

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİN KAZILARDA YANAL YÜKE MARUZ İKSA
SİSTEMLERİNİN PARAMETRİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih BÜYÜKGÖKÇE

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ
Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK
Tez Danışmanı : Doç. Dr. Ertan BOL

Kasım 2018

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DERİN KAZILARDA YANAL YÜKE MARUZ İKSA
SİSTEMLERİNİN PARAMETRİK ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Fatih BÜYÜKGÖKÇE

Enstitü Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : GEOTEKNİK

Bu tez 30.11.2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği / oyçokluğu ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Ertan BOL

Jüri Başkanı

Doç. Dr. Sedat SERT

Üye

**Dr. Öğr. Üyesi İsa
VURAL**

Üye

BEYAN

Tez içindeki tüm verilerin akademik kurallar çerçevesinde tarafımdan elde edildiğini, görsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uygun şekilde sunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezde yer alan verilerin bu üniversite veya başka bir üniversitede herhangi bir tez çalışmasında kullanılmadığını beyan ederim.

Fatih BÜYÜKGÖKÇE

06.11.2018

TEŞEKKÜR

Sakarya Üniversitesi yüksek lisans eğitimim boyunca her zaman bilgi ve birikimlerinden faydalandığım, zorlu eğitim dönemlerinde bana destek olan, benimle tecrübelerini paylaşan, bana yol gösteren, geoteknik alanında kendimi geliştirmemde tüm içtenliğiyle bana yardım eden ve eğitim hayatı dışında da örnek kişiliğiyle dikkat çeken çok değerli danışman hocam Doç. Dr. Ertan BOL'a teşekkürlerimi sunarım.

Yine Sakarya Üniversitesi geoteknik çalışma grubu çatısı altında en az danışman hocam kadar bana yardımcı olan, beni destekleyen ve fikir alışverişinde bulunarak geoteknik alanında bana büyük katkıları olan Doç. Dr. Sedat SERT'e ve Doç. Dr. Aşkın Özocak'a tüm içtenliğimle teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	xi
ÖZET	xiii
SUMMARY	xiv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ	1
1.1. Amaç	3
1.2. Kapsam	3
BÖLÜM 2.	
KAYNAK ARAŞTIRMASI	5
BÖLÜM 3.	
MATERYAL VE YÖNTEM	11
3.1. Materyal	11
3.2. Yöntem	11
3.2.1. Derin kazılar	11
3.2.1.1. Açık kazı (serbest şevli kazı) yöntemi	13
3.2.1.2. İçten destekli kazılar	14
3.2.1.3. Kuyu tipi duvar yöntemi	17
3.2.1.4. Aç-Kapa kazı yöntemi	17
3.2.1.5. Yukarıdan aşağıya (top-down) kazı yöntemi	18

3.2.1.6. Ada kazı yöntemi	20
3.2.1.7. Anolu kazı yöntemi.....	21
3.2.1.8. Ankrajlı kazı yöntemi	22
3.2.1.8.1. Öngermeli ankrajlı kazı-destek yöntemi.....	24
3.2.1.8.2. Pasif ankrajlı (zemin çivili) kazı yöntemi.....	25
3.2.2. Derin kazı destek sistemleri	26
3.2.2.1. Diyafram duvar.....	26
3.2.2.1.1. Diyafram duvarların yapım yöntemi.....	27
3.2.2.1.2. Diyafram duvarın avantaj ve dezavantajları....	30
3.2.2.2. Palplanş (perdeler) duvarlar.....	31
3.2.2.2.1. Ahşap palplanş perdeler.....	33
3.2.2.2.2. Betonarme palplanş perdeler.....	34
3.2.2.2.3. Çelik palplanş perdeler.....	34
3.2.2.3. Kazıklı perde sistemleri.....	35
3.2.2.3.1. Aralıklı kazıklar.....	38
3.2.2.3.2. Teğet kazıklar.....	39
3.2.2.3.3. Kesişen kazıklar.....	39
3.2.2.4. Fore kazık ile alakalı standartlar ve içerikleri.....	40
3.2.3. Yanal zemin basınçları.....	45
3.2.3.1. Sükunetteki toprak basıncı.....	46
3.2.3.2. Aktif toprak basıncı.....	48
3.2.3.3. Pasif toprak basıncı.....	51
3.2.3.4. Yanal toprak basıncı teorileri.....	53
3.2.3.4.1. Rankine yanal toprak basıncı teorisi.....	53
3.2.3.4.2. Coulomb yanal toprak basıncı teorisi.....	54
3.2.3.5. Yeraltı suyunun yanal basınca etkisi.....	56
3.2.3.6. Toprak basıncına etki eden ilave yükler.....	57
3.2.3.7. Çok sıra destekli iksa sistemlerine etkiyen .basınçlar....	58
3.2.3.7.1. Soket boyu ve kazık davranışı ilişkisi.....	58
3.2.3.7.2. Kademeli kazıda yanal basınç değişimi.....	59
3.2.3.8. Farklı zeminlerde yanal toprak basıncı teorileri.....	63
3.2.4. Derin kazı destek sistemleri için hesap yöntemleri.....	66
3.2.4.1. Limit denge yöntemi.....	67

3.2.4.1.1. Güvenlik sayısı kavramı.....	67
3.2.4.2. Elastik zemine oturan kiriş yöntemi.....	69
3.2.4.3. Yarı sonlu elemanlar yöntemi.....	72
3.2.4.4. Sonlu elemanlar yöntemi.....	72
3.2.5. Plaxis programı.....	75

BÖLÜM 4.

ARAŞTIRMA BULGULARI	78
4.1. Model Geometrisi ve Özellikleri.....	78
4.2. Elastisite Modülündeki Değişimin İksa Sistemine Etkisi.....	80
4.2.1. Elastisite modülündeki değişimin yatay deplasmana etkisi.....	82
4.2.2. Elastisite modülündeki değişimin kesme kuvvetine etkisi.....	83
4.2.3. Elastisite modülündeki değişimin eğilme momentine etkisi.....	84
4.3. Yapı Zemin Ara Yüzey Katsayısındaki Değişimin İksa Sistemine Etkisi.....	85
4.3.1. Yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin yatay deplasmana etkisi.....	86
4.3.2. Yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin kesme kuvvetine etkisi.....	87
4.3.3. Yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin eğilme momentine etkisi.....	88
4.4. İçsel Sürtünme Açısındaki Değişimin İksa Sistemine Etkisi.....	89
4.4.1. İçsel sürtünme açısındaki değişimin yatay deplasmana etkisi.....	88
4.4.2. İçsel sürtünme açısındaki değişimin kesme kuvvetine etkisi.....	89
4.4.3. İçsel sürtünme açısındaki değişimin eğilme momentine etkisi...	90
4.5. Kohezyondaki Değişimin İksa Sistemine Etkisi.....	91
4.5.1. Kohezyon değerindeki değişimin yatay deplasmana etkisi.....	92
4.5.2. Kohezyon değerindeki değişimin kesme kuvvetine etkisi.....	92
4.5.3. Kohezyon değerindeki değişimin eğilme momentine etkisi.....	93

BÖLÜM 5.

TARTIŞMA VE SONUÇ	98
-------------------------	----

KAYNAKLAR	101
EKLER	104
ÖZGEÇMİŞ	149



SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

c	: Kohezyon
c_u	: Drenajsız kayma direnci
d	: Diyafram duvar kalınlığı
e	: Boşluk oranı
EA	: İmal edilen duvarın ağırlık modülü
EI	: İmal edilen duvarın rijitlik modülü
G_s	: Özgöl ağırlık
H	: Nihai kazı derinliği
I_p	: Plastisite indisi
$Is_{(50)}$	: Nokta yük dayanım indisi
K_a	: Aktif toprak basıncı katsayısı
k_v	: Düşey yatak katsayısı
M	: Eğilme momenti
M_c	: Düşey deformasyon modülü
M_v	: Hacimsel sıkışma katsayısı
n	: Porozite
N	: Normal kuvvet
N_{max}	: Maksimum normal kuvvet
OCR	: Aşırı konsolidasyon oranı
P	: Maksimum yük
P_a	: Aktif toprak basıncı
P_o	: Sükunetteki toprak basıncı
P_p	: Pasif toprak basıncı
Q	: Kesme kuvveti
q_u	: Serbest basınç dayanımı
SPT	: Standart penetrasyon deneyi

u	: Toplam yer değiştirme
U	: Boşluk suyu basıncı
u_x	: Yatay deplasman miktarı
w	: Su muhtevası
w_L	: Likit limit
w_p	: Plastik limit
w_s	: Büzölme limiti
γ	: Birim hacim ağırlık
σ'	: Efektif gerilme
σ_c	: Tek eksenli basınç direnci
σ_1	: Düşey gerilme
σ_3	: Yanal gerilme
ε	: Eksenel deformasyon
ϕ_u	: Drenajsız kayma direnci açısı
τ_f	: Kayma mukavemeti
ν	: Poisson oranı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Açık kazı (serbest şevli) yöntemi [9].....	14
Şekil 3.2. İçten destekli kazı yöntemi [10].....	15
Şekil 3.3. İçten destekli kazı iksa sistemi.....	16
Şekil 3.4. Kuyu duvar uygulaması.....	17
Şekil 3.5. Aç-kapa kazı yöntemi.....	18
Şekil 3.6. Yukarıdan aşağıya kazı yöntemi.....	19
Şekil 3.7. Ada kazı yöntemi.....	21
Şekil 3.8. Anolu kazı yöntemi [10].....	22
Şekil 3.9. Öngermeli ankrajlı sistem.....	24
Şekil 3.10. Zemin çivisi ve püskürtme beton detayı.....	26
Şekil 3.11. Diyafram duvar boy kesit ve en kesit görünüşleri.....	28
Şekil 3.12. a) Kazı yapılması b) uç tüplerin birleştirilmesi.....	29
Şekil 3.13. c) Donatı yerleştirilmesi d) beton dökümü.....	29
Şekil 3.14. Diyafram duvar imalat süreci ve aşamaları.....	30
Şekil 3.15. Yapının bir kısmını oluşturan palplanş perdeler [4].....	32
Şekil 3.16. Yardımcı eleman görevindeki palplanş perdeler [4].....	32
Şekil 3.17. Yapının tamamını kendisi oluşturan palplanş perdeler [4].....	33
Şekil 3.18. Ahşap palplanş perde uygulaması.....	33
Şekil 3.19. Betonarme palplanş perde uygulaması.....	34
Şekil 3.20. Çelik palplanş perde uygulaması.....	35
Şekil 3.21. Sık kullanılan çelik palplanş birleşim detayları.....	35
Şekil 3.22. a)Aralıklı kazıklar b)çapraz kazıklar c)teğet kazıklar d)kesişen kazıklar [15].....	37
Şekil 3.23. Fore kazık makinesi.....	37
Şekil 3.24. Sükunetteki toprak basıncı.....	47
Şekil 3.25. Aktif ve pasif toprak basıncı için Mohr-Coulomb dairesi.....	48

Şekil 3.26. Aktif toprak basıncı.....	49
Şekil 3.27. Pasif toprak basıncı.....	50
Şekil 3.28. Sükunetteki zeminin pasif duruma geçmesi.....	51
Şekil 3.29. Aktif ve pasif basınç bölgeleri.....	53
Şekil 3.30. Yeraltı suyunun yanal basınca etkisi.....	57
Şekil 3.31. Kazıklı duvar ve soket boyu arasındaki etkileşim [23].....	59
Şekil 3.32. Birinci kademe kazı yapılması sonucu sistemin yanal basınç ve sehim davranışı [23].....	60
Şekil 3.33. Birinci sıra ankraja öngerme uygulanması [23].....	61
Şekil 3.34. İkinci kademe kazının yapılması ve sistemin davranışı [23].....	61
Şekil 3.35. İkinci sıra ankraja öngerme uygulanması [23].....	62
Şekil 3.36. Terzaghi-peck'e göre çok sıra destekli iksalarda yanal toprak basıncı dağılımı [24].....	63
Şekil 3.37. Navfac önerilen zemin basıncı dağılımı [25].....	64
Şekil 3.38. Tschebotarioff'a göre a)granüler zeminler b)kohezyonlu zeminler için maksimum yanal toprak basınçları [25].....	65
Şekil 3.39 Lehman'ın ileri sürdüğü a)granüler zeminler b)kohezyonlu zeminler için maksimum yanal toprak basıncı grafikleri.....	66
Şekil 3.40. Elastik zemine oturan yüklü kiriş yöntemi.....	69
Şekil 3.41. Elastik zemine oturan kirişin temsili dengesi.....	71
Şekil 3.42. Plaxis'de düğüm ve gerilme noktaları.....	76
Şekil 3.43. Derin kazılarda analiz için sınır şartları.....	76
Şekil 4.1. Model geometrisi.....	79
Şekil 4.2. Elastisite modülü yatay deplasman ilişkisi.....	83
Şekil 4.3. Elastisite modülü kesme kuvveti ilişkisi.....	84
Şekil 4.4. Elastisite modülü eğilme momenti ilişkisi.....	85
Şekil 4.5. Yapı zemin etkileşim katsayısı yatay deplasman ilişkisi.....	87
Şekil 4.6. Yapı zemin etkileşim katsayısı kesme kuvveti ilişkisi.....	88
Şekil 4.7. Yapı zemin etkileşim katsayısı eğilme momenti ilişkisi.....	89
Şekil 4.8. İçsel sürtünme açısı yatay deplasman ilişkisi.....	91
Şekil 4.9. İçsel sürtünme açısı kesme kuvveti ilişkisi.....	92
Şekil 4.10. İçsel sürtünme açısı eğilme momenti ilişkisi.....	93
Şekil 4.11. Kohezyon yatay deplasman ilişkisi.....	95

Şekil 4.12. Kohezyon kesme kuvveti ilişkisi.....	96
Şekil 4.13. Kohezyon eğilme momenti ilişkisi.....	97



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 3.1. Kazık betonu için şartname sınırlamaları [14].....	41
Tablo 3.2. Kazık betonu için şartname akışkanlık sınırlamaları [14].....	41
Tablo 3.3. Bentonit bulamacının sağlaması gereken değerler [14].....	41
Tablo 3.4. Fore kazık için en az boyuna donatı alanı [14].....	42
Tablo 3.5. Aktif duruma geçmek için gerekli hareket miktarı [21].....	50
Tablo 3.6. Pasif duruma geçmek için gerekli duvar hareketi [21].....	52
Tablo 3.7. Limit denge koşullarında önerilen güvenlik sayıları [31].....	68
Tablo 3.8. Derin kazı destek sistemleri için hesap yöntemlerinin bazı olumlu ve olumsuz yönleri [30].....	74
Tablo 4.1. Elastisite modülündeki değişimin iksa sistemine etkisi parametreleri...	81
Tablo 4.2. Analizde kullanılacak elastisite modülü değerleri.....	81
Tablo 4.3. Elastisite modülüne bağlı yatay deplasman değerleri.....	82
Tablo 4.4. Elastisite modülüne bağlı kesme kuvveti değerleri.....	83
Tablo 4.5. Elastisite modülüne bağlı eğilme momenti değerleri.....	84
Tablo 4.6. Yapı zemin ara yüzey katsayısı ve model sistem parametreleri.....	86
Tablo 4.7. Yapı zemin ara yüzey katsayısı değerleri.....	86
Tablo 4.8. Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı yatay deplasman değerleri.....	87
Tablo 4.9. Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı kesme kuvveti değerleri.....	88
Tablo 4.10. Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı eğilme momenti değerleri.....	89
Tablo 4.11. İçsel sürtünme açısı ve model sistem parametreleri.....	90
Tablo 4.12. Analizde kullanılacak içsel sürtünme açısı değerleri.....	90
Tablo 4.13. İçsel sürtünme açısına bağlı yatay deplasman değerleri.....	91
Tablo 4.14. İçsel sürtünme açısına bağlı kesme kuvveti değerleri.....	92
Tablo 4.15. İçsel sürtünme açısına bağlı eğilme momenti değerleri.....	93
Tablo 4.16. Kohezyondaki değişimin iksa sistemine etkisi parametreleri.....	94
Tablo 4.17. Analizde kullanılacak kohezyon değerleri.....	94

Tablo 4.18. Kohezyona bağı yatay deplasman değerleri.....	94
Tablo 4.19. Kohezyona bağı kesme kuvveti değerleri.....	95
Tablo 4.20. Kohezyona bağı eğilme momenti değerleri.....	96



ÖZET

Anahtar kelimeler: Derin kazı, zemin parameteleri, iksa sistemi, Plaxis 2D, yapı-zemin etkileşimi

Derin kazı uygulaması özellikle son yıllarda büyük şehirlerde nüfusun artması ve insanların kullanabileceği daha fazla yapı alanına sahip olması gereksiniminden dolayı yaygınlaşmaktadır. Belediye ve imar müdürlüklerinin çeşitli bölgelerde getirdikleri irtifa ve imar durumu sınırlamaları da dikkate alınırsa inşa edilecek olan yapıda gerekli alan olabildiğince zemin altına inilerek elde edilmeye çalışılmaktadır. Hal böyle olunca derin kazı uygulaması kaçınılmaz olmaktadır. Yapılan derin kazı ile beraber bu kazının güvenli bir şekilde yapılması hem iş hem de işçi sağlığı ve güvenliği açısından büyük önem arz etmektedir.

Yapılan bu çalışma kapsamında öncelikle derin kazı yöntemleri ve destekleme sistemleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmış ve derin kazı-destek sisteminin seçimini etkileyen faktörler ele alınmıştır. Daha sonra derin kazı-destek sistemine etkileyen yanal toprak basıncı teorileri incelenmiş, iksa sistemine etkileyen zemin parametrelerine dikkat çekilmiştir. Aynı zamanda yanal toprak basıncı teorileriyle ilişkili olan derin kazı destekleme sistemlerinde kullanılan çeşitli hesap yöntemleri ele alınmıştır. Ele alınan bu hesap yöntemleri arasında sonlu elemanlar yöntemi bu çalışma boyunca yapılan analiz ve hesap yöntemlerinde kullanılacak hesap yöntemi olarak seçilmiştir.

