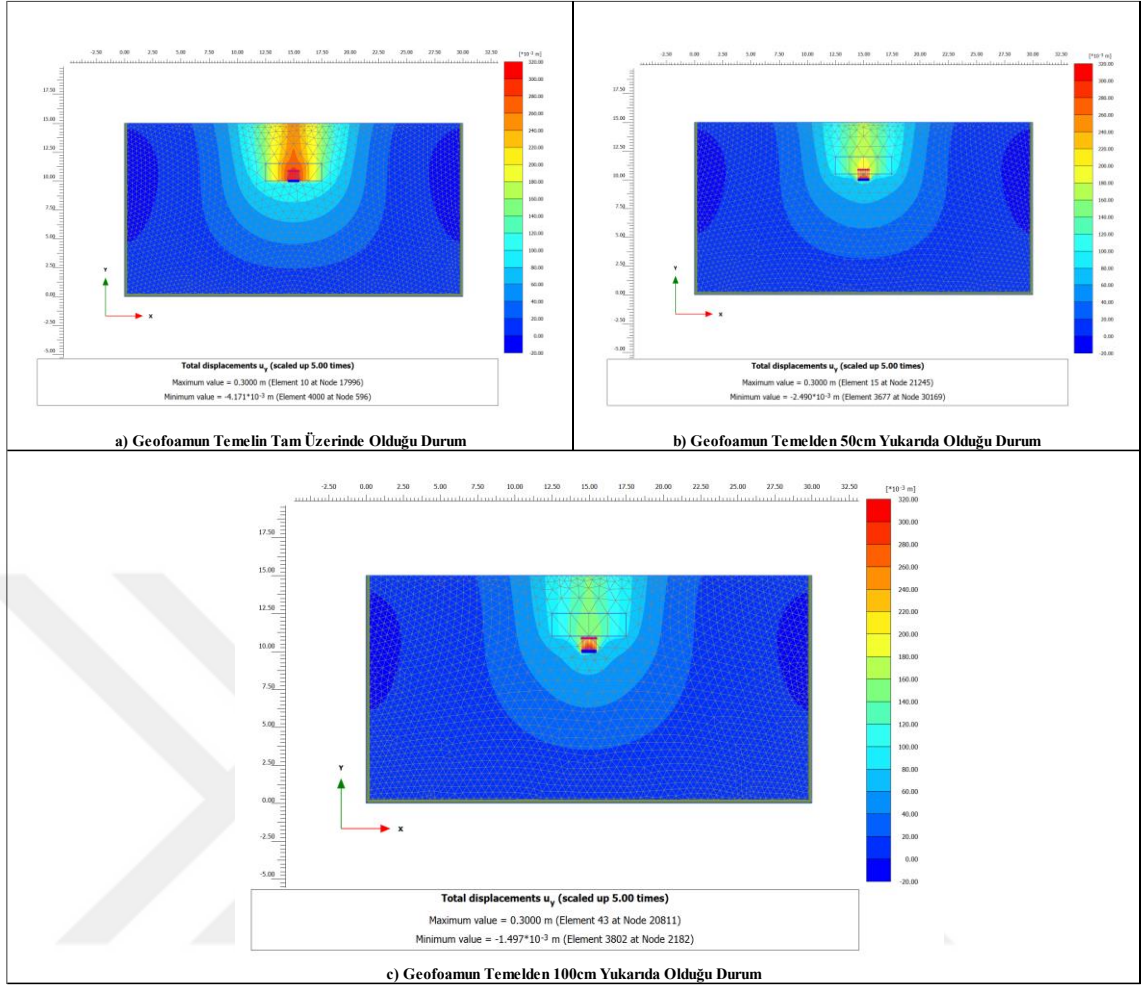
Şekil 55. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (150cm $H/B=5$)

150 cm kalınlığında geofoam malzemesinin üç farklı konumda bulunması durumunda ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 55’te sunulmuştur. Şekil 55 incelendiğinde en yüksek çekme kapasitesi oranına geofoamun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geofoamun temelden 100 cm yukarıda olması durumunda çekme kapasitesi oranının geofoamsuz durumdaki çekme kapasitesi oranına oldukça yaklaştığı görülmektedir.

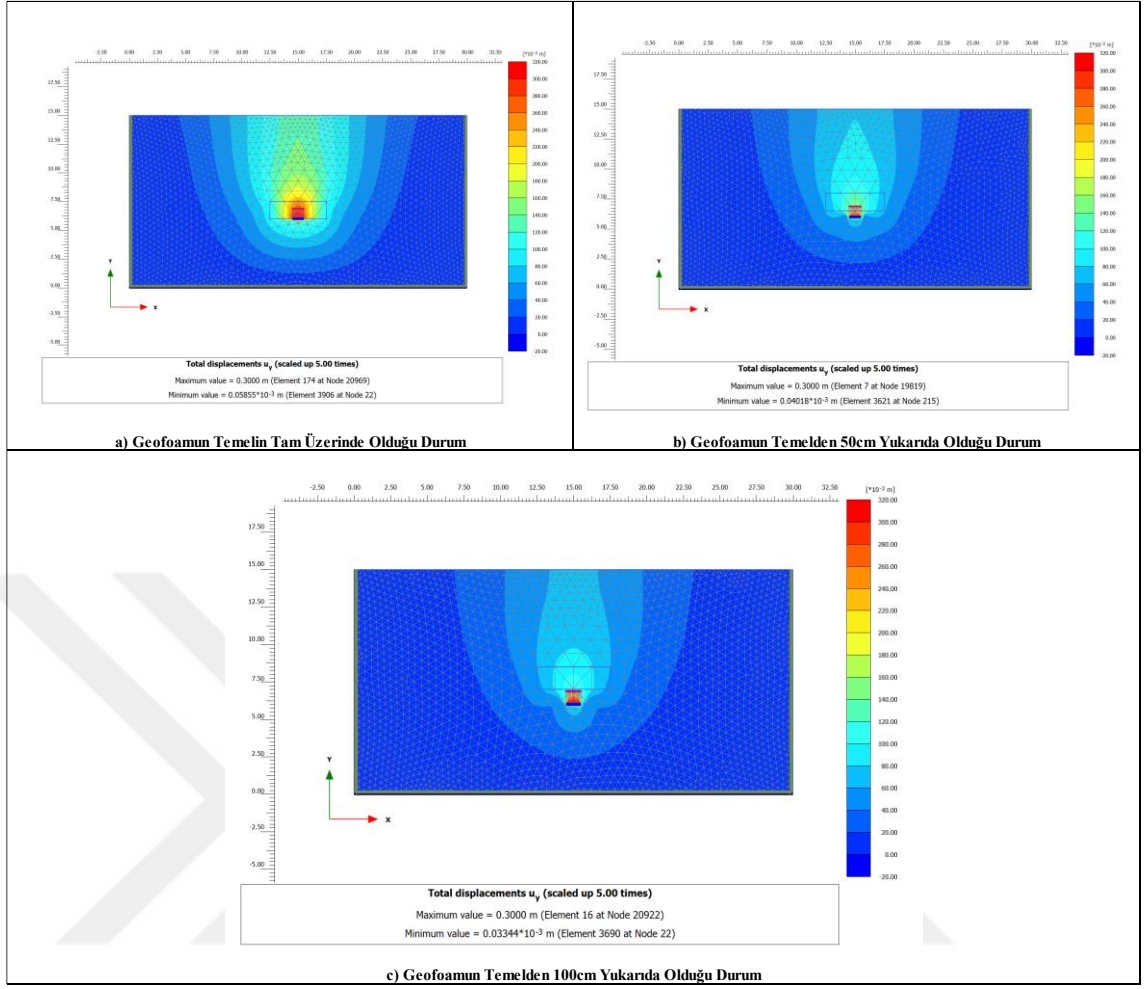


Şekil 56. Geofoam-Temel Arası Mesafe- Çekme Kapasitesi Oranı (150cm H/B=9)

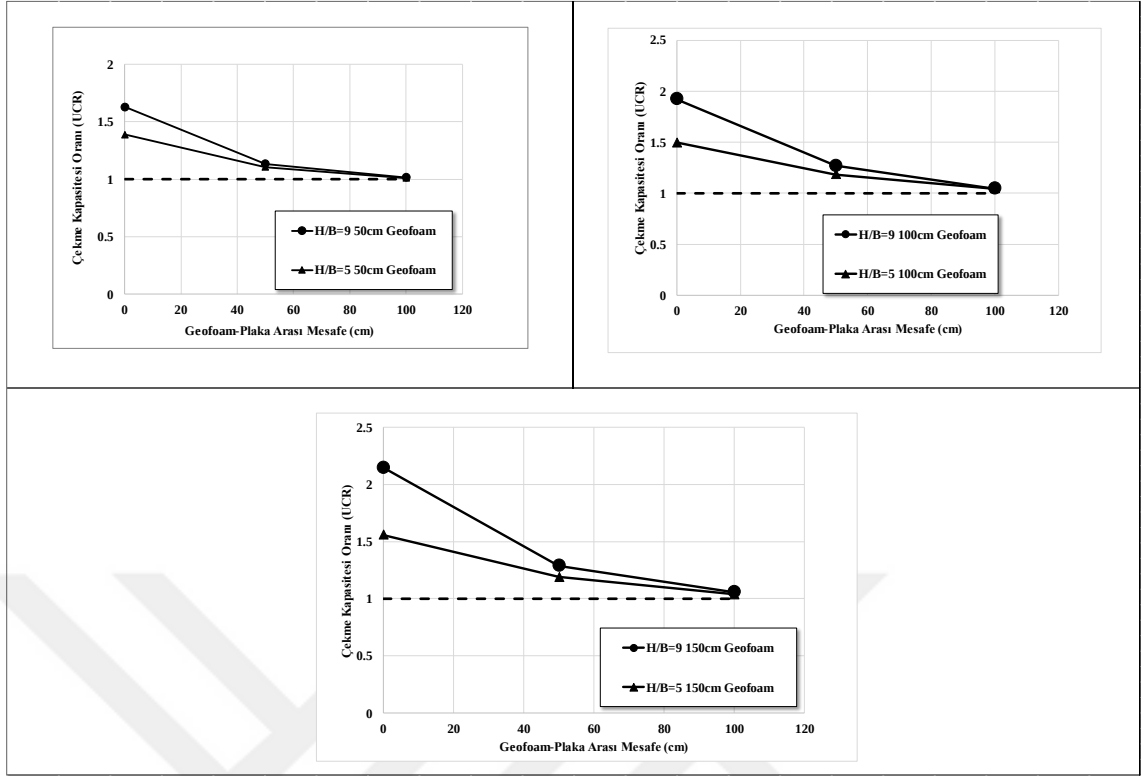
150 cm kalınlığında geofoam malzemesinin üç farklı konumda bulunması durumunda ulaşılan çekme kapasitesi oranları Şekil 56’da sunulmuştur. Şekil 56 incelendiğinde en yüksek çekme kapasitesi oranına geofoamun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca geofoamun temelden 100 cm yukarıda olması durumunda çekme kapasitesi oranının geofoamsuz durumdaki çekme kapasitesi oranına oldukça yaklaştığı görülmektedir.



Şekil 57. H/B=5 Olması Durumu



Şekil 58. H/B=9 Olması Durumu



Şekil 59. Geofoam Konumu- Gömülme Derinliği

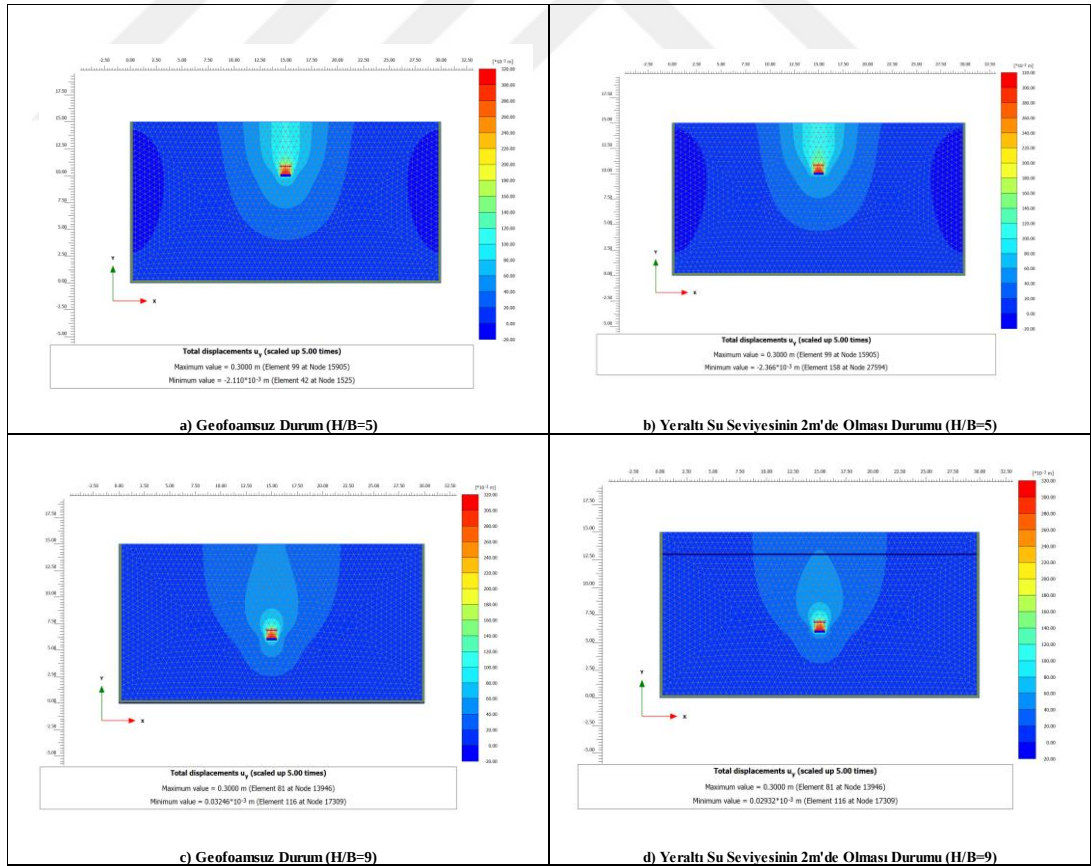
Geofoam konumunun temel çekme kapasitesine oranı üç farklı geofoam kalınlığı için toplu olarak incelendiğinde maksimum çekme kapasitesi oranına 150 cm geofoam kalınlığında ve geofoam konumunun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca geofoamun temelden 100 cm yukarıda konumlandırılması durumunda geofoam malzemesinin temel çekme kapasitesi oranına neredeyse bir etki sağlamadığı gözlemlenmiştir. Geofoam gömülme derinliği ve konumu beraber değerlendirildiğinde üç geofoam kalınlığında da gömülme derinliğinin artması durumunun çekme kapasitesi oranını arttırdığı ve geofoam konumunun temelden 100cm yukarıda olması durumunda çekme kapasitesi oranının geofoamsuz duruma oldukça yaklaştığı görülmüştür. Buna göre geofoam konumunun temel çekme kapasitesi oranına doğrudan etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

3.5. Yer Altı Su Seviyesinin Çekme Kapasitesine Etkisi

Bu bölümde yapılan analizlerde geofoam ile iyileştirilen bir zeminde yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Bu amaçla geofoamsuz analizler kuru ve yer altı su seviyesinin yüzeyden itibaren 2 metre derinde olması durumunda gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizlerde iki farklı gömülme derinliği ($H/B=5$ ve 9) incelenmiş olup geofoam malzemesi elastisite modülü 10000 kN/m^2 olarak belirlenmiştir. Ayrıca geofoam malzemesi temelin tam üzerinde konumlandırılıp 50 cm, 100 cm ve 150 cm geofoam kalınlıklarında analizler gerçekleştirilip yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi gözlemlenmiştir.