Çalışmanın son kısmında zemin parametrelerindeki değişimin iksa sistemini deformasyon ve gerilme değerleri açısından nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu inceleme kapsamında elastisite modülü, içsel sürtünme açısı, kohezyon ve yapı-zemin etkileşim katsayısı parametreleri ele alınmıştır. Bu parametrelerin incelenmesi çalışma prensibi sonlu elemanlar yöntemine dayanan Plaxis 2D programı ile yapılmıştır. Aynı zamanda mevcut verilerden doğru sonuç alınabilmesi için eldeki parametrelerin nasıl yorumlanması gerektiğine de değinilmiştir. Tüm bu parametre analizleri sabit tutulan bir yapı-zemin modeli üzerinde yapılmıştır.

PARAMETRICAL ANALYSIS OF SHORING SYSTEMS EXPOSED TO LATERAL LOAD IN DEEP EXCAVATIONS

SUMMARY

Keywords: Deep excavation, soil parameters, excavation system, Plaxis 2D, structure-soil interaction

Deep excavation application, especially in recent years, the population in large cities and people can use a lot of building space arises from the need to have. municipal and zoning directorates in various regions brought the altitude and If the zoning status limitations are taken into consideration, the required area in the building to be constructed is tried to be obtained by going under the ground as much as possible. As such, deep excavation is inevitable. Safe construction of the deep excavation is of great importance for worker health and safety.

In this study, deep excavation methods and supporting system are explained in detail and the factors affecting the selection of deep excavation-support system are discussed. Then, theories lateral earth pressure on deep excavation-support system were examined and the ground parameters acting on the shoring system were pointed out. In addition, various calculation methods used in deep excavation support systems related to lateral earth pressure theories are discussed. Among this calculation methods, finite element methods chosen as the calculation method to be used analysis and calculation methods throughout this study.

In this study, we investigated how the change in soil parameters affects the shoring system in terms of deformations and stress values. Within the scope of this study, the modules of elasticity, internal friction angle, cohesion and structure-structure interaction coefficient parameters were handled. The study of these parameters, the working principle is based on the finite element method based on the Plaxis 2D program. At the same time it has been mentioned how to interpret the parameters in order to contain correct results from existing data. All of these parameter were analyzed and a fixed structure-ground model was developed.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

İnşaat sektörü denince hemen hemen herkesin aklına ilk gelen kolon, kiriş, döşeme, beton, demir, çimento, tuğla ve benzeri terimlerdir. Ancak son yıllarda gerek derin kazı yapılmasına duyulan ihtiyaç gerekse daha karmaşık ve büyük yapıların yapılmasına bağlı olarak zemin problemlerinden kaynaklanan geoteknik terimleri de sıkça duymaktayız. Daha doğrusu karmaşık ve zeminin altına yapı inşa edilme gereksinimi araştırmacıları ve uygulayıcıları bu terimleri derinlemesine öğrenmeye ve irdelemeye zorlamaktadır. Son yıllarda ülkemizde bu araştırmalar ve incelemeler sonucu ortaya çıkan alana “geoteknik alanı” bu alanla ilgilenen mühendislere de “geoteknik mühendisi” denecek kadar ayrı bir saha oluştu demek yanlış olmayacaktır.

Geoteknik mühendisliği ana prensip olarak zemin ve zemin cinsi elemanları ve bu elemanların özelliklerini ve davranışlarını incelese de diğer mühendislik dallarından kesinlikle ayrı tutulmamalıdır. Çünkü “zemin” söz konusu olduğu durumlarda statik ve dinamik davranışları da kapsamaktadır. Bununla beraber gerilme, şekil değiştirme ve zemin basınçlarını da büyük ölçüde etkileyen su faktörü de zemine dahil olduğunda hidrolik alanı ile olan ilişkisi de inceleme sonuçlarını ciddi manada etkilemektedir. Bütün bu ve bunun gibi daha bir çok faktör birleştğinde en doğru çözüm için zemin problemleri bir çok bilim dalıyla birlikte ele alınmalı ve en doğru sonuca gidilmelidir.

Zeminin diğer bilim dallarıyla olan ilişkilerinin yanında zemini bir bütün olarak ele aldığımızda en önemli konulardan bir tanesi de inşası planlanan yapı veya yapı elemanları ile zemin arasındaki etkileşimdir. Yapı zemin etkileşimi zeminin cinsine ve geçirdiği evrelere göre farklılık gösterebilmektedir. Zeminle alakalı herhangi bir

stabilite veya farklı oturma problemi yaşanmaması için yapı-zemin etkileşimi doğru yorumlanmalıdır.

Bu çalışmada da ele alınan konulardan biri olan yapı zemin etkileşimi özellikle derin kazılarda iksa sistemine etkileyen yanal basınçlarını çok ciddi şekilde etkilemekte ve eğer doğru yorumlanmadan tasarım yapılırsa geri dönüşü olmayan sonuçlar doğurabilmektedir.

Diğer taraftan her geoteknik problemde olduğu gibi derin kazılarda da doğru yorumlanması gereken en önemli konulardan bir tanesi zemin parametreleridir. Çünkü araştırma için yapılan sondajlar ve bu sondajlardan elde edilen zemin numularının doğru şekilde muhafaza edilmesi pek mümkün olmamaktadır. Bunun için özellikle tasarım aşamasında sadece elimize geçen sonuçları kullanmak değil, bu sonuçları doğru şekilde yorumladıktan sonra kullanmak gerekmektedir.

Derin kazı ve destekleme sistemlerini de ele aldığımız bu çalışmada kazı yöntemi ve destekleme sistemini etkileyen faktörlere ayrıca yer verilmektedir. Derin kazı destekleme sistemlerinin başlıcaları fore kazıklar, mini kazıklar, kuyu perdeler, ankrajlı palplanş perdeler, diyafram duvarlar ve püskürtme betonlardır.

Bu çalışma kapsamında yapılan inceleme de yukarıda bahsettiğimiz yapı zemin etkileşimi ve zemin parametrelerindeki değişimin iksa sistemi üzerindeki etkilerinin ne derece önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışma belirli bir zemin profili ve sabit geometrilik iksa sistemi elemanları üzerinde yapılan parametre değişimleriyle gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak da zemin parametre değişimlerinin çok sıra ankrajlı iksa sistemleri üzerindeki deformasyon ve gerilme değerlerine olan etkisi yorumlanmaktadır.

1.1. Amaç

Homojen bir iç yapıya sahip olmayan zemin malzemesinde hesap aşamasında sonuca gitmek için bir çok parametre dikkate alınmalı ve iyi analiz edilmelidir. Ele alınacak

olan bu parametrelerin bir çoğunun da değişken özellikte olması hesabı daha da zorlaştırmaktadır. Ancak uzun yıllar boyunca zemin malzemesi üzerinde sayısız araştırmacı tarafından bir çok konu hakkında çalışmalar yapılmış ve çeşitli ampirik formüller oluşturulmuştur.

Son zamanlarda özellikle yerleşim yerlerinin kısıtlı olduğu bölgelerde artan derin kazı ihtiyacı beraberinde derin kazıdan kaynaklanan stabilite kayıplarını getirmektedir. Bu çalışmada da hesap aşamasında doğru sonuca gitmek için bir çok parametreye bağlı olan zeminde özellikle de derin kazılarda stabilite problemi oluşmaması için parametre değişiminin derin kazılarda yanal deformasyon ve gerilme değerlerini nasıl etkilediğini araştırmak amaçlanmaktadır.

1.2. Kapsam

Bu çalışma kapsamında öncelikli olarak genel zemin türleri ve zeminde yaşanabilecek problemlerden ve bu problemlerin sebeplerinden bahsedilmiştir. Zemin problemleri içerisinde özel bir yere sahip olan derin kazılar ve derin kazılarda oluşabilecek stabilite problemleri bu araştırmanın ana çerçevesini oluşturmaktadır.

Derin kazılarda oluşabilecek problemlerden bahsettikten sonra zeminin ve oluşabilecek problemin türüne göre derin kazı yöntemleri ve destekleme sistemleri hakkında bilgi verilmiştir. Derin kazı yöntemlerinin çeşitleri, yapım aşamaları ve dikkat edilmesi gereken hususlar ele alınmıştır.

Derin kazı yöntemleri ve destekleme sistemleri hakkında bilgi verildikten sonra olayın biraz daha teknik ve teorik kısmı olan stabilite problemlerinde kullanılan hesap yöntemleri hakkında bilgi verilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemi hesap yöntemleri arasında en çok başvurulana ve bu çalışmanın da analizlerinde kullanılan bir yöntemdir. Bu kısımda ayrıca sonlu elemanlar yönteminin çalışma prensibinden ve karmaşık mühendislik problemlerinde sağladığı avantajlardan bahsedilmektedir.

Araştırma ve inceleme bölümünde ise çalışma prensibi sonlu elemanlar yöntemine dayanan Plaxis 2D programı ve programın işleyişinden kısaca bahsedilmektedir. Daha sonra incelenecek olan parametre verileri hakkında bilgi verilmekte ve her bir parametre ayrı ayrı analiz edilmektedir. Sonuç bölümünde ise incelenen ve analizi yapılan parametrelerdeki değişimin sonuçları ve iksa sistemine olan etkileri sistemli bir şekilde yorumlanmaktadır.



BÖLÜM 2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Zemin mekaniği, temel mühendisliği ve bu konulara bağlı olarak derin kazı ve destekleme sistemleri literatürde çok farklı ve özel bir konuma sahiptir. Bu konuların farklı ve özel olmasının en büyük sebebi zemin ile alakalı araştırılmak istenen her türlü parametre, formül, teori, öneri ve ileri sürülen tüm düşüncelerin temelinde değişken koşullar ve bu koşullara bağlı olarak yapılan kabuller yatmaktadır. Mühendislik çalışmalarının hemen her alanında bir konuyu veya durumu araştırmak için bazı kabuller yapılsa da geoteknik mühendisliğinde yapılan kabuller diğer araştırma dallarında yapılan kabullerden çok daha farklıdır. Çünkü bir sonuca varmak için veya bir konuyu araştırıp yorum yapabilmek için yapılan kabuller kabulden de öte mevcut konunun araştırılabilmesi için bir zorunluluk arz etmektedir. Öyle ki geoteknik mühendisliği ve zemin mekaniği konularında bu kabuller yapılmaz ise bu alandaki bir çok konu ve soru cevapsız kalacak, bu cevapsız kalan konu ve sorulara bağlı olarak problem olarak kabul edilen meseleler hakkında yorum yapamamak başta yapı mühendisliği olmak üzere bir çok mühendislik dalını olumsuz etkileyecektir.

Bu sebeptendir ki zemin mekaniği ve geoteknik mühendisliği dalında oldukça fazla deney, araştırma ve kabuller yapılmıştır. Yapılan bu kabuller başlangıçta sadece bir öngörüden ibaret olsalar da yıllardır yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen bilgi birikimi ve gelişen teknolojiyle beraber daha iyi hesap yapan programların geliştirilmesi ile yapılan kabullerin gerçeğe çok yakın değerler aldığı görülmüştür.

Geoteknik alanında ve özellikle de derin kazı sistemlerinin araştırılmasına dayalı geçmiş yıllarda birçok çalışma yapılmıştır. Bu tezin başlangıcında daha önceki yıllarda ele alınan özellikle de derin kazılar ve iksa sistemleri üzerine yapılan çalışmalar incelenmiş ve fikir sahibi olunmuştur.

Bu tez kapsamında araştırmak istenilen yanal yüke maruz iksa sistemi parametreleri ve bu parametrelerin analizini konu alan bir çok tez, makale, kitap ve araştırma notları incelemiştir.

Bu aşamada derin kazılar, destek sistemleri ,yanal toprak basınçları, zemin parametreleri, hesap yöntemleri gibi konularda daha önce yapılan çalışmalara değinilmiştir. Derin kazılarda yanal yüke maruz iksa sistemlerinin parametrik analizi hakkında literatürden bazı çalışmalar incelenmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Koyuncu (2006) yapmış olduğu çalışmada, Kütahya’da yapımı planlanan askeri bir bina inşaatının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için iksa sistemi olarak farklı boyutlarda betonarme perde ve mini kazık tasarımlarını incelemiş, ayrıca her iki sistem için de ankrajsız (konsol) ve ankrajlı olmak üzere iki farklı tasarımın iksa sistemi üzerindeki etkilerini incelemiştir. İncelenen sistemde betonarme perde boyutları 15 cm, 20 cm, 25 cm olarak mini kazık çapları ise 20 cm ve 40 cm olarak ele alınmıştır. Kazı derinliği 10 m olan arazide zemin profilinin ilk 9 m’si siltli kil 9 m’den sonrası ise killi çakıl birimi olarak ele alınmıştır. Yeraltı su seviyesi ise 1,3 m derinlikte olduğu ifade edilmiştir. Plaxis programı ile yapılan analizlerde Mohr-Coulomb bünye modeli kullanılmıştır. Ayrıca sistem drenajlı olarak çözülmüştür. Duvar kalınlığının yatay deplasmana etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada konsol olarak çalışan ankrajsız sistemde duvar boyutu arttıkça yatay deplasmanların azaldığı, ankrajlı sistemlerde ise ciddi bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir [1].

Bu alanda yapılan diğer bir çalışmada ise derin kazılarda zemin çivisi ve ankraj sisteminin karşılaştırılması ile kil ve kum zeminin davranışlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Çalışma yine Plaxis sonlu elemanlar yöntemiyle yapılmış olup dört farklı zemin modeli ele alınmıştır. Ele alınan bu modeller katı kil, orta katı kil, sıkı kum ve orta sıkı kumdur. Ayrıca sistemde kazı derinlikleri 8 m, 10 m, 12 m ve 15 m olmak üzere 4 farklı yükseklikte ele alınmıştır Yapılan analizler sonucunda killi zeminler kumlu zeminlere göre daha fazla yatay deplasman yaptığı ve kazı tabanındaki kabarmanın kil zeminlerde daha fazla olduğu gözlenmiştir. Kazı yüksekliği açısından 8 m ve 10 m yüksekliğindeki kazı derinliklerinde zemin çivisi, 12 m ve 15 m kazı

derinliğindeki zeminlerde ankrajlı duvar sistemi hem deplasman hem de güvenlik açısından daha uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Maliyet analizi açısından ise 10 m derinliğe kadar zemin çivili iksa sistemi daha ekonomik olurken 10 m'nin üzerindeki kazı yüksekliklerinde ankrajlı iksa sisteminin daha ekonomik olduğu sonucuna varılmıştır [2].

Bir diğer çalışmada Moskova'da yapılan bir inşaatın ankrajlar ve strut borularıyla desteklenen diyafram duvarlı iksa sisteminde oluşan gerçek deplasmanlar ile Plaxis programıyla modellenen sistemin yatay deplasmanlarının karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda program analizleri ile elde edilen deplasmanların sahada ölçülen gerçek deplasmanlardan daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu ölçümler sonucunda gerçek deplasmanlar ile programda hesaplanan tasarım deplasmanlarının aynı olması için parametrik çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmada kohezyon, içsel sürtünme açısı ve elastisite modülü sırasıyla %10, %20 ve %30 oranında arttırılarak analiz sonuçları gözlemlenmiştir. Yapılan bu parametrik çalışma sonuçlarına göre gerçek deplasmanlara en yakın sonuçları parametrelerin %30 arttırıldığı modeldeki sonuçların verdiği görülmüştür [3].

Diğer bir uygulama örneği olan Marmara Boğazı Tüp Geçit Projesi kapsamında ise Üsküdar şantiyesinde yapılan diyafram duvarlı iksa sistemleri üzerinde parametrik bir çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmada kohezyon, içsel sürtünme açısı ve elastisite modülü değerleri %10, %20 ve %30 oranında arttırılıp azaltılarak sistemin yatay deformasyonu üzerindeki etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda yatay deplasman açısından çok fazla bir değişimin olmadığı gözlemlenmiş ve bunun sebebi olarak diyafram duvar rijitliğinin çok büyük olması gerekçe gösterilmiştir. Ayrıca sahada yapılan inklinometre ölçümleri ile analiz sonucu elde edilen deplasmanların birbiriyle uyumlu olduğu belirlenmiştir [4].

İstanbul Metro Projesi kapsamında derin kazı yapılan ve inklinometre ölçümlerinin de alındığı bir proje üzerinde çalışma yapılmıştır. Analizler plaxis programı ile drenajlı sistem olarak ve Mohr-Coulomb bünye modeli kullanarak gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülünün en doğru değerini elde edebilmek için kazı

alanında her 5 m de bir pressiyometre deneyi yapılmıştır. Çalışma iki kritik kesit üzerinde gerçekleştirilmiş olup birinci kesit analiz sonuçları ile inklinometre sonuçlarının birbiri ile uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak ikinci kritik kesitte analiz sonucu elde edilen en büyük deplasman ile inklinometre sonucunda elde edilen en büyük deplasman arasında büyük farklar olduğu dikkat çekmiştir. Bunun üzerine tasarımda kullanılan elastisite modülü yaklaşık olarak %50 oranında azaltılmış ancak yine de inklinometreden okunan deplasman değerine yaklaşamamıştır. Bunun sebebi olarak ise zeminin iç yapısında oluşan beklenmedik bir durum sonucu inklinometreden yanlış veri elde edilmesi gösterilmiştir [5].

Yapılan diğer bir iş merkezi uygulama çalışmasında ise fore kazık ve mini kazıklardan oluşan ankrajlı iksa sisteminin tasarımında dört farklı kesitte deplasman analizi gerçekleştirilmiş ve analiz sonuçları sahadaki inklinometrelerden alınan veriler ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda 3 kesitteki tasarım deplasmanları ile inklinometreden alınan deplasmanların birbiriyle uyumlu olduğu ancak grovak zeminin hakim olduğu bölgedeki inklinometre deplasmanıyla tasarım deplasmanının uyumsuz olduğu görülmüştür. Bunun sebebinin ise zemin etütünden elde edilen grovak zeminin aslında o bölgeye hakim zemin profili olmadığı sonucuna varılmış ve o bölgedeki elastisite modülü değeri %30-35 oranında azaltılarak yeniden analiz yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda elde edilen yatay deplasman değerinin o bölgedeki inklinometre değeriyle yakın değerler aldığı görülmüştür [6].

İş merkezi iksa uygulama örneğinden de anlaşılabileceği gibi bazı durumlarda zemin etütünden alınan veriler ile sahadaki mevcut durum farklı olabilmektedir. Böyle durumlar ile karşılaşıldığında mevcut iksa sisteminin tasarımı revize edilerek gerçeğe en uygun çözümler ve analizler yapılmalıdır.

Bir diğer çalışma olan İstanbul Otogar-Bağcılar Raylı Sistem Projesi kapsamında Çinçin istasyonu inşaatı derin kazısında oluşan yer değiştirmeler inceleme konusu olarak ele alınmıştır. Ayrıca sistem parametrelerindeki değişimin iksa sistemine etkileri de ayrıca incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elde edilen yatay yer değiştirmeler ile inklinometre değerleri arasında uyumlu sonuçlar elde edilmiştir.

Bunun haricinde sistemde elastisite modülü ve içsel sürtünme açısı değerleri sistemli bir şekilde arttırılıp azaltılarak elastisite modülü ve içsel sürtünme açısının iksa sistemindeki yatay yer değiştirme ve gerilme değerlerine etkileri incelenmiştir.

Analiz sonucunda elastisite modülünün artması yatay deplasmanı azaltırken içsel sürtünme açısının değişimi yatay deplasmanı çok fazla etkilemediği görülmüştür. Ancak şu söylenebilir ki elastisite modülünün etkisi içsel sürtünme açısının etkisinden oldukça fazladır. Bunun yanında eğilme momentinde de değişiklikler olmasına rağmen bu değerlerin yatay deformasyonda olduğu kadar eğilme momentini önemli ölçüde etkilemediği görülmüştür. Aynı kazı için kazık çapı ve ankraj yüklerinin değişiminin iksa sistemini nasıl etkileyeceği incelenmiştir. İnceleme için kazık çapları 80 cm, 100 cm, 120 cm olarak ele alınmıştır. Ankraj öngerme yükü olarak da 500 kN, 600 kN, 750 kN değerleri referans alınmıştır. Yapılan analizler sonucunda kazık çapının yatay deformasyon, düşey deformasyon gibi deplasman kriterlerini çok fazla etkilemediğini ancak ankraj öngerme yükünün kazık çapı sabit tutulmak koşuluyla yatay deplasmanları ciddi ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir [7].

Bir diğer çalışma olan Hilton İstanbul Bomonti Hotel inşaatı kapsamında tarihi bina önü iksa sisteminin parametre değişimi sonucunda sistemi nasıl etkilediği incelenmiştir. Öncelikle araştırma parametresi olarak elastisite modülü, içsel sürtünme açısı, yapı zemin ara yüzey katsayısının, zemin ankraj özellikleri ve aralıklarının değiştirilmesinin etkileri incelenmiştir. Analizler sonucunda elastisite modülündeki artışın iksa sistemi üzerindeki yatay deplasmaları ciddi ölçüde azalttığı gözlemlenmiştir. Yapı-zemin etkileşimi incelemesinde ise iksa sistemini oluşturan malzeme ve zemin cinsine göre deplasmanların farklı değerler aldığı görülmüştür.

Bunun yanında ankraj kök boyunun 8 m'ye kadar deplasmanları azalttığı 8 m'den sonra ise gözle görülür bir fark oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ankraj açısının ideal olan 15 dereceden sonra ankraj kapasitesini düşürdüğü ve nihayetinde 45 derecede sistemin çalışmaz hale geldiği gözlemlenmiştir. Ayrıca ankraj aralığının azalması da

yatay deformasyonları azaltmakta ancak ankraj aralığının 1,5 m'nin altında olması pek tavsiye edilmemektedir [8].



BÖLÜM 3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada aynı kazı geometrisine sahip bir iksa sisteminde farklı zemin parametrelerinin iksa sistemi üzerinde yanal deformasyon, kesme kuvveti ve eğilme momenti açısından etkileri sonlu elemanlar yöntemi kullanarak geoteknik analizler yapan Plaxis programı ile araştırılmıştır. Ayrıca ankraj sayısının yatay deformasyon, kesme kuvveti ve eğilme momentine etkileri de araştırılmıştır. Ele alınan sistemde kazı derinliği 9 m olup kazık boyları 12 m olarak seçilmiştir. İksa sistemi olarak da 65 cm çapında 1 m aralıklarla yerleştirilmiş fore kazık duvar seçilmiştir. Öncelikle sistem konsol olarak çözülmüş daha sonra tek sıra ankrajlı ve çift sıra ankrajlı olarak analizler yapılmıştır.

3.2. Yöntem

3.2.1. Derin kazılar

Kazı işlemi herhangi bir yere yapılacak olan yapının yapılacak olduğu mevcut arazinin doğal durumundaki halinden ve mevcut yüzey kotlarından yine bu arazinin gerekli ekip, ekipman ve iş makinaları yardımıyla yapmak istediğimiz projede istenilen boyut ve kotlara getirilmesi işlemidir. Kazı işlemi her ne kadar yüzeysel kazı ve derin kazı olarak iki ana başlık altında toplansa da gerek düşük risk taşımasından gerekse daha kısa sürede tamamlanmasından dolayı günümüzde yüzeysel kazılar çalışma alanlarında pek gündeme gelmemektedir. Ancak bu çalışmada ele alınacak derin kazı işlemi özellikle son yıllarda artan nüfus, arsa stoklarının azalması ve buna bağlı olarak maliyetlerin çok fazla artması sebebiyle yapılarda daha fazla alan kazanma açısından oldukça önem kazanmıştır.

Bilindiği üzere yapılması planlanan yapıların ilgili kurum, kuruluş ve belediyelerin belirlediği bir imar durumu ve kat sınırlaması bulunmaktadır. Yapılacak olan yapılarda daha yüksek kotlara çıkılamayacağı için alternatif olarak yerin altına doğru inşa işlemleri büyük hız kazanmıştır. Bu alternatif çözüm de derin kazıların yapılması gerekliliğini ve kaçınılmaz olduğunu gündeme getirmiştir.

Ayrıca artan nüfusa bağlı olarak özellikle büyük şehirlerde yaşayan insanlar için konfor, rahatlık, güvenlik ve sosyal yaşam alanı ihtiyacı oldukça artmıştır. Yapılacak olan projelerin bu ihtiyaçlara karşılık verebilmesi ve proje sahiplerinin daha fazla kitleye hitap edip projelerini daha cazip hale getirebilmeleri için projelerde otopark, havuz, sauna, spor merkezi ve sosyal yaşam alanları olması kaçınılmaz bir hal almıştır. Bütün bu isteklere karşılık verilebilmesi için de yeraltı alanlarını kullanılması ve bunların inşası için derin kazı işlemi kaçınılmaz olmuştur.

Diğer taraftan yapı temellerinin daha derinlere oturtulması ve binaların bodrumlu olarak inşa edilmesi yapıda oluşacak deplasmanları ciddi ölçüde azaltacak ve olası deprem durumunda da yapının daha güvenli bir konuma sahip olmasını sağlayacaktır.

Bu gerekliliklere bağlı olarak yapılacak olan kazı alanında gerek çevre yapıların zarar görmemesi gerekse sükuneti bozulan zeminin stabilitesini sağlamak için gerekli güvenlik önlemleri alınmalıdır. Güvenlik konusu hem tasarım hem de uygulama aşamasında büyük önem arz etmektedir.

Güvenli bir kazı-destek organizasyonun temeli tasarım aşamasında başlamaktadır. Daha doğru ve güvenilir bir tasarım yapmak için kazı yapılacak olan alanın zemin parametreleri ve karakteristik özellikleri özenle belirlenmelidir. Aksi takdirde uygun bir tasarım yapılsa bile yanlış veriler kullanılmasından kaynaklı büyük ekonomik kayıplar hatta can kayıpları yaşanabilmektedir.

İyi bir tasarımdan sonra güvenli bir kazı-destek organizasyonu yürütülebilmesi için uygulama aşaması geoteknik konusunda tecrübeli bir ekiple ve uygun kazı yöntemi

kullanılarak yapılmalıdır. Derin kazı işlemi uzun bir süreçtir ve bu sürecin güvenli bir şekilde ilerleyebilmesi için kazı yönteminin o bölgeye ve şartlara uygun seçilmiş olması gerekmektedir. Örneğin sert veya kaya zeminlerde püskürtme beton (pasif ankraj) uygulaması uygun olabilirken daha yumuşak bir zeminde belirli aralıklı kazıklı iksa sistemi çözüm sağlayabilmektedir. Kazı yapılacak alanda yeraltı suyu çok fazla ise ve geçirimsiz iksa sistemi oluşturulmak isteniyorsa çelik palplanşlar veya kesişen fore kazık sistemleri tercih edilmelidir.

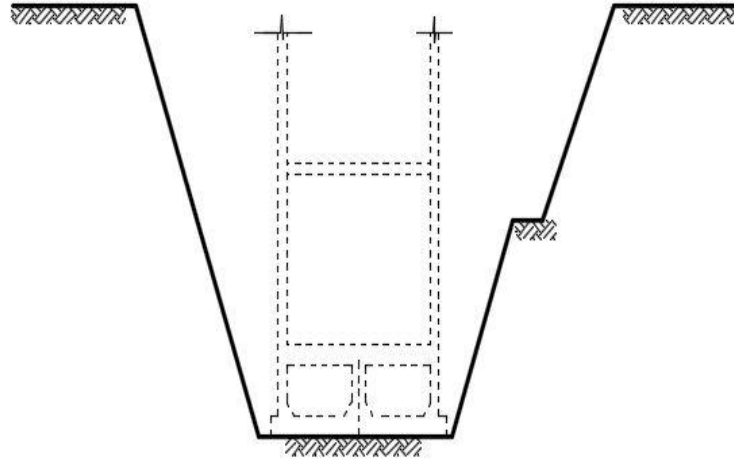
Zemin özellikleri, yapılmak istenilen yapının özelliği ve sahanın durumuna bağlı olarak bir çok kazı yöntemi geliştirilmiştir. Bunlardan bazıları; açık kazı (serbest şevli kazı) yöntemi, içten destekli kazı, kuyu tipi duvar yöntemi, aç-kapa kazı yöntemi, anolu kazı, ada kazı yöntemi, yukarıdan aşağıya (top-down) kazı yöntemi, zemin çivili yöntem, öngermeli ankrajlı kazı yöntemleri en çok kullanılan kazı yöntemleridir.

3.2.1.1. Açık kazı (serbest şevli kazı) yöntemi

Açık kazı yöntemi arazinin geniş olduğu ve çalışmaya müsait bölgelerde uygulanmaktadır. İstenilen kazı derinliğine zemin parametreleri (kayma açısı, kohezyon) dikkate alınarak Şekli 3.1.'de görüldüğü gibi kademeli şev ve palyelerle inilmektedir.

Herhangi bir destek elemanı kullanılmadığı için kısa sürede yapılabilir olması avantajlı yönlerinde bir tanesidir. Ancak destek elemanı kullanılmadığı için şev veya palye yapımı zorunlu olmakta bu da taşınması gereken zemin miktarını arttırmaktadır. Maliyet açısından ise sahanın uygunluğuna ve yapılacak olan derinliğe göre avantajlı veya dezavantajlı olabilmektedir.

Ayrıca bu yöntemin kullanılabilmesi için kendini tutabilen yani kohezyonu yüksek zeminler olması gerekmektedir.



Şekil 3.1. Açık kazı (serbest şevli kazı) yöntemi [9]

Yöntemin en büyük dezavantajlarından biri de kazı aşamasında oluşan çok büyük boşluklar ve yapının inşasından sonra bu alanı doldurmak için fazla dolgu malzemesi gerekmesidir. Bu da maliyeti oldukça arttırmaktadır [10].

Bu yöntem geçmiş yıllarda her ne kadar sıkça kullanılmış olsa da günümüzde gerek yer kısıtlamasından gerekse daha pratik yöntemler geliştirilmesinden dolayı artık çok fazla kullanılmamaktadır. Ancak maden ocaklarında, kil ocaklarında, çevresel atık depolama alanlarında ve baraj hazne kazılarında çok fazla kullanılan bir yöntemdir.

3.2.1.2. İçten destekli kazılar

Ülkemizde çok yaygın olmayan ancak son zamanlarda inşaat alanlarının daralmasından dolayı kullanımı giderek artan bir kazı-destek sistemidir. Düşey iksa elemanları imal edilen kazıda her kademe açıldıkça oluşan yanal yükleri Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi zeminin kendisine taşıtarak değil de birbirini gören karşılıklı veya çapraz şev aynaları arasına yatay destek elemanları konularak kademeli olarak yapılan bir kazı-destek sistemidir. Bu sistemde zeminde oluşan yanal basınçları düşey iksa elemanları (kazıklı iksa duvarı, betonarme perde duvar, diyafram duvar vb.) ara elemanlar vasıtasıyla başka bir düşey iksa elemanına taşıtarak sistemin birbirini desteklemesi sağlanmaktadır. Ara destek elemanlarının bu görevi

- Yapım aşamaları tamamlanıp bina yükseldikçe aşağıdan yukarıya doğru yatay destek elemanları sökülür.
- İksa üst kotuna kadar inşa işlemi tamamlanana kadar düşey iksa sistemi ve yapı arasında kalan gerekli kısımlar her kademenin yatay destek elemanı söküldükten sonra gerekli malzeme ile doldurulur ve yapı-zemin stabilitesi sağlanmış olur.

Bu sistemde yanal yükleri ana taşıyıcı elemana aktarmak için göğüsleme kirişi, köşebent elemanları ve dikmeler gibi ara elemanlar kullanılmaktadır. Göğüsleme kirişi kazı derinleştikçe oluşan yanal toprak basınçlarını yatay elemana aktarırken köşebentlerde ana kirişin boyunu belirli aralıklarla bölerek tali kiriş görevi görmekte ve yatay eleman ihtiyacını minimuma indirmektedir. Dikmeler ise destek elemanının burkulma boyunu azaltarak sistemin burkulmadan dolayı göçmesini önlemektedir [10].



Şekil 3.3. İçten destekli kazı-iksa sistemi

Bu yöntemin en büyük dezavantajlarından birisi de saha içerisinde düşey ve yatay hareketleri kısıtlamasıdır. Saha içerisinde çalışma yapan makine ve ekipmanların tüm kazı alanını kullanmalarına engel olduğu için sık sık plan değişikliği yapılabilmektedir. Özellikle de inşa aşamasında kule vinç kullanılacak yapılarda kullanımı tercih edilmemektedir.

3.2.1.3. Kuyu tipi duvar yöntemi

Bu sistem, içten destekli kazı yönteminin mini ve parçalara bölünmüş hali olarak da düşünülebilir. Minimum çalışma payı bırakılarak zeminin stabilitesini bozmayacak kadar bir uzunluk belirlenir (2.5-3.5 m arası bir mesafe olması tercih edilir) ve belirlenen boyutlarda kademe kademe kazılarak açılan kısım küçük taşıyıcı elemanlar ile desteklenir. Küçük taşıyıcı elemanlar genelde ahşap kalıp ve kamalardan oluşmakta, belirli noktalarda çelik elemanlar ile desteklenmektedir. Belirlenen boyutlarda kazı işlemi nihai kazı kotuna kadar kademeli bir şekilde açılarak aşağıdan yukarıya doğru kuyu duvar imalatına başlanır. Bu işlem iksa üst kotuna kadar tekrarlanır.

Alt kademelerde yeraltı suyu ile karşılaşılması halinde suyun tahliyesi sağlanmalı ve beton dökümünde de tremi borusu mutlaka kullanılmalıdır. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu ve aşırı gevşek zeminlerde uygulanması oldukça zordur [11]. Şekil 3.4.'de görüldüğü gibi yapım şekli ve aşaması itibariyle adeta bir kuyuyu andırdığı için bu yöntem kuyu tipi duvar yöntemi olarak adlandırılmaktadır.



Şekil 3.4. Kuyu duvar uygulaması

3.2.1.4. Aç-kapa kazı yöntemi

Yüzeye yakın bölgelerde kullanılan en yaygın yöntem aç-kapa kazı yöntemidir. Aç-kapa kazı yönteminde inilmesi gereken derinlik belirlendikten sonra yan cepheler

kazıklı sistem veya betonarme perde ile inildikten sonra üst kısım açılmaya başlayarak nihai kazı kotuna kadar kazı işlemi yapılır. Şekil 3.5.'de bir örneği gösterilen bu yöntem daha çok yeraltı çalışmaları ve şebeke yapılarının yapımında kullanılsa da son zamanlarda yüzeye yakın projelendirilen metro projelerinde özellikle de yüzeyde bulunan istasyon bağlantı noktalarında sıkça kullanılmaktadır. Aç-kapa kazı yönteminde de en önemli problemlerden bir tanesi yeraltı su seviyesidir. Eğer mevcut projeyi etkileyen yüksek yeraltı su seviyesi mevcutsa yeraltı suları çalışma alanında uygun yöntemlerle drene edilmelidir. Projenin tavan kısmı kaplaması yapıldıktan sonra üst kısım doğal arazi kotuna kadar tekrar doldurulur. Aç-kapa yönteminin yapı-maliyet dengesi sağlanabilmesi için yaklaşık olarak 10 m yüksekliklerde uygulanmalıdır, mümkünse bu yükseklik değeri aşılmamalıdır. Klasik tünel açma yöntemiyle açılan tünellerden hem maliyet açısından daha ucuz hem de iş yükü olarak daha kolay bir yöntemdir.

Bu yöntemin en büyük dezavantajlarından bir tanesi de özellikle şehir içi projelerinde mevcut yapıların bu yöntemle olanak vermemesi, trafik akışını engellemesi, çevre kirliliği ve yüksek gürültü oluşması ve maliyetlerin yüksek olmasıdır.