3.5.1. Geofoamsuz Analizler

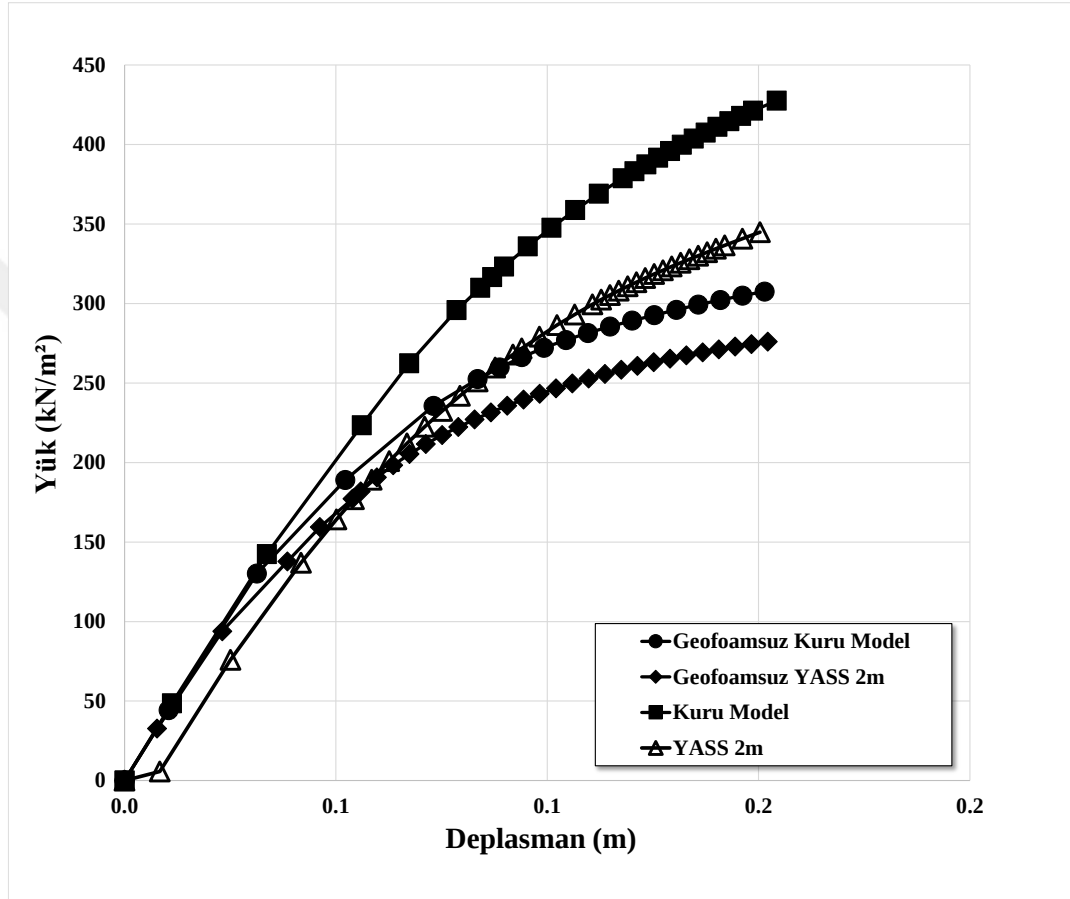
Şekil 60'ta geofoamsuz durumda yapılan analiz sonuçları sunulmaktadır. Sırasıyla $H/B=5$ ve $H/B=9$ gömülme derinliklerinde yer altı su seviyesinin 2 metre derinlikte olması durumunda ve kuru durumda dört farklı analiz yapılmıştır.



Şekil 60. Geofoamsuz Analizler

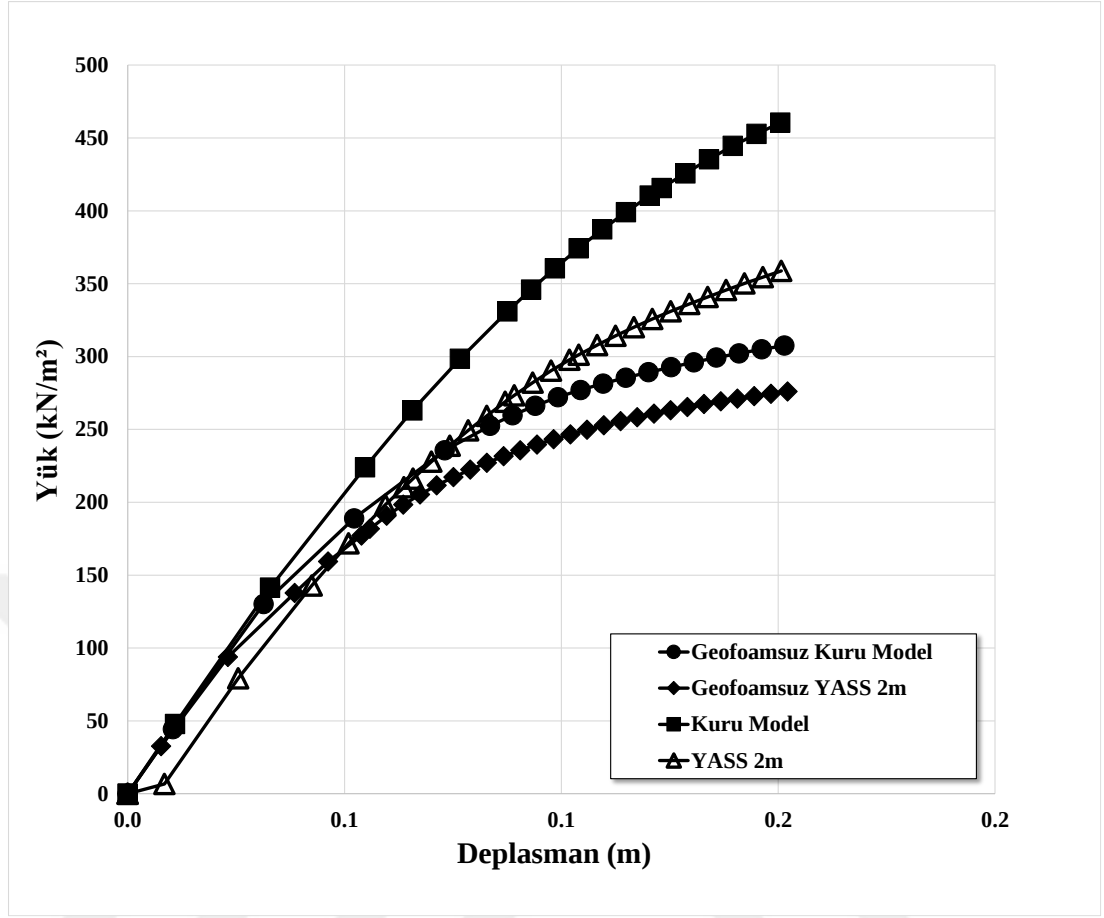
3.5.2. Gefoamlu Analizler (H/B=5)

Şekil 64'te sırasıyla 50 cm, 100 cm ve 150 cm kalınlığında gefoam malzemesinin H/B=5 gömülme derinliğinde ve temelin tam üzerinde konumlandırılması durumunda yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisinin incelendiği analiz sonuçları sunulmaktadır.