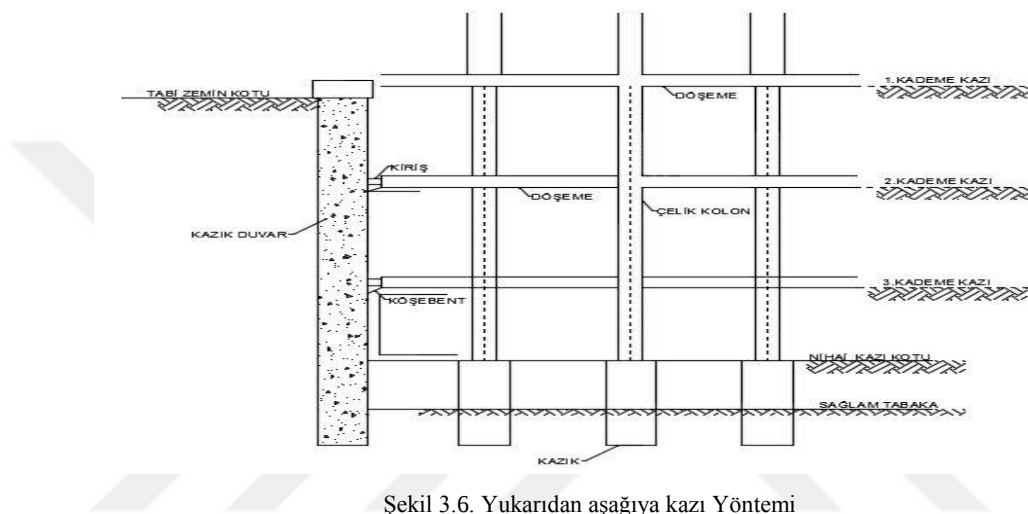


Şekil 3.5. Aç-kapa kazı yöntemi

3.2.1.5. Yukarıdan aşağıya (top-down) kazı yöntemi

Diğer tüm yapıların inşasında imalat temelden yukarıya doğru ilerlerken bu yöntemde arazi üst seviyesinden temele doğru ilerlemektedir. Kazı işlemi kademeli olarak indirilir ve 1. bodrum döşemesiyle başlayan inşa işlemi bina derinliği boyunca temele kadar devam ettirilir.

Yukarıdan aşağıya kazı yönteminde bir çok kazı-iksa sisteminde olduğu gibi ilk olarak düşey iksa elemanlarının (kazık, diyafram duvar, vb.) imalatı ile başlanır. Yanal destek görevi görecek düşey iksa elemanları üst yapının taşıyıcı elemanı görevini de üstlenmektedir. Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi bina için inşa edilen döşeme ve kirişler de yatay destek elemanı görevini üstlenmektedir. Bina döşeme ve kirişleriyle düşey iksa elemanlarının bereaber çalışması ise sistem olarak daha güvenli bir kazı-destek sistemi oluşturmaktadır.



Bilindiği üzere kazı işleri inşa sürecinde zaman açısından en çok sıkıntı çekilen konulardan bir tanesidir. Bu yöntemin en büyük avantajlarından biri de kazı ve inşa işlemlerinin beraberce yürütülmesi ve kazı tamamlandığında binanın zemin seviyesinin altında kalan kısmının da tamamlanmış olmasıdır.

Zaman yönünden avantajlı bir yöntem olsa da kazı ve inşa işlemleri aynı anda yürütüldüğü için çalışma sahasında hem yer kısıtlamalarıyla hem de hafriyata engel olacak bir çok durumla karşı karşıya kalınmaktadır. Tüm bu şartlar göz önüne alındığında yukarıdan aşağıya kazı yönteminde tecrübeli bir ekibin çalışması hem işçi hem de iş güvenliği açısından oldukça önem arz etmektedir.

Alışıl gelmiş kazı-destek sistemleri arasında özel bir yere sahip olan Top-Down kazı yönteminin diğer yöntemlere göre olumlu ve olumsuz yönleri şu şekilde sıralanabilir;

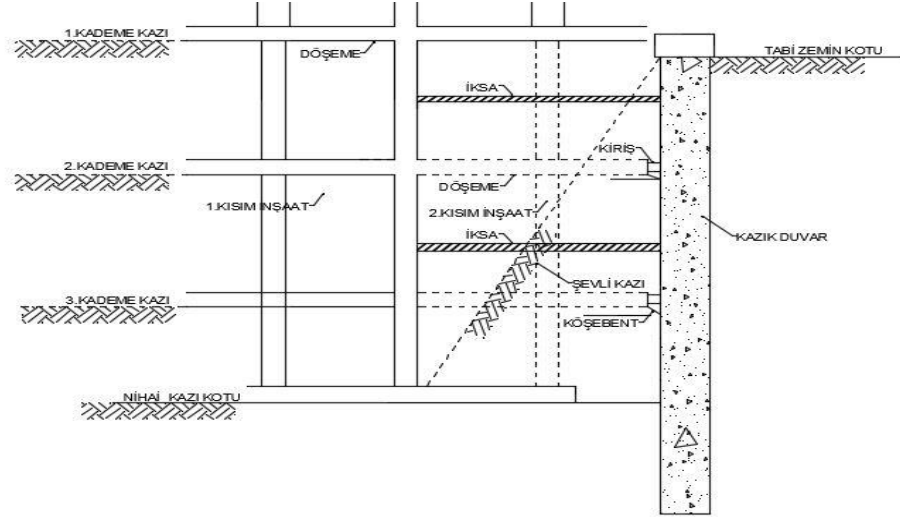
- Kazı ve yapı taşıyıcı sistemi aynı anda yapıldığı için çok ciddi zaman kazandırır.
- Kazı esnasında döşemeler daha rijit görev gördüğü için kazı güvenliğini artırır.
- Kat döşemelerinin çalışma esnasında geniş ve temiz çalışma alanları sağlaması iş kazalarını azaltmakta, iş ve işçi güvenliğini arttırmaktadır.
- En büyük dezavantajı pahalı bir kazı-destek sistemi olmasıdır.
- Diğer fiziksel dezavantajları ise havalandırma ve aydınlatmanın iş sağlığı ve güvenliğini olumsuz yönde etkilemesidir [12].

3.2.1.6. Ada kazı yöntemi

Bu kazı yönteminin uygulanabilmesi için kazı alanının diğer yöntemlerde olduğunda daha büyük olması gerekmektedir. Unutulmaması gereken en önemli noktalardan bir tanesi de inşa edilecek olan yapının soğuk derz oluşturulmaya uygun projelendirilmiş olması gerekmektedir.

Uygulama olarak öncelikle kazı yapılacak alanın etrafı düşey iksa elemanlarıyla gerekli derinliğe kadar çevrilir. Daha sonra inşa edilecek yapının orta kısmında (çekirdek kısım) inşa edecek kadar alanın hafriyatı alınır. Bu işlem yapılırken Şekil 3.7.'deki gibi düşey iksa elemanlarıyla çekirdek kısım arasında kalan zemin iksa sistemine destek vazifesi görecek şekilde şevli olarak tasarlanır. İksa sisteminin önünde pasif itki görevi gören şevli kısmın yapacağı basınç çekirdek kısımdaki zemin alındığı için doğal halindeki basınçtan daha düşük olacaktır. Bu bölgelerin tasarımı yapılırken şev stabilite analizi de göz önünde bulundurulmalıdır.

Üst yapı istenilen seviyeye ulaştıktan sonra yan kısımlarda kalan zeminin kazı işlemine başlanır ve açılan kısımlar payandalar ve çelik destek elemanlar yardımıyla çekirdek kısımda inşa edilen yapıya monte edilir. Şevli kısmın kazısı bir anda değil de kademeli olarak güvenli bir şekilde yapılmalıdır.



Şekil 3.7. Ada kazı yöntemi

Bu sistem içten destekli kazı yöntemiyle, konsol kazı yöntemi, açık kazı (şevli kazı) yöntemi gibi bir çok kazı yönteminin birleşimi gibi düşünülebilir. Yapım esnasında zaman açısından oldukça avantajlı bir yöntemdir.

Ayrıca destek elemanları belirli genişlikteki yapıya dayandırıldığı için hem yatay destek elemanlarının boyu küçülmekte hem de sayıları azalmaktadır. Böylece çelik elemanların burkulma boyu küçüldüğü için burkulma problemlerinin önüne geçilmektedir. Bunun yanında yüksek bir maliyet kalemine sahip olan çelik eleman metrajı azalarak daha ekonomik bir çözüm sağlamaktadır.

Her ne kadar avantajı çok gibi görünen bir yöntem olsa da kazı-iksa-üstyapı ve hafriyat işleri bir arada yürütüldüğü ve iksa sistemi önüne şevli kademeler oluşturacak kadar çok büyük bir alan gerektirdiği için pek tercih edilen bir yöntem değildir [9].

3.2.1.7. Anolu kazı yöntemi

Derin kazılarda kazı aynasının boyutu büyüdükçe kazı aynasının yüzeyinde oluşacak deformasyon da bu büyüklüğe paralel olarak büyümektedir. Bunun aksine kazı yapılacak alan ne kadar küçük tutulursa meydana gelecek deformasyon ve deplasmanlar da o kadar az olacaktır.

Anolu kazı yönteminin çalışma prensibi ise Şekil 3.8.'de görüldüğü gibi büyük boyutlara sahip kazı alanlarını belirli sınırlar içerisinde küçük parçalara bölerek hem oluşacak deformasyonu hem de oluşacak yanal itkiyi minimize etmeye dayanmaktadır.

Yapılması planlanan anolu kazı sisteminde kazı yapılacak anoların uzun ve kısa kenarlarının boyutları daha düşük deformasyonların oluşması için mümkün olduğunca birbirine yakın seçilmelidir.

Anolu kazı yönteminde dikkat edilmesi gereken diğer bir husus da belirlenmiş ano bölgelerinin kazısı yapılırken birbirlerine zarar vermeyecek şekilde kazı alanının boşaltılması planlanmalı ve gerekli güvenlik önlemlerinin alınmasıdır.



Şekil 3.8. Anolu kazı yöntemi [10]

3.2.1.8. Ankrajlı kazı yöntemi

Ankrajlı kazı yönteminde düşey iksa elemanları diğer kazı yöntemlerindeki düşey iksa elemanlarıyla hemen hemen aynıdır. Ancak yatay iksa destek elemanları bu yöntemi diğer kazı-destek yöntemlerinden ayıran temel özelliktir. Çünkü diğer yöntemlerde destekler iksa sistemini ön tarafından yani kazı yapılan kısımdan destek sağlamaktaydı. Ankrajlı yöntemde ise gerekli karşı direnç düşey iksa elemanlarının arka tarafındaki zeminden sağlanmaktadır. Yani bir nevi zemin yine zeminin kendi özelliklerine bağlı olarak kendisi ile desteklenmiş olmaktadır.

Ankrajlı kazı yöntemlerinin hem avantajlı hem de dezavantajlı yönleri çok fazladır. En büyük avantajlarının başında çekme dayanımı bulunmayan zeminin içerisine çelik donatı veya halatlar yerleştirilerek zemine çekme dayanımı kazandırmasıdır. Böylece

içerisine çelik malzeme yerleştirilen zemin kısmi olarak da olsa çekme mukavemeti kazanarak bir seviyeye kadar yanal itkilere karşı çıkabilmektedir.

Ayrıca yatay destek elemanlarının kazı alanının dışında olması hem kazı alanında geniş bir çalışma alanı sağlamakta hem de hafriyat ve yapı çalışmalarına bağlı olarak oluşabilecek zararlardan büyük ölçüde korunmuş olunmaktadır.

Ankrajlı kazı yönteminin bütün bu avantajlarının yanında zeminin iç yapısına tamamen hakim olunamamasından kaynaklanan bir çok problemle de karşı karşıya kalınabilmektedir. Bunların en başında ankraj delgisi yapılacak kuyu içinde yumuşak zemin tabakaları ile karşılaşılması, basınçlı yeraltı suları ile karşılaşılması ve zamana bağlı olarak zemin içerisindeki minerelojik yapıdan kaynaklı oluşan erime bozulma oluşumlarıdır. Bu gibi durumlarla karşılaşılması halinde ankraj delgi kuyusunun göçmesi, takım sıkışması, matkap veya tabanca düşmesi gibi durumlar hem zaman kaybı hem de ekip ve ekipman yıpranmasından dolayı büyük sıkıntılara yol açmaktadır. Ayrıca iç yapısı bozuk veya beklenenden farklı çıkan kuyuların enjeksiyon yapım aşamasında kuyunun tüm çeperlerine enjeksiyon şerbeti ulaşmamasından kaynaklı problemlerde oluşmaktadır. Enjeksiyonu tam yapılamayan kuyunun germe aşamasında taşınması istenilen tasarım yükünü taşıyamaması ve sonuç olarak yapılan imalatın başarısız olduğu durumlarla karşılaşılabilir.

Ankrajlı kazı yönteminde dikkat edilmesi gereken en önemli hususlardan bir tanesi de çevre yapılar ve bu yapıların temel alt kotuna kadar olan uzantıları, kanalizasyon, elektrik, doğalgaz, telefon hatları ve buna benzer altyapı sistemlerinin tasarım aşamasında çok iyi belirlenmesi ve tasarımın bu durumlar göz önüne alınarak yapılmasıdır. Projelendirilme aşamasında mutlaka projesi tasarlanan sahaya gidilip çevre yapılar ile ilgili gözlem yapılmalı ve gerekli durumlarda çevre yapı sahip veya sakinlerinden bilgi alınmalıdır.

Ankraj destekli kazı yöntemi ön yükleme (germe) yapıp yapılmama durumuna göre iki başlık altında toplanmaktadır;

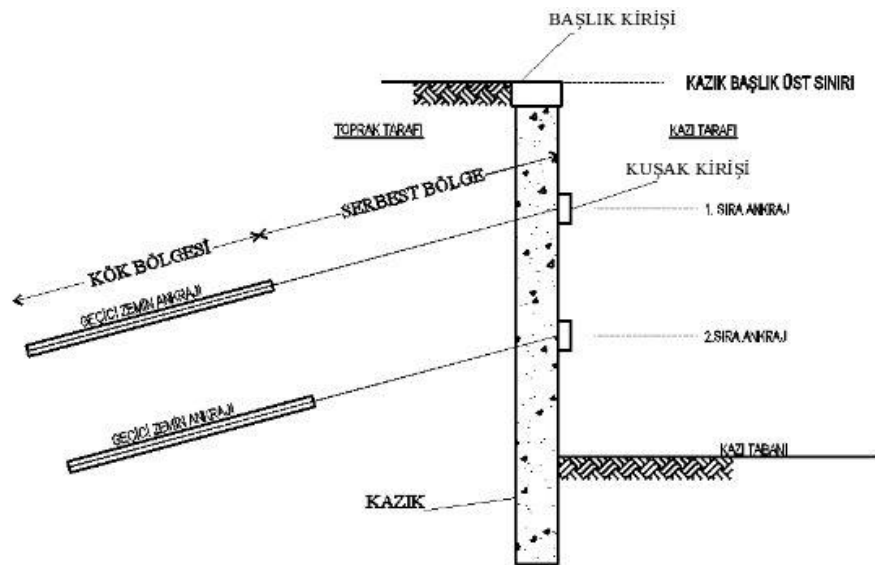
- Öngermeli ankrajlı kazı-destek yöntemi
- Pasif ankrajlı (zemin çivili) kazı-destek yöntemi

3.2.1.8.1. Öngermeli ankrajlı kazı-destek yöntemi

Öngermeli ankrajlar Şekil 3.9.'da görüldüğü gibi düşey iksa elemanlarına gelen yanal itkiyi kayma dairesinin dışında kalan zemine aktarır ve bu kısımdaki zeminin kayma mukavemetine bağlı olarak ankraj yükünü taşımakta ve sistemin güvenliğini sağlamaktadırlar. Ankrajlara taşıtılmak istenilen toprak itkisinden gelen yanal yük ankraj aralığına bağlı olarak değişse de ortalama olarak 200 kN ile 1000 kN arasında değişmektedir [13].

Öngermeli ankrajlar üç kısımdan oluşmaktadır;

- Ankraj kafası: Halatların gerildiği, tasarım yükünün halatlara yüklendiği ve germe testlerinin yapıldığı bölüm.
- Ankraj serbest Bölgesi: Halatlara yüklenen tasarım yükünü kök bölgesine aktaran ve kök bölgesi ile ankraj kafası arasında köprü görevi gören bölüm.
- Ankraj kök bölgesi: Zemin ile çimento enjeksiyonu arasındaki sürtünmenin (aderans) sağlandığı ve ankraj yükünün zemine taşıttırıldığı bölüm.



Şekil 3.9. Öngermeli ankrajlı sistem

Öngermeli ankraj ve kademeli kazı yapım aşamaları şu şekilde sıralanabilir;

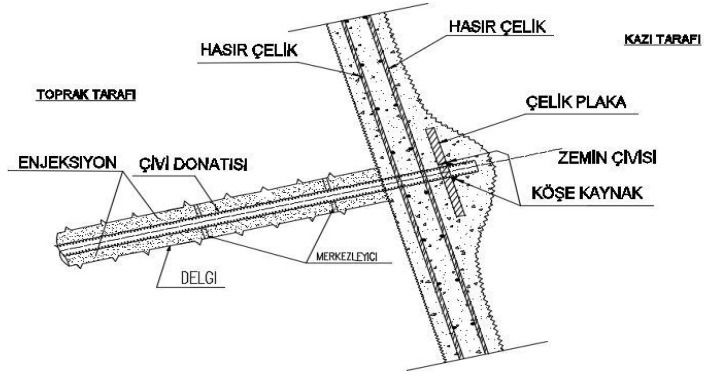
- Düşey iksa elemanı imalatı yapılır.
- 1.sıra ankraj seviyesine kadar 1. kademe kazı yapılır.
- 1. Sıra ankraj delgisi yapılır.
- Halatlar açılan ankraj kuyularına atılır.
- Enjeksiyon işlemi yapılır.
- Halatlar kuşak kirişinin merkezinde kalacak şekilde kuşak kirişi imal edilir.
- Halatlara öngerme yapıp halatlar kitleme yükünde kilitlenir.
- 2. kademe kazı yapılır ve delgi işleminden itibaren her kademe için aynı işlemler nihai kazı kotuna kadar tekrarlanır.

3.2.1.8.2. Pasif ankrajlı (zemin çivili) kazı yöntemi

Ankraj elemanlarına herhangi bir ön yükleme yapılmadan tamamen zeminin kendini aktif hale geçirdikten sonra devreye giren bir kazı-destek sistemidir.

Bu yöntem daha çok kaya veya kendini tutabilen sert zeminlere uygulanmaktadır. Başlangıç aşamasında herhangi bir ön yükleme yapılmadığı için pasif ankraj olarak adlandırılmaktadır. Öngermeli ankraj yöntemine göre derinliği daha az ve deplasman esnekliği daha fazla olan derin kazılarda uygulanmaktadır. Yeraltı su seviyesi yüksek zeminlerde uygulanması planlanıyorsa yeraltı suyunun drene olması için mutlaka uygun aralıklarla barbakan delikleri bırakılmalı ve bu deliklerin ucu ve etrafı keçe veya benzeri bir madde ile sarılmalıdır.