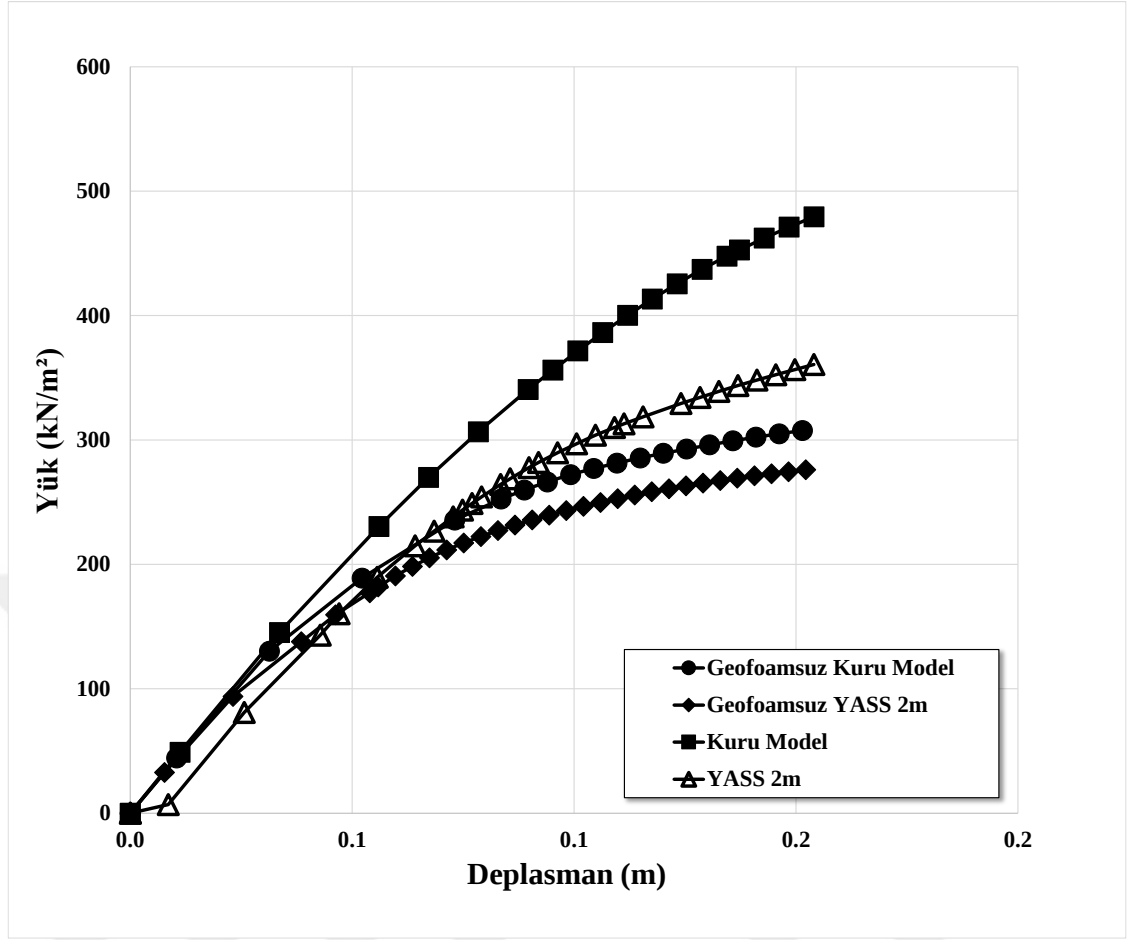
Şekil 61. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (50cm Gefoam H/B=5)

Şekil 61'de gefoamsuz modeller ve 50 cm kalınlığında gefoamlu modeller için yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi karşılaştırılmıştır. Yük-deplasman eğrilerinde görüldüğü üzere gefoamsuz modellerde yer altı su seviyesinin 2 m derinlikte olması durumu nihai çekme kapasitesini 300 kN/m²'den 270 kN/m²'ye geriletmektedir. Gefoamlu modeller incelendiğinde nihai çekme kapasitesinin 420 kN/m²'den 340 kN/m²'ye düştüğü gözlenmiştir.



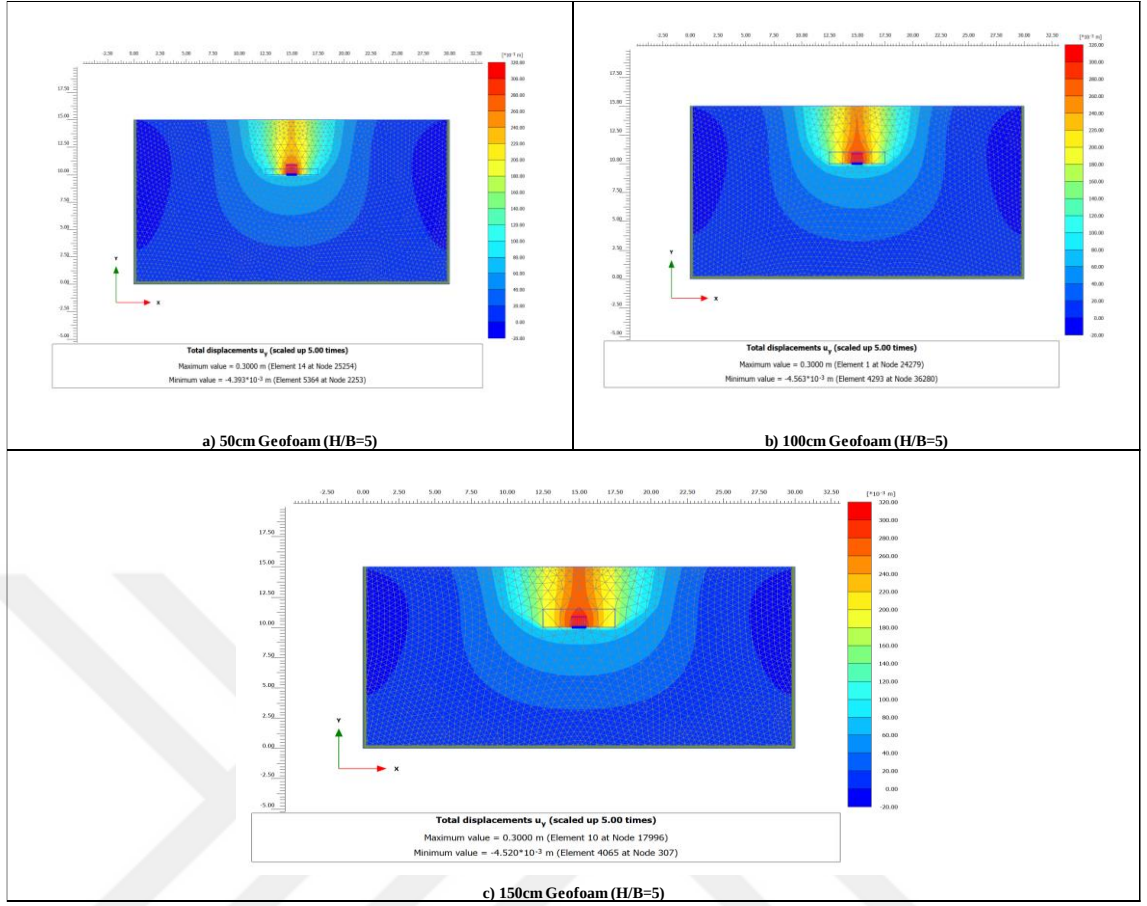
Şekil 62. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (100cm Geofoam H/B=5)