Pasif ankrajlı kazı yöntemi Şekil 3.10.'da görüldüğü gibi çelik hasır (çesan), gerektiğinde ilave yatay ve düşey donatılar, zemin çivisi (genelde nervürlü demir kullanılır), püskürtme beton, bulon veya ankraj plakası, bulon ve enjeksiyonda kullanılan malzemelerden oluşmaktadır.



Şekil 3.10. Zemin çivisi ve püskürtme beton detayı

Pasif ankrajlı kazı-destek yönteminin yapım aşamaları ise şu şekildedir;

- Birinci kademe kazı gerçekleştirildikten sonra zemin çivisi delgileri yapılır.
- Kuyulara merkezleyici kullanılarak gerekli çap ve boylarda donatılar yerleştirilir.
- Enjeksiyon işlemi yapılır.
- Kazı aynası yüzeyine çelik hasır serilir ve çivi kafasına monte edilir.
- Kazı aynası püskürtme beton ile kaplanır ve aynı işlemler kademeli olarak nihai kazı kotuna kadar tekrarlanır.

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi de açılan kazı kademelerinin gereğinden daha fazla yapılmamasıdır. Aksi takdirde yanal itkiye maruz kalan kazı aynası yüzeyi ve üst kademelerdeki püskürtme beton tabakasında düşmeler ve göçmeler oluşabilmektedir.

3.2.2. Derin kazı destek sistemleri

3.2.2.1. Diyafram duvar

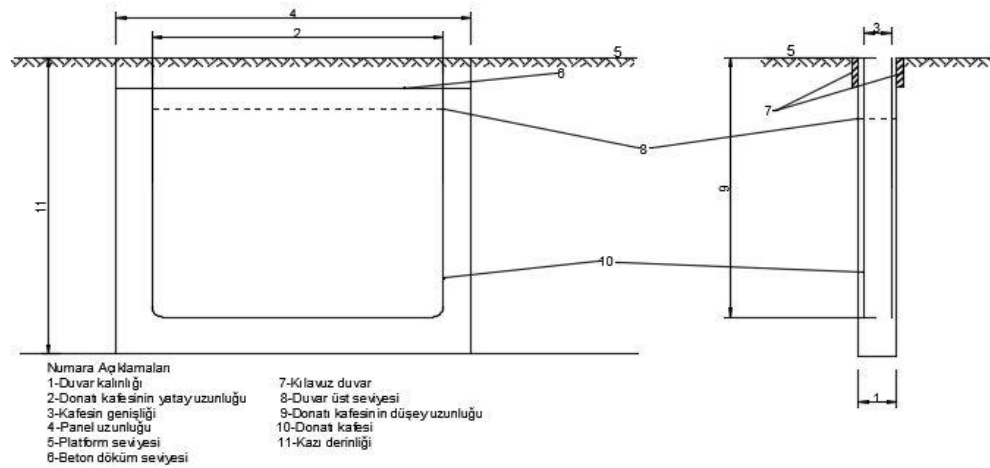
Diyafram duvar uygulaması 20. yüzyılın ortalarından itibaren kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir kazı destekleme sistemidir. Diyafram duvarlar genelde kullanım amacına göre sınıflandırılmaktadır. Kullanım amaçları arasında en yaygın olanları ise geçirimsizlik perdesi, kazı destek elemanı veya da her iki görevi birden üstlenebilen diyafram duvarlar olarak sınıflandırılabilir. Ayrıca kazı destek elemanı olarak imal

edilen diyafram duvarlar uygun projelendirilirse yapı elemanı olarak da kullanılabilir. Bu özelliği ile hem kazı destek elemanı hem de yapı elemanı olarak kullanılabilirdi için zaman açısından da oldukça avantaj sağlamaktadır.

Diyafram duvarlar her ne kadar bir çok amaç için kullanılabilir olsalar da genelde yeraltı su seviyelerinin yüksek olduğu zeminlerde geçirimsizlik perdesi olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca diğer destek elemanlarına göre oldukça rijittir. Bu özelliği ile oluşan moment değerleri oldukça düşük ve oluşan deplasmanlar izin verilebilir sınırların çok altındadır. Tüm bunlara bağlı olarak boyutları diğer duvarlara göre daha büyük kesitlere sahiptir. Dolayısıyla diğer destek sistemlerine kıyasla maliyet olarak daha yüksek maliyetler çıkabilmektedir. Ayrıca yapım aşamasında daha fazla iş ve insan gücü gerektirmekte ve bir çok iş kazası riskini de beraberinde getirmektedir.

3.2.2.1.1. Diyafram duvarın yapım yöntemi

Diyafram duvar imalatına başlamadan önce projenin uygulaması aşamasında ilk yapılması gereken işlem kılavuz duvar sınırlarının belirlenmesi ve kılavuz duvar imalatının yapılmasıdır. Kılavuz duvarın yapılma sebebi freze kazı makinasının kazı esnasında istikametten sapma yapmaması, kuyu derinleştikçe ağız bölgelerinde göçmelerin engellenmesi, bentonit sıvısının ve kazı makinesinin yaptığı darbelerden ve yanal basınçlardan dolayı oluşacak kuvvetlerin kuyuya zarar vermemesi gibi sebepler sıralanabilir. Şekil 3.11.'de diyafram duvarın kısımları ayrıntılı bir şekilde gösterilmiştir.

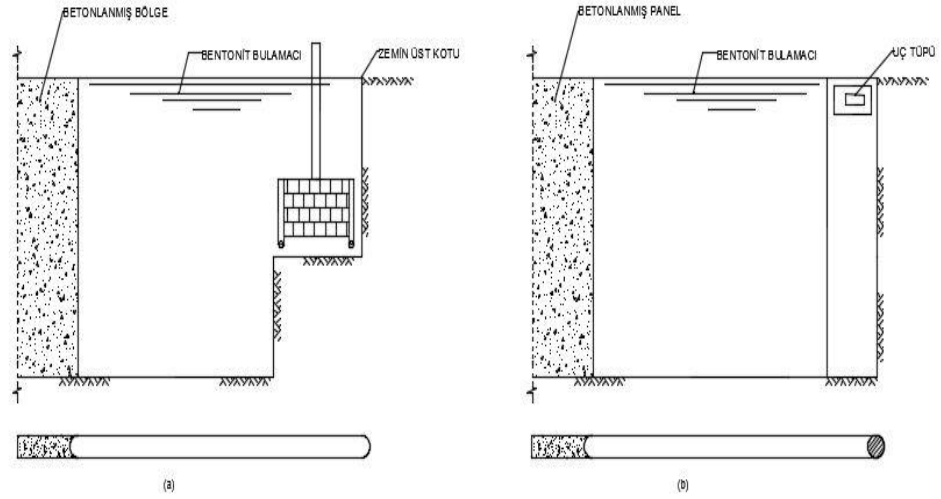


Şekil 3.11. Diyafram duvar boy kesit ve en kesit görünüşleri

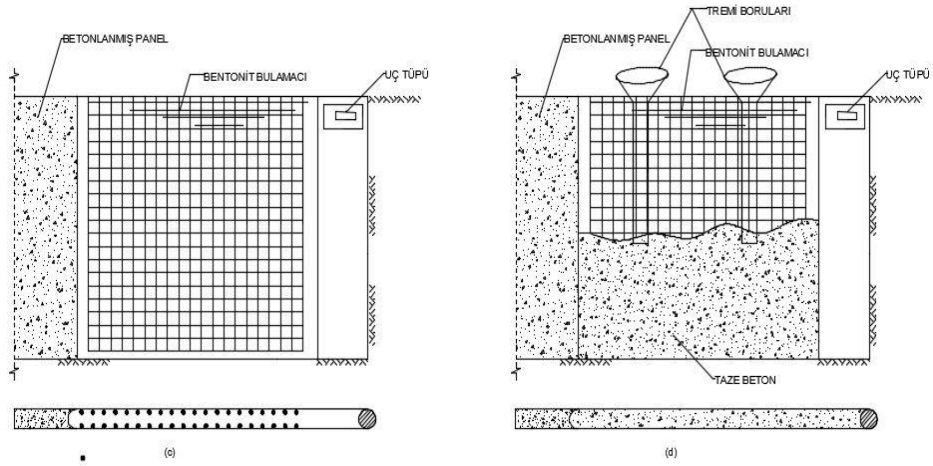
Hususi ile geçirimsizlik perdesi amacı ile kullanılması planlanan diyafram duvarlarda platform bağlama bölgelerinin adedinin az olması iksa yapısının işlevini yerine getirme amacı açısından diyafram duvarları oldukça uygun bir destek sistemi haline getirmektedir. Bununla beraber birleşim noktalarının azlığı beton duvar boyutunu arttıracak ve boyutların artması beton döküm esnasında soğuk derz oluşma ihtimalini de beraberinde getirecektir. Soğuk derz durumu ve beton hidratasyon ısısının yükselerek beton basınç dayanımının düşmesi gibi olumsuz durumlar oluşmaması için diyafram duvar uzunlukları 3.5 metre ile 4.5 metre aralığında seçilmesi uygun görülmektedir [13].

Ayrıca yapılması planlanan diyafram duvarın ankrajlı olup olmama durumu duvar boyutlarını etkileyen en önemli unsurlardan bir tanesidir. Ankrajlı imal edilen duvar boyutları ankrajsız yapılan duvar boyutlarına göre daha küçük çıksa da ankrajlı duvarlarda da gerek soğuk derz ihtimaline karşı gerekse imalat hata ve zorluklarına karşı normal boyutların üzerine çıkılmaması tavsiye edilmektedir.

Diyafram duvar inşa evreleri sırasıyla Şekil 3.12. ve Şekil 3.13.'de görüldüğü gibidir;



Şekil 3.12. a)Kazı yapılması b)uç tüplerin birleştirilmesi

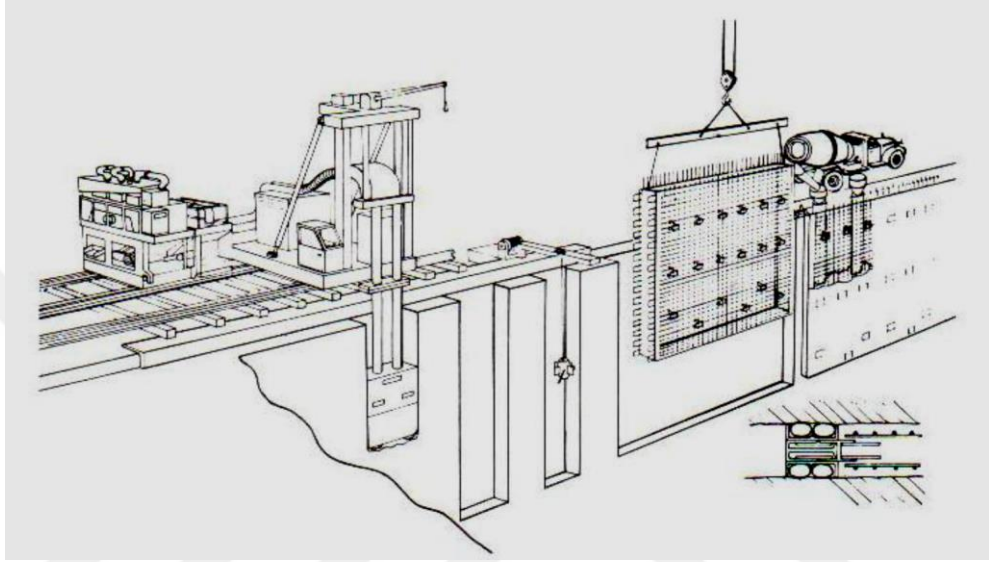


Şekil 3.13. c)Donatı yerleştirilmesi d)beton dökümü

Diyafram duvar imalatında belirli bir seviyeye geldikten sonra bir taraftan freze kazı işlemine devam ederken bir taraftan da kuyuda oluşan ve derinliğe bağlı olarak artan yanal itkileri dengelemek ve genel stabiliteyi sağlamak için kuyuya bentonit bulamacı doldurulur. Kazı işlemi tamamlandıktan sonra imal edilen diyafram duvar bloklarının birbirine daha iyi kenetlenmesi ve geçirimsizliğin maksimum seviyeye çıkarılması için duvar bloklarına uç tüpler yerleştirilir. Daha sonra vinç yardımıyla donatı kuyuya indirilir. Donatı indirme işlemi kuyu stabilitesinin korunması adına dikkatli ve yavaş yapılmalıdır. Son olarak tremi yardımıyla kuyuların betonları dökülür ve imalat tamamlanır. Betonun yüksekliğe bağlı olarak segregasyona

uğramaması veya yeraltı suyundan dolayı dayanım kaybı yaşanmaması için tremi borularının kullanımı hayati önem taşımaktadır.

Anolar halinde devam eden diyafram duvar imalatının farklı bir açıdan görünüşü Şekil 3.14.'de gösterilmiştir;



Şekil 3.14. Diyafram duvar imalat süreci ve aşamaları

3.2.2.1.2. Diyafram duvarın avantaj ve dezavantajları

Diyafram duvarın olumlu yönleri;

- Betonarme bir perde gibi tasarlandıkları için taşıyıcı sistem olarak yapı inşasında kullanılabilir.
- Yeraltı su ve sıvı geçirimsizliği en üst düzeyde olan bir geçirimsizlik elemanıdır.
- Kullanılan makineye de bağlı olarak diğer sistemlere göre daha az bir alan kaplar.
- Kazı derinliği yüksek yerlerde dahi oldukça rijittir.
- Uygulanan arazilerde komşu binaların temel veya bodrumlarına zarar vermediği gibi destek sağlamaktadırlar.
- İnşası süresince çevreye verdiği gürültü ve titreşim daha azdır.
- İmalat süreci hızlı işlemektedir.

Diyafram duvarın olumsuz yönleri;

- Düşük kazı derinliklerinde yüksek maliyetlidir.
- Kuyuda kullanılan bentonit bulamacı uygulanması ve ekipmanı maliyetli ve uğraştırıcı bir iştir.
- İşlem hızlı ilerlediği için kuyudan çıkan hafriyatın planlı ve hızlı alınması gerekmektedir.
- Kazı esnasında düşey istikameti saptırmamak zor ve titizlikle çalışılması gereken bir işlemdir.
- Büyük boyutlardaki donatı yerleştirilmesi zor ve risklidir.
- Beton dökümünde soğuk derz ve segregasyon riski yüksektir.
- İmalat uzman bir ekip tarafından yapılmalıdır [4].

3.2.2.2. Palplanş (perdeler) duvarlar

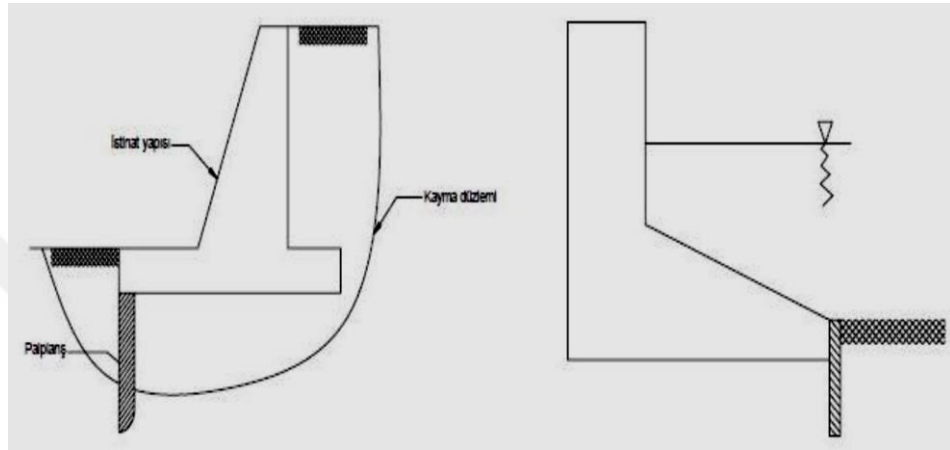
Palplanş duvarlar yanal zemin itkisini kısmi yeraltı suyu bulunan zemin ve su basıncını veya tamamen yeraltı ve yerüstü suyundan oluşan hidrolik basınçları karşılamak için kullanılan bir set sistemidir. Palplanş duvarların temel kullanım amacı geçirimsizlik perdesi oluşturmaktır. Bu özelliklerinin yanında sadece yeraltı sularını değil zemin içerisinde bulunabilecek diğer akışkan maddeler için de geçirimsizlik perdesi görevini üstlenmektedir. Bazı özel projelerde kirli suların diğer tabakalara geçişini engellemek için de geçirimsizlik elemanı olarak da kullanılabilir.

Palplanş duvarlar yapım amacı olarak üç sınıfa ayrılmaktadır;

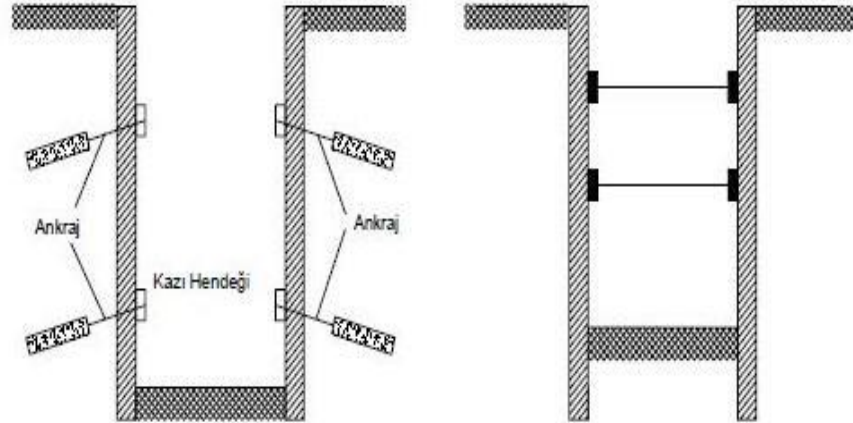
- Yapının bir kısmını oluşturan palplanş perdeler; bu duvar tipinde palplanş perdeler yapının gerekli stabilitesini veya geçirimsizliğini sağlamak için yapının gerekli yerlerinde imal edilen palplanş türüdür.
- Yardımcı eleman görevindeki palplanş perdeler; daha çok sızdırmazlık görevi gören ve bir imalatın yapılabilmesi için bu tip palplanş duvarın yapılmasının gerektiği durumlarda yapılan ve ana yapının yapılmasına yardımcı olan tipteki palplanş duvar türüdür.

- Yapının tamamını kendisi oluşturan palplanş perdeler; bu tür palplanş duvarlar hem destek ve sızdırmazlık perdesi görevi gören hem de asıl ana yapıyı oluşturan elemandır. Bu tip palplanş duvar yapısına en güzel örnek liman yapıları ve köprü ayaklarının imalatıdır.

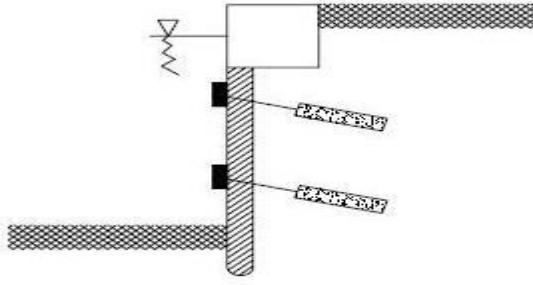
Bu üç tipteki palplanş duvarlar görsel olarak Şekil 3.15.,16. ve 17.'de sunulmuştur.



Şekil 3.15. Yapının bir kısmını oluşturan palplanş perdeler [4]



Şekil 3.16. Yardımcı eleman görevindeki palplanş perdeler [4]



Şekil 3.17. Yapının tamamını kendisi oluşturan palplanş perdeler [4]

Palplanş perdeler imal edildikleri malzeme çeşidine göre ise üç gruba ayrılır. Bu üç grup aşağıda ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır.

3.2.2.2.1. Ahşap palplanş perdeler

Diğer yapı malzemelerine göre daha narin ve mukavemet değerleri düşük olan ahşap elemanlar palplanş elemanı olarak kullanıldıklarında daha çok geçici palplanş olarak tasarlanırlar. Tek sıra, çift sıra ve üç sıra halinde tasarlanıp kullanılabilirler. Tek sıra ahşap palplanşlar genelde içten bağlı ve geçmeli olarak tasarlanırlar. Palplanş elemanlar Şekil 3.18.'deki gibi uygulanacak zemine çakılarak yerleştirildikleri için ahşap malzemenin ucuna kılıf takılarak yapısının bozulması önlenir. İri daneli zeminlerde kullanılması uygun değildir [18]. Uygulama yüksekliği olarak 5-6 metrenin üzerine çıkılması tavsiye edilmemektedir. Ahşap kalınlığı ise 2 metre yüksekliğe kadar 8 cm ve bundan sonraki her 1 metre için 1 cm arttırılarak tasarlanmaktadır [5].



Şekil 3.18. Ahşap palplanş perde uygulaması

3.2.2.2.2. Betonarme palplanş perde

Betonarme palplanş perdeler Şekil 3.19.'da görüldüğü gibi betona istenilen şeklin verilebilmesinin avantajına bağlı olarak istenilen boyutlarda ve şekillerde üretilmektedirler. Boyutları diğer palplanş elemanlara göre oldukça fazladır. Bu yüzden taşınması ve çakılması daha zor ve sorunlu bir işlemdir. Küçük boyuttaki perdeler çok zor olmasa da büyük boyutlardaki betonarme palplanş perdelerin taşınması için üst kısımlarından en az iki veya üç noktadan bağlantı noktası bırakılmalıdır. Donatılı olarak üretildikleri için eğilme elemanı olarak büyük avantaj sağlamaktadır. Ancak betonun çekme dayanımı düşük olduğu için gerek taşıma sırasındaki ilave yükleri karşılaması açısından gerekse çakma sırasında alt ve üst uca fazla basınç-çekme kuvveti gelmesi açısından gerekli bölgelerde donatı sıklaştırılması yapılmalıdır. Sızdırmazlık perdesi göreviyle kullanılacak yerlerde birleşim noktaları ilave yapı elemanlarıyla desteklenmelidir. Çakma anında diğer panellerden uzaklaşmaması için uçları eğimli olarak tasarlanır. Boyutları diğer çakma palplanş elemanlara göre daha büyük olduğu için çakılmaları daha zordur [5]. Genellikle çakma sırasında betonun üst kısımlarının parçalanmasını önlemek için metal başlık takılır.



Şekil 3.19. Betonarme palplanş perde uygulaması

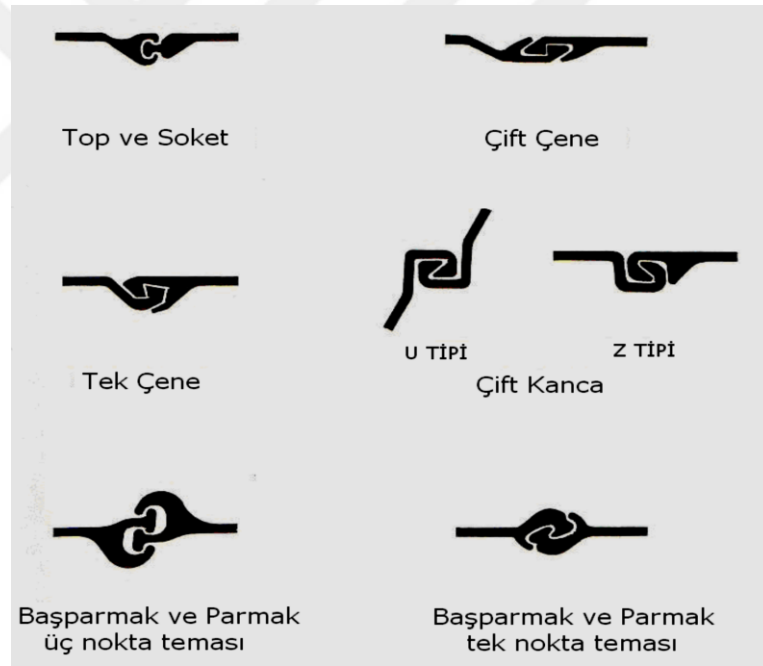
3.2.2.2.3. Çelik palplanş perdeler

Palplanş perde elemanlarının en yaygın olarak kullanılan çeşididir. Boyutlarının küçük ve ince olmasından dolayı çakma işlemi daha kolay yapılmaktadır. Uygulanan yerdeki yükün cinsine, büyüklüğüne ve gerilme şekline göre farklı tip ve

tasarımlarda ve farklı geometriye sahip çelik palplanş kullanımına karar verilir [5]. Ancak en yaygın kullanım alanı Şekil 3.20.'de görüldüğü gibi su içinde veya kıyıda yapılan yapılardır. Birleşim noktaları ve köşeler Şekil 3.21.'deki gibi birbirine geçmeli olarak üretilir ve uygulama esnasında perçin veya kaynakla birleştirilirler



Şekil 3.20. Çelik palplanş perde uygulaması



Şekil 3.21. Sık kullanılan çelik palplanş birleşim detayları

3.2.2.3. Kazıklı perde sistemleri

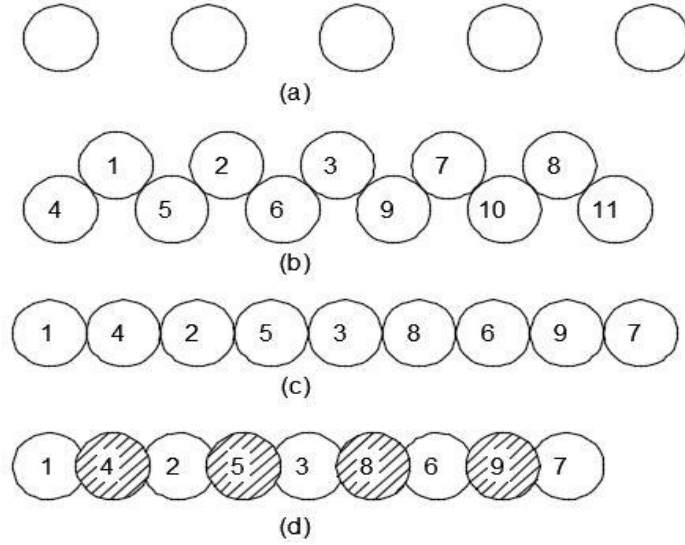
Kazıklı perde sistemlerinin tarihi çok eski çağlara dayansa da 1950'li yıllarda sistemli olarak kullanılmaya başlanmış 1970'li yıllarda kullanımı gittikçe yaygınlaşmıştır. Son yıllarda yaygınlaşmasının en büyük sebebi ise makine ve sanayileşmedeki gelişmelerdir [4].

Kazıklı perde sistemleri çakma kazıklar ve yerinde dökme kazıklar olmak üzere iki ana başlık altında toplanabilir.

Çakma kazıklar daha çok çelik elemanlardan oluşsa da nadiren de olsa betonarme çakma kazıklarda kullanılmaktadır. Kazıklı sistemlerde çakma kazık sistemlerinin kullanılabilmesi için uygulanacak olan zeminin yumuşak ve düşük yüzey sürtünme değerlerine sahip olması gerekmektedir. Ayrıca çakma kazıklar belirli bir derinlikten sonra çevre sürtünmesinin çok yüksek değerlere çıkmasından ve burkulma problemleriyle karşılaşılmasında dolayı kullanım alanları kısıtlıdır. Bunun yanında yumuşak ve yeraltı suyunun yüzeye yakın olduğu zeminlerde çakma kazıklar hem hızlı hem de daha pratik çözümler sunmaktadır.

Yerinde dökme kazıklar çakma kazıklara göre imal edilme adımları yönünden daha fazla işlem gerektiren bir yöntemdir. Ancak istenilen derinliğe kadar yapılabilir olması, sert zemin ve hatta kaya zeminler de dahil hemen hemen her zeminde uygulanabilir olması, yapım esnasında çevreye daha az titreşim ve gürültü yayması yönünden çakma kazıklara göre çok daha avantajlıdır.

Kazıklı perde sistemleri kullanım amaçlarına ve kazıklar arası mesafelere göre üç gruba ayrılmaktadır. Bu üç grup kendini tutabilen ve yeraltı su seviyesini olmadığı durumlarda aralarındaki mesafe kazık çapından büyük olan aralıklı kazıklı perdeler, kendini tutamayan veya çok az bir kendini tutma özelliği bulunan zeminlerde aralarındaki mesafe kazık çapına eşit olan teğet kazıklar, kendini tutamayan veya yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın veya yüzeyde olan zeminlerde geçirimsizlik perdesi olarak kullanılan ve ara mesafeleri kazık çapından küçük olan kesişen kazıklar olarak Şekil 3.22.'deki gibi sınıflandırılmaktadır.



Şekil 3.22. a) Aralıklı kazıklar b) çapraz kazıklar c) teğet kazıklar d) kesişen kazıklar [15]

Kazıklar çap boyutlarına göre ise mini kazık ve fore kazık olmak üzere iki grupta sınıflandırılabilirler. Genel olarak çapı 65 cm'den daha küçük çaplara sahip olan kazıklar mini kazık olarak adlandırılırken çapı 65 cm ve 65 cm'den daha büyük olan kazıklar fore kazık olarak adlandırılmaktadır. Fore kazıklar arasından da 150 cm'den daha büyük çapa sahip kazıklar hem makine ve ekipman yönünden hem de proje ve uygulama yönünden daha özel projelerde uygulanmaktadır.

Yerinde dökme fore kazıklar hidrolik veya mekanik çalışma prensibine sahip ucunda farklı çaplarda helezon bulunan ve yüksek tork değerlerine çıkabilen, yeterli güçte makine olduğunda hemen hemen her zeminde uygulanabilen makineler ile yapılmaktadırlar. Şekil 3.23.'de bir fore kazık makinesi örneği gösterilmektedir.



Şekil 3.23. Fore kazık makinesi

Foraj yapılacak zeminin karakteristik özelliklerine bağlı olarak matkap olarak kil augeri, kaya augeri, salyangoz, karotiyer ve kova (bage) kullanılmaktadır. Ayrıca kendini tutamayacak kadar düşük mukavemete sahip zeminlerde forajdan önce muhafaza borusu sürülerek delgi işlemine öyle devam edilir. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu zeminlerde, sıvılaşma ihtimali olan yerlerde, artezyen olması durumlarında ve zeminin kuyuya göçme yapması durumlarında muhafaza borusu kullanılması kaçınılmazdır. Foraj işlemi yapılan kuyuda muhafaza borusunun konumu her zaman foraj derinliğinden ileride olmalıdır. Ayrıca delgi işlemi istenilen kota ulaşsa bile kuyuya beton dökülmeden muhafaza boruları çekilmemeli ancak beton ile muhafaza borusu arasında bir bağ oluşmayacak kadar bir zamanda da dikkatli bir şekilde sürülen borular çekilmelidir. Boru çekme işlemi kademeli olarak yapılmalıdır. Muhafaza borusunun kullanılmadığı veya yetersiz kaldığı durumlarda kuyu stabilitesi bentonit sıvısı ile sağlanmalıdır. Bentonit sıvısı hem delgi esnasında hem de beton dökümü tamamlanana kadar kuyuyu desteklemektedir. Bentonit tozu ile su şartnamede belirtilen miktarlarda karıştırılarak kullanılmadan önce en az 12 saat bekletilmelidir. Ayrıca karışıma koyulan bentonit miktarı kuyu boyutuna göre gerekli basıncı karşılayacak miktarda olmalıdır. Ortalama olarak ağırlıkça %5 kullanılması tavsiye edilmektedir [16].

3.2.2.3.1. Aralıklı kazıklar

Bu tipteki kazıklar yeraltı su seviyesinin nihai kazı kotunun altında olduğu durumlarda tercih edilmektedir. Yeraltı suyu faktörünün dışında kohezyon miktarı ve malzeme granülometrisi de aralıklı kazıkların tasarım aşamasında büyük rol oynamaktadır. Zeminin kohezyon değeri arttıkça kazıkların çapı küçülebilmekte kazık aralıkları ise artabilmektedir. Aralıklı imal edilen kazıklar birbirini etkilememesi, diğer dizilimlere göre daha az gürültü ve titreşim oluşması, mesafeden kaynaklı kuyu göçme hadiselerinin çok yaşanmaması gibi bir çok yönden avantajlı bir tasarım şeklidir.

3.2.2.3.2. Teğet kazıklar

Bu tip kazıklar yeraltı suyu veya herhangi bir sıvı akış problemlerinin yaşandığı zemin koşullarında projelendirilmesi düşünülmektedir. Asıl amacı sızdırmazlık perdesi görevi ile beraber yanal itkileri karşılamaktır.

Teğet kazıklar her ne kadar sızdırmazlık perdesi görevi görselerde kazıklar imal edildikten sonra kazık birleşim noktaları çimento enjeksiyonu ile kapatılmalıdır. Bunun temel sebebi ise teoride birbirine teğet olarak görünen ve geçirimsiz gibi görünen kazıklı perdenin teğet yüzeylerinin uygulamada tam anlamıyla birbiri ile öpüşmediği gerçeğidir. Bunun için de sızdırma problemlerinin projeye zarar verecek kadar önemli olduğu zeminlerde bu tasarımın kullanılması pek önerilmez.

3.2.2.3.3. Kesişen kazıklar

Kesişen kazıkların tasarım ve üretimi temelde teğet kazıkların üretim amacı ile aynıdır. İki tip kazıklı perde sistemi de yeraltı su ve sıvı geçişini engellemek amacı ile tercih edilmektedir. Ancak kesişen fore kazıklar sıvı basınçlarının fazla olduğu ve sıvı geçirimsizliğinin çok daha önemli olduğu projelerde kullanılmaktadır. Çalışma prensibi olarak betonarme perde ile aynı görevi üstlense de rijitlik yönünden betonarme perdelerden çok daha düşük rijitliğe sahiptir. Diğer imalatlardan ayrılan en büyük özelliği ise kazıkların bir kısmının donatılı bir kısmının donatısız olmasıdır. Bunun sebebi ise fore kazıkları kesiştirebilmek için imalat aşamasında ilk kazıklar (dişi kazık) ikincil kazıklar (erkek kazık) ile iç içe girebilmesi için birincil kazıkların donatısız olarak imal edilmesidir. Aksi takdirde hem kazı makinası çok büyük sıkıntılar yaşayacak hem de donatılar çok ciddi zarar görüp özelliğini kaybetme noktasına gelecektir.

Kesişen kazıkların yapım aşaması kısaca şu şekilde sıralanabilir;

- Kesişen kazıklı perdenin yapılacağı aksta kılavuz perde oluşturulur ve kazık merkez noktaları işaretlenir.

- Projede belirlenen ilk donatısız kazıktan başlanır ve birer sıra atlanıp kuyular açılır, betonları dökülür.
- Beton dökülen kuyuların betonu tam prizini almadan donatılı fore kazık kuyuları açılır, donatıları yerleştirilir ve betonu dökülerek imalat tamamlanır.

Burada dikkat edilmesi gereken en önemli noktalardan bir tanesi kazık istikametinin sapma yapmamasıdır. Bunun için de kılavuz duvar imalatı büyük bir öneme sahiptir [17].

3.2.2.4. Fore kazık ile alakalı standartlar ve içerikleri

Aşağıda Türk ve yabancı standartlarda fore kazık ile ilgili karşılaşılan genel problemler ve olması gereken malzeme özellikleri hakkında temel noktalara değinilmiştir.

Türk Standartları;

- Beton agregasının en büyük boyutu, küçük olanı tercih edilmek şartıyla 32 mm veya boyuna donatı aralığının 1/4' ünü geçmemelidir.
- Betonun özelliklerini korumak ve beton dökümünde gerekli kaliteyi sağlamak için su azaltıcılar, plastikleştiriciler, priz hızlandırıcılar gibi kimyasal katkı maddeleri kullanılabilir. Bunlar; yüksek oranda plastisiteli karışım sağlanmasını, betonda boşluk oluşmasının ve ayrışmanın önüne geçilmesini, beton dökümü için gerekli olan işlenebilirlik süresinin uzatılabilmesini ve beton dökümünde ortaya çıkabilecek kesintilere tedbir alınmasını sağlar. Zararlara sebebiyet vermemek için bilinçsiz ve aşırı katkı kullanımından kaçınılmalıdır.
- Kazık betonu; ayrışmaya karşı yüksek dayanıma, yüksek plastisiteye ve uygun kohezyona, uygun akıcılığa, kendiliğinden sıkışabilme özelliğine, dökümü esnasında yeterli işlenebilirliğe ve Tablo 3.2. ile Tablo 3.3.'deki özelliklere sahip olmalıdır [14].