Şekil 62’de geofoamsuz modeller ve 100 cm kalınlığında geofoamlu modeller için yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi karşılaştırılmıştır. Yük-deplasman eğrilerinde görüldüğü üzere geofoamsuz modellerde yer altı su seviyesinin 2 m derinlikte olması durumu nihai çekme kapasitesini 300 kN/m²’den 270 kN/m²’ye geriletmektedir. Geofoamlu modeller incelendiğinde nihai çekme kapasitesinin 460 kN/m²’den 350 kN/m²’ye düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 63. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (150cm Geofoam)

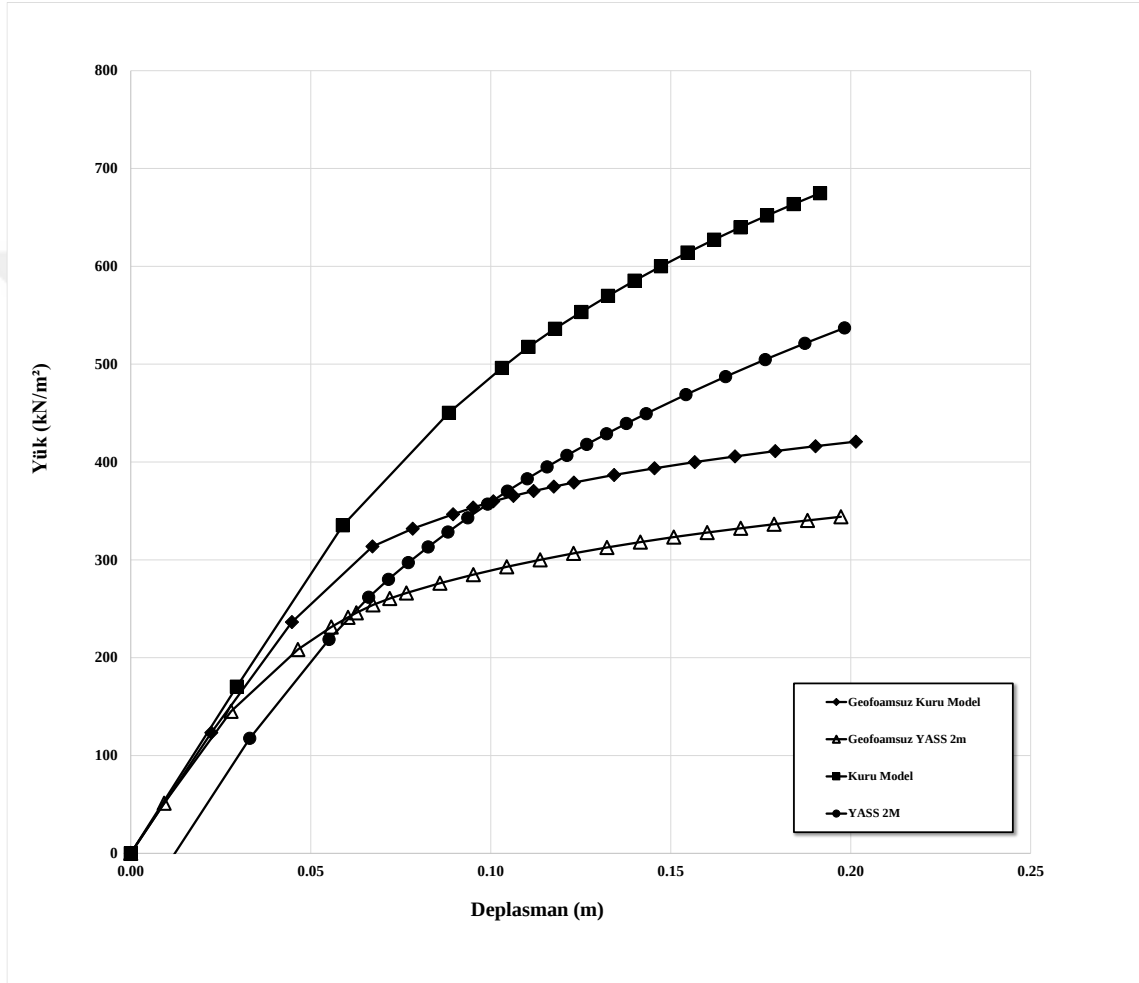
Şekil 63'te geofoamsuz modeller ve 150 cm kalınlığında geofoamlu modeller için yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi karşılaştırılmıştır. Yük-deplasman eğrilerinde görüldüğü üzere geofoamsuz modellerde yer altı su seviyesinin 2 m derinlikte olması durumu nihai çekme kapasitesini 300 kN/m²'den 270 kN/m²'ye geriletmektedir. Geofoamlu modeller incelendiğinde nihai çekme kapasitesinin 480 kN/m²'den 356 kN/m²'ye düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 64. Üç Farklı Geofoam Kalınlığında YASS Bulunması Durumu (H/B=5)

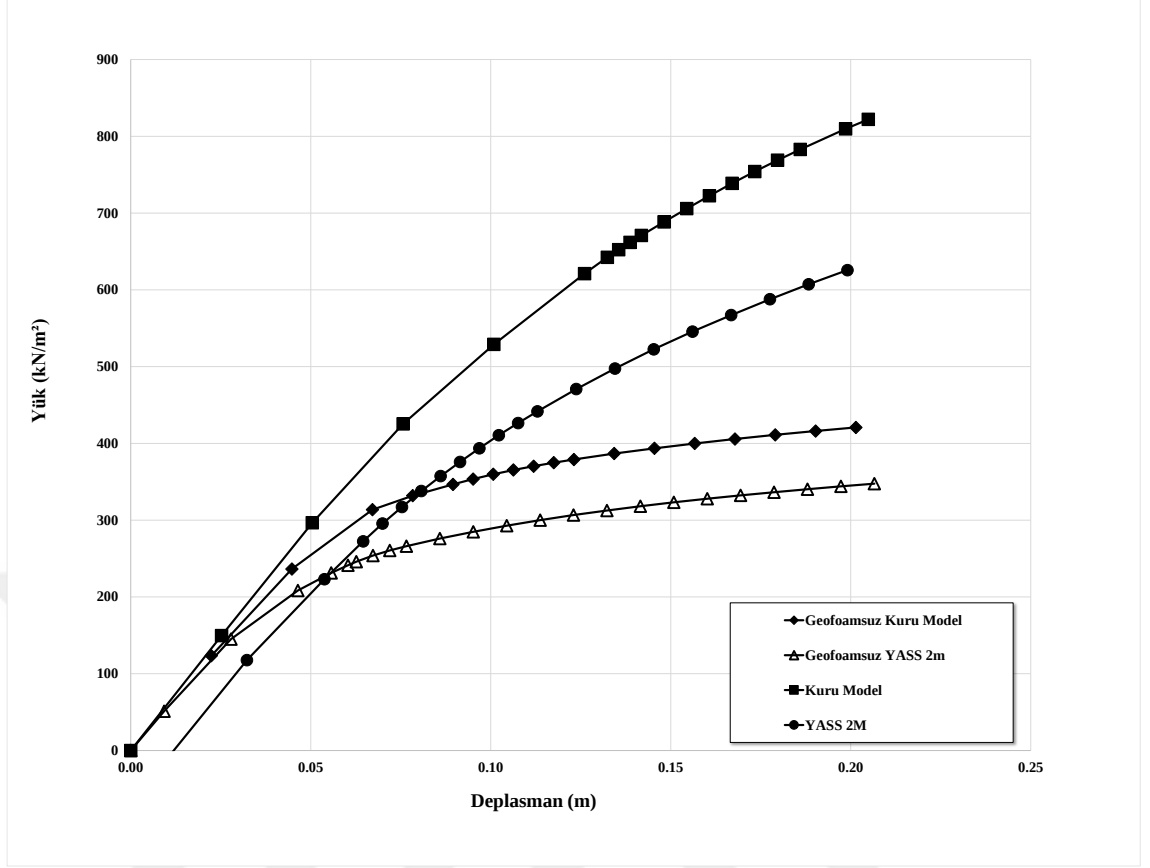
3.5.3. Geofoamlu Analizler (H/B=9)

Şekil 68’de sırasıyla 50 cm, 100 cm ve 150 cm kalınlığında geofoam malzemesinin H/B=9 gömülme derinliğinde ve temelin tam üzerinde konumlandırılması durumunda yer altı su seviyesinin temel taşıma kapasitesine etkisinin incelendiği analiz sonuçları sunulmaktadır.



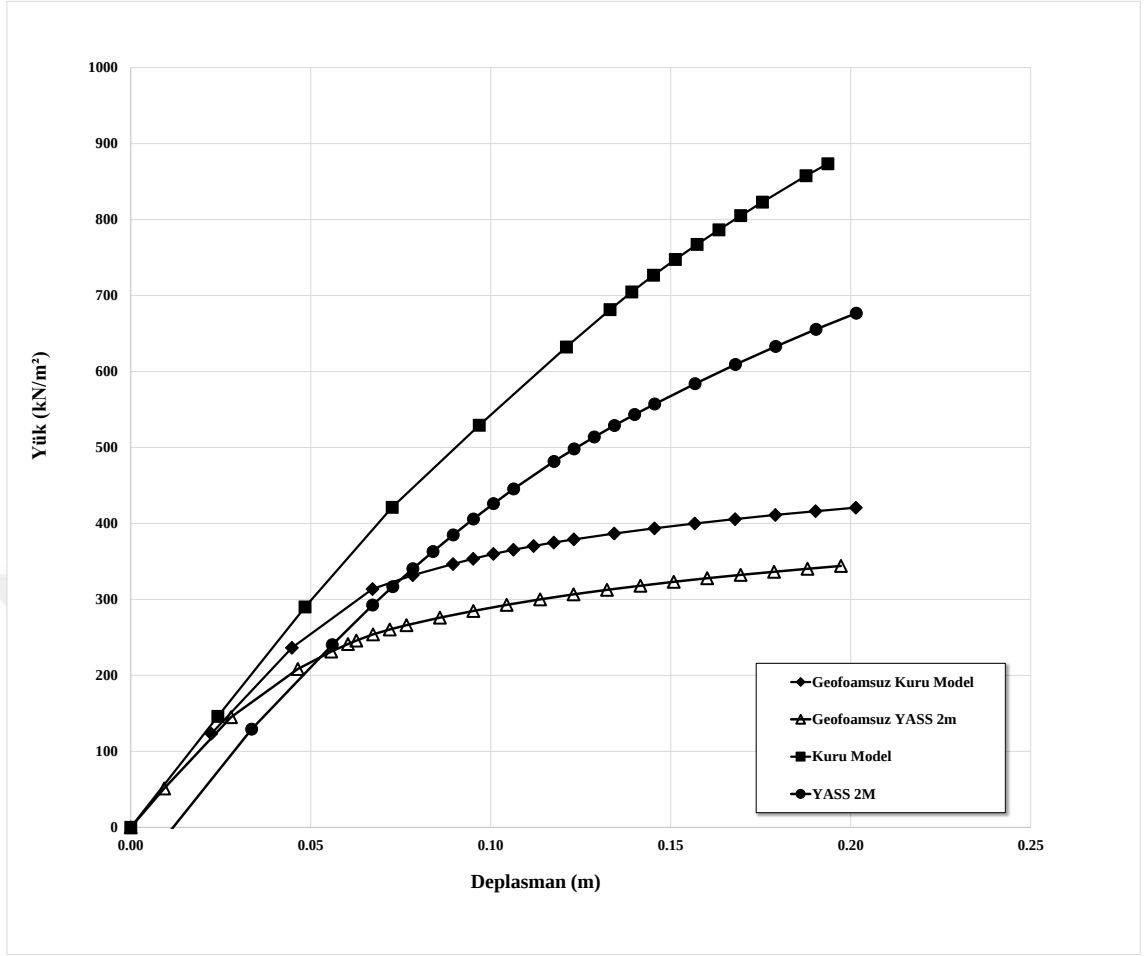
Şekil 65. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (50cm Geofoam H/B=9)

Şekil 65’te geofoamsuz modeller ve 50 cm kalınlığında geofoamlu modeller için yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi karşılaştırılmıştır. Yük-deplasman eğrilerinde görüldüğü üzere geofoamsuz modellerde yer altı su seviyesinin 2 m derinlikte olması durumu nihai çekme kapasitesini 410 kN/m²’den 320 kN/m²’ye geriletmektedir. Geofoamlu modeller incelendiğinde nihai çekme kapasitesinin 680 kN/m²’den 530 kN/m²’ye düştüğü gözlenmiştir.



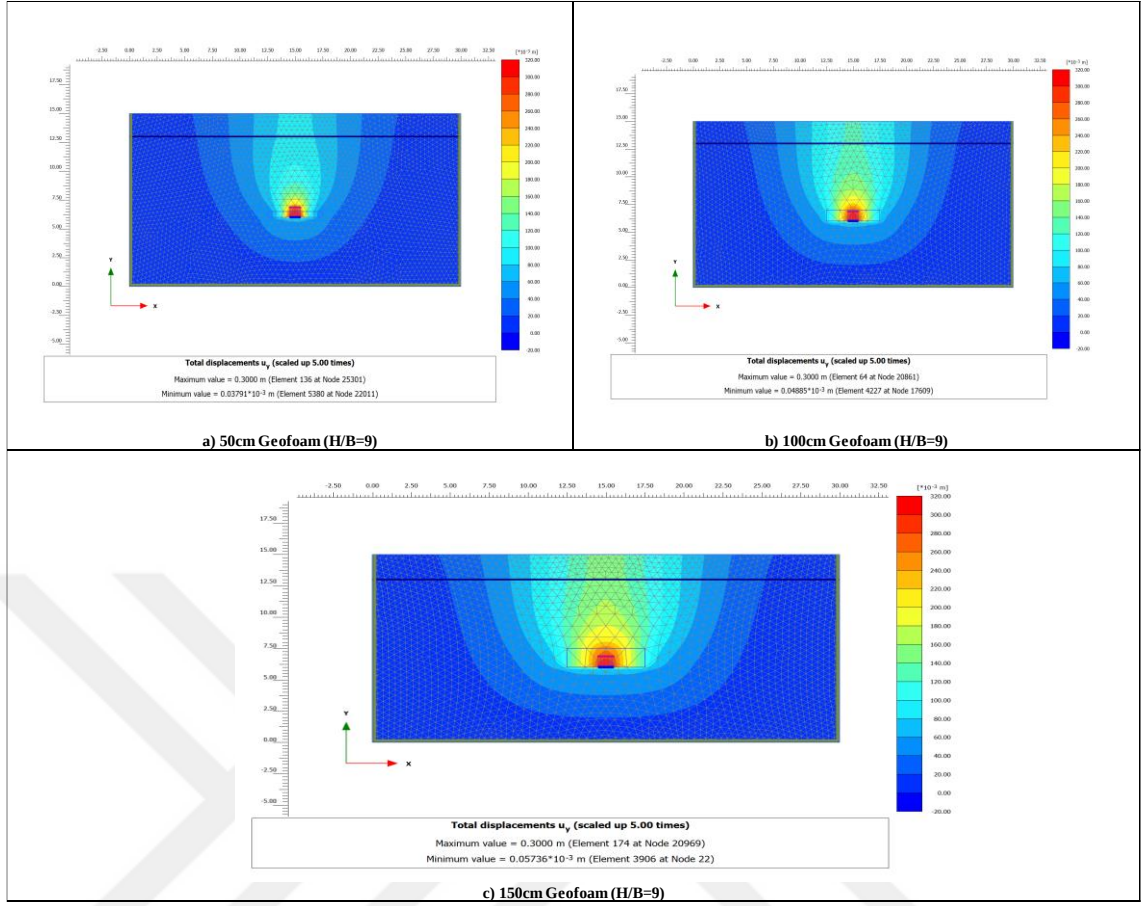
Şekil 66. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (100cm Geofoam H/B=9)