Tablo 3.1. Kazık betonu için şartname sınırlamaları [14]

Çimento Muhtevası Kuru Durumda Dökülmüş Su Altında Dökülmüş	$\geq 325 \text{ kg/m}^3$ $\geq 375 \text{ kg/m}^3$
Su/Çimento Oranı (W/C)	<0,6
İnce Dane Muhtevası d < 125 mm Çimento Dahil İri Agrega d > 8 mm İri Agrega d ≤ 8 mm	$\geq 450 \text{ kg/m}^3$ $\geq 450 \text{ kg/m}^3$

Tablo 3.2. Kazık betonu için şartname akışkanlık sınırlamaları [14]

Akış çapı aralığı (mm)	Çökme aralığı (mm)	Kullanım için tipik şartlar (örnekler)
$460 \leq \emptyset \leq 530$	$130 \leq H \leq 180$	Kuru şartlarda betonlama
$530 \leq \emptyset \leq 600$	$H \geq 160$	-Pompa ile dökülmüş veya -Tremi metodu ile su altında dökümü
$570 \leq \emptyset \leq 630$	$H \geq 180$	-Karalılık sağlayıcı ile su altındaki şartlarda beton dökümü
Not- ölçülen çökme (H) ve akış çapı (Ø) en yakın 10 mm'ye tamamlanabilir.		

- Kararlılık sağlayıcı akışkan; duraylı olmayan zeminlerde kazı duvarının duraylılığını sağlamak için kullanılan bentonit, kil ve diğer malzeme karışımı olarak tanımlanır. En sık kullanılan kararlılık sağlayıcı akışkan bentonit suspansiyonudur. Bentonit; doğal olarak oluşan veya üretilen sodyum veya kalsiyum montmorillonit kilidir. Islatıldığında ve dinlendirildiğinde jelleşen, çalkalandığı zaman akışkan olan tiksotropi özelliğinden dolayı dinlendiği zaman çökelti haline gelir. Bentonit için taze ve beton dökümü esnasında olması gereken özellikler Tablo 3.4. 'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Bentonit bulamacı sağlaması gereken değerler [14]

	Birim	Süspansiyon		
		Taze	Yeniden Kullanım İçin Hazır	Betonlamadan Önce
Yoğunluk	g/cm ³	<1,10	-	<1,15
Marsh Değeri	saniye	32-50	32-60	32-50
Akışkan Kaybı	cm ³	<30	<50	-
pH	-	7-11	7-12	-
Kum Muhtevası	% (Kütlece)	-	-	<4

- Fore kazıklar için en az boyuna donatı alanının Tablo 3.5.'deki gibi olması gerekmektedir.

Tablo 3.4. Fore kazık için en az boyuna donatı alanı [14]

Kazık anma kesit alanı: A_c	Boyuna donatının ksit alanı: A_s
$A_c \leq 0,5 \text{ m}^2$	$A_s \geq \%0.5 A_c$
$0,5 \text{ m}^2 \leq A_c \leq 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq 0,0025 \text{ m}^2$
$A_c > 1,0 \text{ m}^2$	$A_s \geq \%0.25 A_c$

- Boyuna donatı çubuklarının aralığı uygun beton akımına izin vermek için mümkün olduğunca büyük seçilmeli ancak 400 mm'den daha büyük olmamalıdır. Donatı ve çubuk demetleri arasındaki en az aralık 100 mm'den küçük olmamalıdır. Boyuna çubuklar veya bir tabakadaki çubuk demetleri arası en az açıklık $d < 20 \text{ mm}$ çapında agrega kullanıldığında 80 mm'ye düşürülebilir.
- Fore kazıklarda proje için özel şartlar mevcut değil ise $D > 0.6 \text{ m}$ çapında kazıklar için donatı üzerindeki beton örtü (pas payı) en az 60 mm, $D \leq 0.6 \text{ m}$ çapında kazıklar için ise en az 50 mm olmalıdır.
- Sondaj deliğinde donatı kafesinin merkezi yerleştirilmesi ve gerekli beton örtü kalınlığının sağlanması için işlevlerini en iyi şekilde yerine getirecek kalitede aralık verme takozları (pas payı) kullanılmalıdır. Aralık verme takozları, her seviyede en az 3 adet, her seviye için 3 m'den fazla olmayacak aralıklarla yerleştirilmelidir.
- Forajın tamamlanması ve betonlamanın başlaması arasındaki zaman mümkün olduğu kadar kısa tutulmalıdır. Betonlama işleminden önce sondaj deliğinin temizliği kontrol edilmeli ve betonun performansını olumsuz etkileyecek hiçbir toprak, sıvı veya diğer yabancı malzemenin betonu kirletmesine izin verilmemelidir.
- Betonlama işleminin uygun şekilde yapılabilmesi için betonun işlenebilirliğinin yeterli olması lazımdır. İşlenebilirliği yeterli olan beton kesintisiz şekilde dökülmeli, bu iş için gerekli planlamalar yürütülmelidir.
- Kazık betonlama işlemi esnasında oluklu boru (tremi borusu) kullanılarak; foraj içerisinde kalmış sıvı, kararlayıcılık sağlayıcı süspansiyon, toprak ve/veya diğer yabancı maddelerin betona karışması ve betonun ayrışması

önlenmelidir. Oluklu borunun iç çapı en büyük agrega çapının 6 katı veya 150 mm değerinden büyük olanı kadar olmalıdır. Oluklu boru betonlamaya başlanmadan önce kazık tabanına kadar uzatılmalı, betonlama esnasında bir miktar yukarı çekilmeli ve bu değer oluklu boru çapından daha fazla olmamasına dikkat edilmelidir. Betonlama devam ettikçe oluklu boru yukarı çekilebilir. Oluklu boru yukarı çekilse bile en az 1.5 m'si betonlama tamamlananan kadar taze beton içerisinde bırakılmalıdır. Bu değer, çapı 1,2 m'den büyük kazıklarda en az 2,5 m olmalıdır.

- Beton sütunu, muhafaza borusu içerisinde basınç fazlalığı sağlayacak yüksekliğe ulaşmadan, geçici muhafaza boruları, muhafaza borusu ucundan zemin veya su girişinin ve donatı kafesinin kaldırılmasının önlenmesi amacı ile çıkarılmamalıdır.
- Delme kazık duvarlarda, hassasiyet gereken yerlerde kazık pozisyonun konumlandırılmasında çelik veya betondan mamül kılavuz çerçeveler kullanılmalıdır.
- Kesişen kazıklı duvarların inşasında, geçici muhafaza boruları vasıtası ile kazıklar desteklenmelidir. Kesişen kazık duvarların yapım sırası ve kullanılan beton bileşimi birincil kazıkların betonunun kararlılık için yeterli mukavemet sağlayacak şekilde seçilmeli fakat kesişim yüzeyinde çok yüksek dayanımlar meydana getirmemelidir.
- Kazık başlıklarının mekanik aletlerle kesilmesi ve traşlanması mümkün olduğunca dikkatli şekilde yapılmalıdır. Kesme için kullanılan mekanik aletlerin sebep olduğu çatlak riski kullanılan beton kırıcının tipi ve büyüklüğü açısından bir sınırlama getirebilir [14].

Bazı yabancı standartlar ;

- Kazıkların düşeyden sapmasının 1/75 ile 1/100 değerleri arasında olması ve kazık merkezinin en fazla 50 mm yatay konumdan sapması kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Kesişen kazıklarda düşey eksenden sapmanın oluşturacağı sızdırma problemine karşı toleranslar daha düşüktür. Kesişen kazığın düşeyden sapma değerinin en fazla 1/200 olması ve kazık merkezinin

25 mm yatay konumdan sapması kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Kesişen kazıklarda sapmanın ve merkezlemenin daha garanti olması için betondan veya çelikten kılavuz kalıp yapılması önerilmektedir.

- Kazık betonu için 28 günlük karakteristik basınç dayanımının en az 20 MPa olması istenmektedir.
- Kazık betonunda kullanılan çimento dozajının en az 300 ile 400 kg/m³ arasında olması gerekmektedir.
- Beton slumpının 150 mm değerinden düşük olmaması gerekmektedir.
- Donatı kafesinin etrafını saracak pas payının en az 80 mm kalınlığında olması gerekmektedir [15,18].

Fore kazıklı duvar yönteminin kullanılmasının olumlu yönleri;

- Zemin şartlarında beklenenden çok kötü bir durum yoksa hem hızlı hem de ekonomik bir yöntemdir.
- İmalat süresince saha şartları daha düzenli ve sistemli kullanılır.
- Çakma kazıklara göre ses ve titreşim açısından çevreyi daha az rahatsız edicidir.
- Diğer duvarlara göre daha az rijit olduğu için deplasman esnekliği fazladır.
- Hemen her çeşit zeminde foraj yapılabilmektedir.

Yöntemin kullanılmasının uygun olmadığı bazı olumsuz şartlar şu şekildedir;

- Yeraltı suyunun yüksek olduğu bölgelerde veya sızdırmalık perdesi olarak kullanılacak projelerde tam güvenilir değildir. Kazı derinliği ve yer altı su seviyesi arttıkça su geçirgenliği olumsuz durumlar oluşturabilir.
- Zayıf zeminlerde muhafaza borusunun çekilmesiyle daha büyük ve istenmeyen kuyular oluşabilir.
- Orta büyüklükteki kaya blokların denk gelmesi iş ve süre kaybına sebep olabilir.
- İmalattan sonra duvar yüzeyi fazladan çalışma ile düzenlenmelidir.

- Kazık imalatı derin tabakalara ilerledikçe çevre yapılara olan mesafe de değişmektedir.
- Kazıklı perde imalatında diğer imalatlara göre daha fazla detay ve ekip işçiliği gerekmektedir [19].

3.2.3. Yanal zemin basınçları

Basınç, birim alana gelen kuvvet olarak tanımlanabilir. Zemin basıncı da herhangi bir yüzeye o zeminin kendi iç yapısındaki özellikleri ile uyguladığı kuvvettir. Zemin üç boyutlu bir malzeme olduğu için uygulayacağı basınç da düşey ve yatay doğrultuda olmaktadır. Bu çalışma istinat ve iksa yapılarıyla ilgili olduğu için daha çok yanal basınçlar üzerinde duracağız.

Etrafımızda inşa edilen veya yapılması planlanan yapıların çoğu zeminler üzerine oturmaktadır. Özellikle büyük kentlerde son yıllarda artan nüfus ve arsa stoklarının azalmasına bağlı olarak yapılar bodrumlu olarak yapılmak istenmektedir. Hal böyle olunca inşa edeceğimiz yapının arsası bulunduğu doğal kottan yapı temelini inşa edileceği kota kadar hafredilmesi gerekmektedir. Çoğu durumda dik bir kazı şeklinde yürütülen bu kazının iç cephelerine bir iksa sistemi uygulaması zorunlu hale gelmektedir. Tam da bu noktada kazısı yapılacak olan arsadaki zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerine bağlı olarak yapılması planlanan iksa sistemine yanal toprak basınçları etki etmektedir.

Zeminde sükunetteki toprak basıncı, aktif toprak basıncı ve pasif toprak basıncı olmak üzere üç temel basınç durumu vardır. Bu üç basınç şekli aynı parametrelere bağlı olarak oluşmaktadır. Ancak aralarındaki fark zeminin aldığı yük veya zorlanma durumunu ifade eden ‘‘K’’ katsayısıdır. Bunun dışında yanal basınç derinliğe ve zeminin birim hacim ağırlığına bağlıdır. ‘‘K’’ katsayısı da zemini içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyona (c) bağlıdır.

Herhangi bir noktada sisteme etkiyen yanal toprak basıncı (Denklem 3.1) ile hesaplanır;

$$P_h = \gamma \cdot K \cdot z \quad (3.1)$$

P_h : Herhangi bir noktadaki toprak basıncı

γ : Zeminin birim hacim ağırlığı

K : Toprak basıncı katsayısı

z : Yüzeye olan mesafe (derinlik)

Yanal toprak basıncı zeminin özelliklerine bağlı olduğu kadar zemin ile istinat duvarı arasındaki yapı-zemin etkileşimine ve birbirlerine göre rölatif yer değiştirmelerine de bağlıdır. Zemin ile istinat yapısı arasındaki etkileşim yani rölatif hareket durumuna göre basınç şekli ve büyüklüğü yukarıda bahsettiğimiz üç temel basınç türünden birine dahil olmaktadır. Destekleme sistemlerine dahil olan yanal toprak basınçlarını sırasıyla inceleyelim.

3.2.3.1. Sükunetteki toprak basıncı

Zeminin hareket etmediği, doğal halidir. Yani zeminin sisteme sistemin de zemine göre rölatif hareketinin olmadığı durumdur. P_o ifadesiyle gösterilir ve (Denklem 3.2) eşitliğiyle hesaplanır.

$$P_o = K_o \cdot \gamma \cdot z \quad (3.2)$$

Rijit, yatay ötelenmesi olmayan ve dönmeyen bir istinat duvarı inşa edildiği kabulü ile yola çıkıldığında, duvar arkasındaki zeminde yanal yönde birim deformasyon meydana gelmeyecektir. Bu durumda yerdeki yanal gerilmeler, henüz gerilme durumunun bozulmadığı doğal haldekine eşit olacaktır. Bu halde oluşan yanal toprak basıncına, sükunetteki yanal toprak basıncı denir ve yanal toprak basıncı katsayısı “ K_o ” ile gösterilir.

Sükunetteki toprak basıncı katsayısının belirlenmesinde gerçeğe en yakın sonuç veren değeri elde edebilmek için sahada pressiometre deneyi yapılması gerekmektedir. Bunun yanında zemin parametreleri arasındaki ilişki ve zemin parametrelerinin birbirleriyle olan etkileşimlerinden faydalanarak ampirik

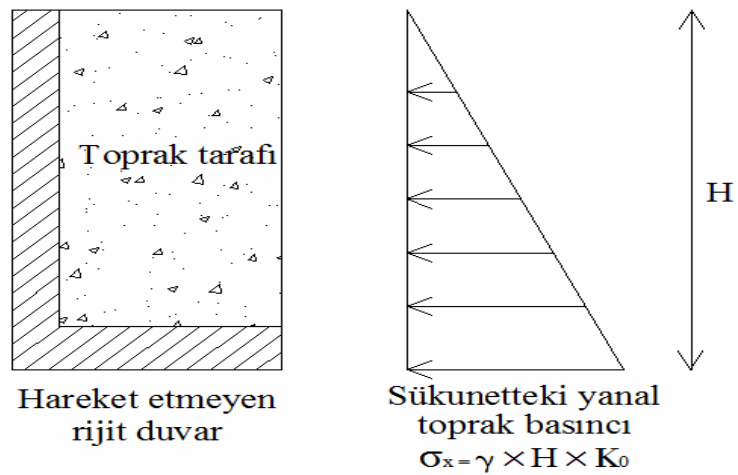
formüllerle de belirlenebilmektedir. Zemin mekaniği araştırmacısı Mayne ve Kulhawy'nin belirlediği (Denklemler 3.3) kil zeminlerden çakıl zeminlere kadar yapılan 170 farklı deney sonucunda ortaya çıkmıştır [11].

$$K_o = (1 - \sin \phi') (OCR)^{\sin \phi'} \quad (3.3)$$

Burada "OCR" aşırı konsolidasyon oranını, " ϕ' " zemini içsel sürtünme açısını temsil etmektedir [20].

Duncan vd. tarafından yapılan çalışmada ise ağırlık tipi istinat yapılarında arkası kum ile doldurulmuş ve ana kayaya oturan duvarın sükunetteki toprak basınçları zeminin sıkıştırılıp sıkıştırılmama durumuna göre iki sabit değer belirlenmiştir. Bu değerler arkasındaki zemin sıkıştırılmış ağırlık tipi istinat duvarı için $K_o = 0.45$, arkasındaki zemin sıkıştırılmamış ağırlık tipi istinat yapısı için $K_o = 0.55$ olarak kullanılması tavsiye edilmiştir [21].

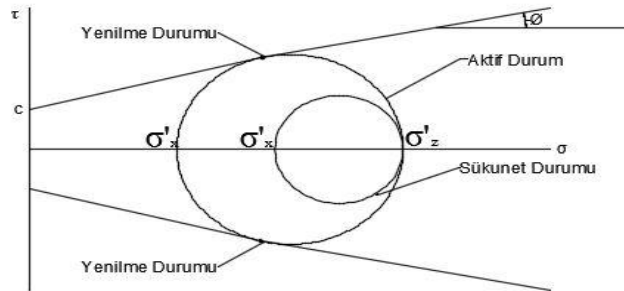
Düzgün dağılımlı bir granülometriye sahip zeminde sükunetteki toprak basıncı katsayısı sabit olup efektif gerilme Şekil 3.24.'deki gibi derinliğe bağlı olarak düzgün doğrusal olarak artar.



Şekil 3.24. Sükunetteki toprak basıncı

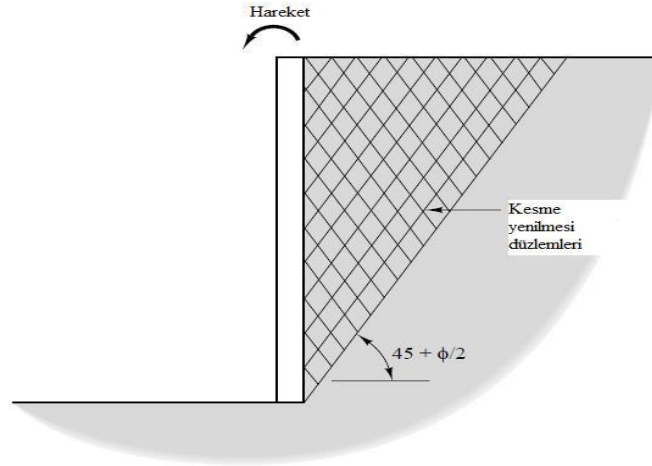
3.2.3.2. Aktif toprak basıncı

Dayanma yapılarına etkiyen aktif ve pasif toprak basıncı katsayıları zeminin duvara göre kendinden uzaklaşması veya kendine yaklaşması durumuna göre belirlenmektedir. Zemin kendinden uzaklaşarak ferahlama yapıyorsa aktif toprak basıncı katsayısı kullanılmaktadır. Aktif toprak basıncı, adından da anlaşılacağı üzere harekete geçen zeminler için kullanılan bir terimdir. İstinat yapısının öne doğru hareket etmesi, dönmesi veya ötelenmesi sonucu yapının arkasındaki zeminde de ön tarafa doğru bir hareket oluşur. Elastik durumdaki zemin hareket miktarındaki artışa bağlı olarak zemin tanecikleri arasındaki gerilmeler de azalmaya başlar. Bu zemin tanecikleri arasındaki azalma zemin elastik durumdan plastik duruma geçene kadar devam eder. Bir süre sonra tanecikler arasındaki çekim o kadar azalır ki zemin artık yenilir ve plastik deneyeğe ulaşır. Bu durum Şekil 3.25.'de mohr dairesiyle ifade edilmiştir.