Şekil 66’da geofoamsuz modeller ve 100 cm kalınlığında geofoamlu modeller için yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi karşılaştırılmıştır. Yük-deplasman eğrilerinde görüldüğü üzere geofoamsuz modellerde yer altı su seviyesinin 2 m derinlikte olması durumu nihai çekme kapasitesini 410 kN/m²’den 330 kN/m²’ye geriletmektedir. Geofoamlu modeller incelendiğinde nihai çekme kapasitesinin 810 kN/m²’den 620 kN/m²’ye düştüğü gözlenmiştir.

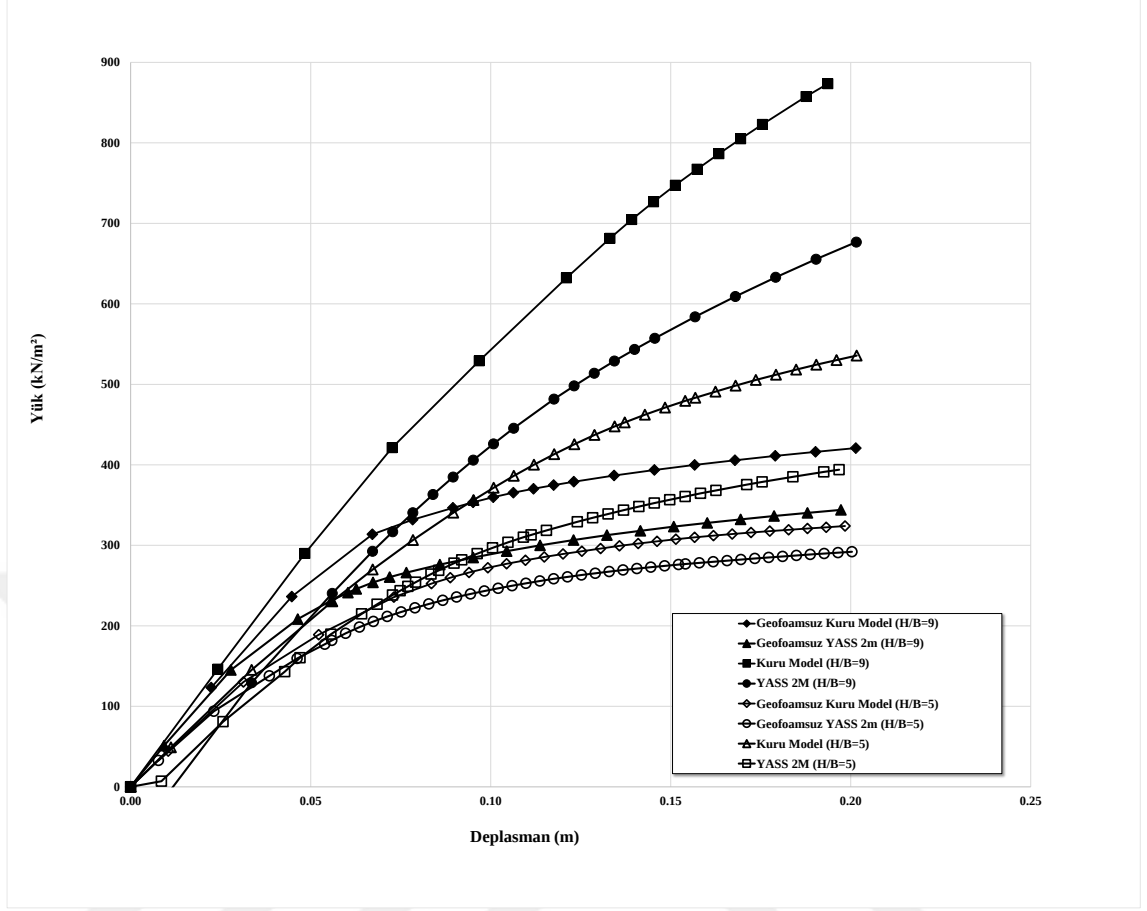


Şekil 67. YASS Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (150cm Geofoam H/B=9)

Şekil 67’de geofoamsuz modeller ve 150 cm kalınlığında geofoamlu modeller için yer altı su seviyesinin temel çekme kapasitesine etkisi karşılaştırılmıştır. Yük-deplasman eğrilerinde görüldüğü üzere geofoamsuz modellerde yer altı su seviyesinin 2 m derinlikte olması durumu nihai çekme kapasitesini 410 kN/m²’den 340 kN/m²’ye geriletmektedir. Geofoamlu modeller incelendiğinde nihai çekme kapasitesinin 880 kN/m²’den 770 kN/m²’ye düştüğü gözlenmiştir.



Şekil 68. Üç Farklı Geofoam Kalınlığında YASS Bulunması Durumu (H/B=9)



Şekil 69. YASS ve Gömülme Derinliği Etkisi Yük-Deplasman Eğrileri (150cm Geofoam)

Şekil 69’da 150cm kalınlığında geofoam kullanılması durumunda iki farklı gömülme derinliğinde yer altı su seviyesinin nihai çekme kapasitesine etkisi incelenmiştir. Geofoamlu modellerde sabit yer altı su seviyesi derinliğinde (2m) gömülme derinliğinin artmasıyla beraber nihai çekme kapasitesinde artış olduğu görülmektedir.

Yer altı su seviyesinin nihai çekme kapasitesine etkisi incelendiğinde geofoamlu durumlarda tüm geofoam kalınlıkları için YASS bulunması durumunun nihai çekme kapasitesini bir miktar düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Buna göre yer altı suyunun sistemde var olmasının çekme kapasitesini doğrudan etkilediği görülmektedir.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM: SONUÇLAR

4.1.Sonuçlar

Bu tez çalışması çekme kuvvetine maruz kalan ankraj plakalarının davranışı Plaxis 2D sonlu elemanlar programı kullanılarak araştırılmıştır. Çalışma kapsamında kil zemin içinde ankraj gömülme derinliği etkisi araştırılmıştır. Ayrıca geri dolgu malzemesi olarak geofoam malzemesi kullanılması durumunda ankraj plakasının davranışı incelenmiştir. Çalışmada geofoam kalınlıkları, geofoam malzemesinin elastisite modülü, geofoam konumu, farklı gömülme derinlikleri ve yer altı suyunun bulunması gibi parametrelerin değişmesi durumunda nihai taşıma kapasitesi ve taşıma kapasitesi oranında açığa çıkan farklar toplu olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Üç farklı geofoam kalınlığının taşıma kapasitesine etkisi incelendiğinde, geofoamsuz analiz sonucuna en yakın durumun geofoam kalınlığının 50 cm olması durumu olduğu gözlenmektedir. Ayrıca geofoam kalınlığının artması durumunun taşıma kapasitesi oranını 1.0'den 1.56'ya çıkardığı görülmüştür. Kalınlığın artmasıyla temel taşıma kapasitesi oranı da artmaktadır. Geofoam kalınlığı ve geofoam gömülme derinliği birlikte değerlendirildiğinde gömülme derinliği ve kalınlığın artması durumunun sistemin nihai taşıma kapasitesini arttırdığı sonucuna varılmıştır.
- Üç farklı geofoam kalınlığı ve üç farklı geofoam malzemesi kullanılması durumu toplu olarak incelendiğinde, üç farklı geofoam malzemesinde de kalınlığın artması durumunun temel taşıma kapasitesi oranına olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca geofoam malzemesi elastisite modülünün 5000 kN/m²'den 10000 kN/m²'ye çıkması durumunda taşıma kapasitesinin de arttığı görülmektedir.
- Geofoam konumunun temel taşıma kapasitesine oranı üç farklı geofoam kalınlığı ve iki farklı gömülme derinliği için toplu olarak incelendiğinde maksimum taşıma kapasitesi oranına 150 cm geofoam kalınlığında ve geofoam konumunun temelin tam üzerinde olması durumunda ulaşıldığı görülmektedir. Ayrıca geofoamun temelden 100 cm yukarıda konumlandırılması durumunda geofoam malzemesinin temel taşıma kapasitesi oranına neredeyse bir etki sağlamadığı gözlemlenmiştir.

Buna göre geofoam konumunun temel taşıma kapasitesi oranına doğrudan etkisi olduğu sonucuna varılmıştır.

- Üç farklı kalınlığa sahip geofoam malzemelerinin 3 farklı elastisite modülünde kullanılması durumundaki toplu temel taşıma kapasitesi oranı incelendiğinde geofoam kalınlığı ve elastisite modülünün temel taşıma kapasitesi oranına doğrudan etkisi olduğu görülmektedir. Üç farklı geofoam malzemesinde de kalınlığın artması durumunun temel taşıma kapasitesi oranına olumlu yönde etkisi olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca geofoam malzemesi elastisite modülünün 5000 kN/m²'den 10000 kN/m²'ye çıkması durumunda taşıma kapasitesinin de arttığı görülmektedir.
- Yer altı su seviyesinin ve gömülme derinliğinin nihai taşıma kapasitesine etkisi incelendiğinde geofoamlu durumlarda tüm geofoam kalınlıkları için YASS bulunması durumunun nihai taşıma kapasitesini bir miktar düşürdüğü sonucuna varılmıştır. Buna göre yer altı suyunun sistemde var olmasının taşıma kapasitesini doğrudan etkilediği görülmektedir.
- Geofoam malzemesinin zemin iyileştirmesine olan katkısını incelemek amacıyla birtakım analizler gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla geofoamun olmadığı durumda temel farklı gömülme derinliklerinde konumlandırılıp (H/B= 5, 6, 7, 8 ve 9) nihai taşıma kapasiteleri elde edilmiştir. Elde edilen nihai taşıma kapasiteleri üç farklı kalınlıkta geofoam kullanılması durumu ile karşılaştırıldığında en yüksek taşıma kapasitesine 150 cm kalınlığındaki geofoam ile ulaşıldığı görülmektedir. Fakat 100cm kalınlığında yapılan analiz ile çok büyük farklar ortaya çıkmamıştır. Temel gömülme derinliği geofoam kullanımı ile azaltılabilmektedir. Tüm geofoam kalınlıklarında elde edilen nihai taşıma kapasitelerinin geofoamsuz durumda en büyük H/B gömülme oranında elde edilen sonuçları aştığı görülmüştür. 150 cm kalınlığında geofoam kullanılması durumu önemli bir fark yaratmamıştır. Dolayısıyla sistemin optimum çalıştığı durumun 100cm kalınlığında geofoam kullanılması durumu olduğu görülmüştür.

4.2. Gelecek Çalışmalar İçin Öneriler

Gelecek çalışmalarda ankraj plakaları ile ilgili aşağıdaki çalışma önerilerinin literatüre katkısı olacaktır.

- Geofoam ve geogridin birlikte kullanıldığı çalışmalar yapılabilir.
- Tekrarlı yükler altındaki davranış incelenebilir.
- Farklı zemin koşulları ve farklı geometriler için üç boyutlu analizler yapılarak boyut etkisi incelenebilir.



KAYNAKLAR

- Akınay, E. ve Kılıç, H. (2019). Improving the behavior of buried HDPE pipe by using EPS geofoam. In 5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: *Proceedings of EPS 2018* (pp. 129-147). Springer International Publishing.
- Al-Naddaf, M., Han, J., Xu, C. ve Rahmaninezhad, S. M. (2019). Effect of geofoam on vertical stress distribution on buried structures subjected to static and cyclic footing loads. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(1), 04018027.
- Bildik, S., Dickin, E. A., Keskin, M. S., Ilamparuthi, K. ve Laman, M. (2023). Centrifuge model tests and numerical analysis of uplift capacity of strip anchors in geogrid-reinforced sand. *Applied Sciences*, 13(7), 4182.
- Keskin, M. S., (2009). *Güçlendirilmiş kumlu şevlere oturan yüzeysel temellerin deneysel ve teorik analizi*. Doktora tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Khalaj, O., Azizian, M., Tafreshi, S. M. ve Mašek, B. (2017). Laboratory investigation of buried pipes using geogrid and EPS geofoam block. In *IOP conference series: earth and environmental science* (Vol. 95, No. 2, p. 022002). IOP Publishing.
- Khan, M. I. ve Meguid, M. A. (2018). Experimental investigation of the shear behavior of EPS geofoam. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 4, 1-12.
- Kumar, A., Ahirwar, S. K. ve Mandal, J. N. (2020). Behavior of box culvert with geofoam as a backfill material in Highway. *Transportation Research Procedia*, 48, 3642-3647.
- Niroumand, H., Kassim, K. A. ve Nazir, R. (2013). The influence of soil reinforcement on the uplift response of symmetrical anchor plate embedded in sand. *Measurement*, 46(8), 2608-2629.
- Puppala, A. J., Ruttanaporamakul, P., Bheemasetti, T. V. ve Shafikhani, A. (2019). Laboratory and field investigations on geofoam. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 10(1), 04018036.
- Umashankar, B., Mouli, S. S. ve Hariprasad, C. (2015). Settlement of embankment constructed with geofoam. In *IFCEE 2015* (pp. 161-170).
- Vaslestad, J., Bartlett, S. F., Aabøe, R., Burkart, H., Ahmed, T. ve Arellano, D. (2019). Bridge foundations supported by EPS geofoam embankments on soft soil. *5th International Conference on Geofoam Blocks in Construction Applications: Proceedings of EPS 2018* (pp. 281-294). Springer International Publishing.

- Tarek, M. F., Bahr, M. A., Hassan, A. A. ve Hassaan, D. M. (2018). Behavior and modeling of some underground utilities using geofoam technologies. *Life Science Journal*, 15(9).
- Wang, J. ve Huang, J. (2021). Soil pressure reduction by including geofoam: a numerical study. *International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering*, 7(2), 25.
- Witthoeft, A. F. ve Kim, H. (2016). Numerical investigation of earth pressure reduction on buried pipes using EPS geofoam compressible inclusions. *Geosynthetics International*, 23(4), 287-300.