Şekil 3.25. Aktif ve pasif toprak basıncı için Mohr-Coulomb dairesi

Aktif toprak basıncından dolayı yenilen zeminde geçen süreç mohr dairesinde anlatılacak olursa sükunetteki durumda zeminin daire çapı kırılma zarfından daha düşük olduğu için elastik durum özellikleri göstermektedir. Zamanla Şekil 3.26.'deki gibi aktif duruma geçen zeminin mohr daire çapı giderek artar ve bu artma kırılma zarfına teğet olana kadar devam eder. Zeminin mohr daire çapı kırılma düzlemine teğet olduğu anda ise zemin yenilir ve plastik denge oluşur.



Şekil 3.26. Aktif toprak basıncı

Aktif toprak basıncı için Mohr-Coulomb dairesi geometrisinden yararlanılarak aktif toprak basıncı katsayısı bulunabilir.

Kohezyonsuz zeminler için (Denklem 3.4) [21];

$$\frac{\sigma_{hmin}}{\sigma'_v} = K_a = \frac{1 - \sin \phi'}{1 + \sin \phi'} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3.4)$$

Kohezyonlu zeminler için (Denklem 3.5) ;

$$K_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) - \frac{2c'}{\sigma'_v} \tan \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3.5)$$

K_a : aktif toprak basıncı katsayısı

c : kohezyon

ϕ : içsel Sürtünme Açısı

σ_v : efektif gerilme

Zemin aktif duruma geçtikten sonra hareketini tamamlayıp dengeye gelene kadar yatay gerilme sürekli azalır ve aktif durum tamamlandığında minimum değerine ulaşır.

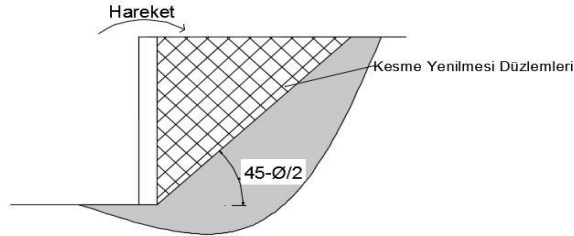
Bunun yanında zeminin aktif duruma geçebilmesi için daha doğrusu aktif duruma geçti diyebilmemiz için oluşması gereken minimum deplasman miktarları vardır. Bu miktarlar farklı zemin türlerine göre ve bulunduğu zeminde de duvar yüksekliklerine bağlı olarak değişmektedir. Zemin cinsi ve duvar yüksekliğine bağlı olarak zeminin aktif duruma geçmesi için gereken değerler Tablo 3.5.'de gösterildiği gibidir;

Tablo 3.5. Aktif duruma geçmek için gerekli hareket miktarları [21]

Zemin Türü	Aktif Duruma Erişmek İçin Gerekli Yatay Hareket
Sıkı Kum	0.001H
Gevşek Kum	0.004H
Katı Kil	0.010H
Yumuşak Kil	0.020H
H (duvar yüksekliği)	

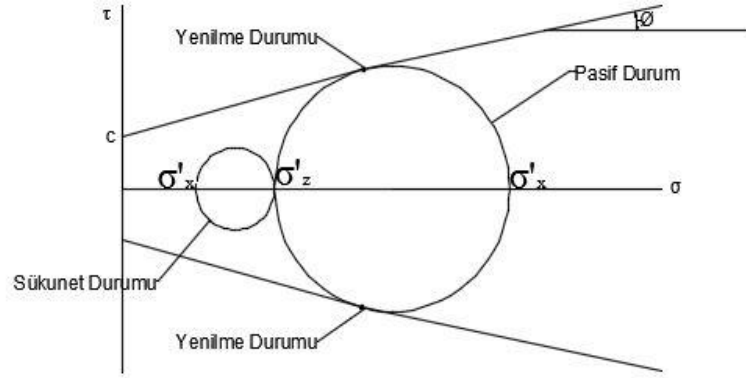
3.2.3.3. Pasif toprak basıncı

Pasif toprak basıncı durumunu aktif durumun tam tersi olarak düşünebiliriz. Aktif durumda zemin istinat yapısına doğru hareket ederken pasif durumda istinat yapısı Şekil 3.27.'deki gibi zemine doğru hareket etmektedir.



Şekil 3.27. Pasif toprak basıncı

Zeminin pasif duruma geçebilmesi için aktif durumda olduğunda daha fazla kuvvete ihtiyaç vardır. Çünkü burada zemin kendi isteğiyle bir ferahlama değil de istinat yapısından dolayı zorlanarak yük alma durumuna maruz kalmaktadır. Aktif durumdakinin aksine zemin tanecikleri arasındaki gerilmeler giderek artmaktadır. Bu gerilmeler zeminin taşıyabileceği maksimum sınır değeri aştığında zemin yenilecektir. Buradan da anlaşılacağı üzere zeminlerin dayanabildiği bir alt gerilme bir de üst gerilme sınırı vardır. Eğer bu sınırlar aşılar veya bu sınırların altına inilirse zemin yenilir ve bu durum plastik denge oluşana kadar devam eder.



Şekil 3.28. Sükunetteki zeminin pasif duruma geçmesi

Zemin pasif duruma geçerken sükunetteki zemin basıncı dairesinin çapı ve zemin taneleri arasındaki gerilmeler Şekil 3.28.'deki gibi artar. Bu artış pasif toprak basıncı katsayısı (K_p) ile orantılı olarak artmaktadır. K_p değeri zeminin kohezyonlu ve kohezyonsuz olması durumuna göre Mohr daresi yardımıyla bulunabilir.

Kohezyonsuz zeminler için (Denklem 3.6);

$$\frac{\sigma_{hmin}}{\sigma'_v} = K_p = \frac{1 + \sin \phi'}{1 - \sin \phi'} = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3.6)$$

Kohezyonlu zeminler için (Denklem 3.7);

$$K_p = \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + \frac{2c'}{\sigma'_v} \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \quad (3.7)$$

K_p : pasif toprak basıncı katsayısı

Zemin pasif duruma geçtikten sonra hareketini tamamlayıp dengeye gelene kadar yatay gerilme sürekli artar ve pasif durum tamamlandığında maksimum değerine ulaşır.

Aktif durumda olduğu gibi zeminin pasif duruma geçebilmesi için zemin türü ve duvar yüksekliklerine bağlı olarak bazı sınır değerler vardır. Bu sınır değerler tahmin

edilebileceği gibi aktif durumdakinden çok daha büyüktür ve Tablo 3.6.'da gösterildiği gibidir.

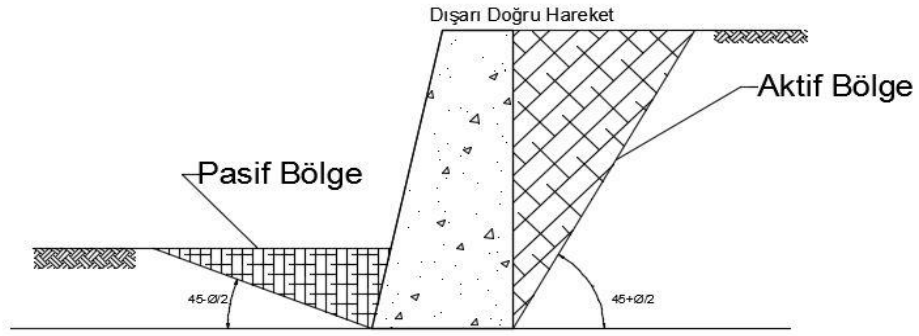
Tablo 3.6. Pasif duruma geçmek için gerekli duvar hareketi [21]

Zemin Türü	Pasif Duruma Erişmek İçin Gerekli Yatay Hareket
Sıkı Kum	0.020H
Gevşek Kum	0.060H
Katı Kil	0.020H
Yumuşak Kil	0.040H
H (duvar yüksekliği)	

Aktif ve pasif durumlara tam anlamıyla erişmek için gerekli hareketler her ne kadar duvar yüksekliğine ve zemin cinsine bağlı bir sınır değerler olsa da, bu değerlerin çok daha altındaki bazı durumlarda yanal toprak basıncında ciddi değişimler gözlemlenebilmektedir. Dayanma yapıları hakkında ayrıntılı deney ve incelemeler yapan Terzaghi bu durumu şöyle ifade etmiştir;

Arka dolgusu içsel sürtünme açısı yüksek sıkıştırılmış kum zeminlerle doldurulan istinat yapılarındaki küçük bir hareket yanal basınç katsayısını 0.2 kadar azaltabilir veya 1.00 katına kadar arttırabilir. Söz konusu durum içsel sürtünme açısı olmayan veya çok düşük olan zeminlerde söz konusu değildir [22].

Aktif ve pasif toprak basıncı katsayılarının belirlenmesinde en yaygın kullanılan Rankine ve Coulomb'un geliştirdiği aktif ve pasif toprak basıncı katsayısı formülleri kullanılmaktadır. Zeminin dışında etkiyen ilave yükler de elastisite teorisine dayanan bazı ampirik formüller ile hesaplanmaktadır. Coulomb ve Rankine'in geliştirdiği formüller zeminin belirli bir doğrultuda kırıldığını varsayarak oluşturulmuş formüllerdir. Bu kırılma düzleminin oluşması için de Şekil 3.29.'daki gibi zemin ya sınır deplasman değerini aşacak kadar öne doğru hareket etmeli ya da sınır deplasman değerini aşacak kadar kendine doğru hareket etmelidir. Eğer duvar boyu ile bağlantılı olan sınır deplasman değerini aşmaz ise kırılma zarfı oluşmaz. Bunun sebebi zeminin kendi elastik özelliklerini kaybedecek kadar tanecikler arası bağlantının kopmamış olmasıdır. Böyle durumlarda elastoplastik özelliğe sahip zeminin davranışları elastik ve plastik davranışlar olarak ele alınmalıdır [20].



Şekil 3.29. Aktif ve pasif basınç bölgeleri

3.2.3.4. Yanal toprak basıncı teorileri

3.2.3.4.1. Rankine yanal toprak basıncı teorisi

Rankine teorisinin geçerli olabilmesi için aşağıdaki kabullerin sağlanması gereklidir ;

- Zemin düzgün dağılıma sahip ve izotropdur.
- Zemin yenilme yüzeyi doğrusal bir düzlemdir.
- Ele alınacak duvar sonsuz uzunlukta ve sistem iki boyutlu olarak ele alınacaktır.
- Dayanma yapısının aktif ve pasif durumu oluşturacak kadar hareket ettiği varsayılır.
- Zemin ile istinat duvarı arasındaki sürtünme ihmal edilebilir [21].

Bu teoride aktif toprak basıncı en genel hali ile (Denklem 3.8) ile hesaplanır:

$$P_a = -2c \sqrt{K_a} + K_a \times \gamma \times H \quad (3.8)$$

Bu bağtıda;

P_a : aktif yanal toprak basıncını,

c : zemindeki kohezyonu,

K_a : aktif yanal toprak basıncı katsayısını,

γ : zeminin birim hacim ağırlığını,

H: duvar yüksekliğini temsil etmektedir.

Duvar arkası zeminin yatay konumda olması halinde; aktif durumda yanal toprak basıncı katsayısı (Denklem 3.9) ve pasif durumda yanal toprak basıncı katsayısı (Denklem 3.10) ile hesaplanmaktadır. Bu bağıntılarda $\emptyset$, içsel sürtünme açısıdır.

$$K_a = \tan^2(45 - \frac{\emptyset}{2}) \quad (3.9)$$

$$K_p = \tan^2(45 + \frac{\emptyset}{2}) \quad (3.10)$$

Duvar arkası dolgu zeminin yatay düzlemde bir β açısı yaptığını düşünürsek; aktif ve pasif durumlardaki yanal toprak basıncı katsayıları (Denklem 3.11) ve (Denklem 3.12) ile hesaplanmaktadır [22].

$$K_a = \frac{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}}{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}} \quad (3.11)$$

$$K_p = \frac{\cos\beta + \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}}{\cos\beta - \sqrt{\cos^2\beta - \cos^2\emptyset}} \quad (3.12)$$

Rankine teorisine göre derinlikle düzgün olarak artan yanal basınç kuvveti ise (Denklem 3.13) ile hesaplanabilir;

$$F_a = \frac{H^2 \times \gamma \times K_a}{2} \quad (3.13)$$

İstinat yapısı arkasında farklı özelliklere sahip zemin bulunması halinde bileşke kuvvet vektörü farklı yöntemlerle hesaplanabilmektedir.

3.2.3.4.2. Coulomb yanal toprak basıncı teorisi

Öncelikle Coulomb teorisinin geçerli olabilmesi için aşağıdaki kabullerin yapılması gereklidir:

- Farklı zemin katmanlarındaki zemin özellikleri aynıdır.
- Yatay konumda olmak şartıyla birden fazla zemin katmanı bulunabilir.
- İstinat yapısı arkasındaki zeminin yüzeyi eğimli olsa bile düzlem olarak ele alınır.
- İstinat yapısı arkasındaki zeminin eğimli olması durumunda su seviyesi ya tam eğimin başladığı topuktan alınır ya da eğimin bittiği üst noktadan alınır. Duvar arkası zemin yüzeyi düzgün ise yer altı su seviyesi herhangi bir noktadan alınabilir.
- Varsa istinat yapısının üzerindeki ve eğimli yüzey üzerindeki sürşarj yükü düzgün doğrusal ve tüm alana yayılmış olarak ele alınır.
- İstinat yapısı arkasındaki yüzey eğimli ise zemin granüler olması gerekmektedir. Eğimli değil ise kohezyonlu bir zemin (Denklem 3.14) ile hesap yapılabilir [22].

$$P_a = -2c\sqrt{K_a} + K_a \times \gamma \times H \quad (3.14)$$

Bu bağıntıda;

P_a : aktif yanal toprak basıncını,

c : zemindeki kohezyonu,

K_a : aktif yanal toprak basıncı katsayısını,

γ : zeminin birim hacim ağırlığını,

H : duvar yüksekliğini temsil etmektedir.

Coulomb ve Rankine teorilerini birbirinden ayıran en önemli fark aktif ve pasif toprak basıncı katsayılarının hesabındadır. Rankine hesaplamalarında duvar ile zemin arasındaki sürtünme kuvvetini ihmal ederken Coulomb hesaplarında bu parametreyi de kullanmıştır. Coulomb'a göre aktif toprak basıncı katsayısı (Denklem 3.15) ile hesaplanır;

$$K_a = \frac{\sin^2(\theta + \emptyset) \times \cos(\delta)}{\sin\theta \times \sin(\theta - \delta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \emptyset) \times \sin(\emptyset - \beta)}{\sin(\theta - \delta) \times \sin(\theta + \beta)}} \right]^2} \quad (3.15)$$

Duvar ile zemin arasında sürtünmenin varlığı gerçekte olandan çok daha yüksek değerler verir. Bu yüzden duvar ile zemin arasındaki sürtünme ihmal edilir. Duvar ile zemin arasındaki sürtünmenin ihmal edildiği durumda pasif yanal toprak basıncı katsayısı (Denklem 3.16) ile hesaplanır [22]:

$$K_p = \frac{\cos^2(\theta)}{\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\theta) \times \sin(\theta + \beta)}{\cos(\beta)}}\right]^2} \quad (3.16)$$

Yukarıdaki formüllerde; θ duvar yüzeyinin yatay ile yaptığı açığı, δ duvar sürtünme açısını ve ϕ içsel sürtünme açısını temsil etmektedir.

3.2.3.5. Yeraltı suyunun yanal basınca etkisi

Buraya kadar konuştuğumuz tüm yanal basınç teorileri ve formülleri yeraltı su seviyesinin iksa temelini altında olduğu durumlar için geçerli teori ve formüllerdi. Eğer yeraltı su seviyesi iksa temel kotunun üzerinde olursa temel kotunun üzerine çıktığı kısım kadar hidrostatik basınç yanal zemin basıncına eklenir.

Diğer taraftan su seviyesinin yükselmesinden kaynaklanan efektif gerilmedeki düşüş hem sükunetteki hem aktif hem de pasif toprak basınçlarında azalmaya sebep olacaktır. Bu faktör de göz önünde bulundurulmalıdır.

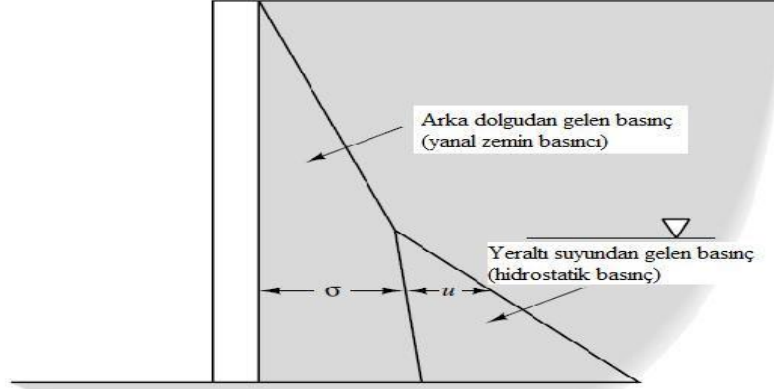
Diğer bir konu ise temelin tabanı ile zemin arasındaki efektif gerilme değeri de düşer ve buna bağlı olarak temele gelen kesme kuvvetlerinde de azalma görülür.

Duvar arkasında görülen herhangi bir noktadaki hidrostatik basınç (Denklem 3.17) ile hesaplanır.

$$u = \gamma_w \cdot z_w \quad (3.17)$$

Burada z_w , su tablası altından olan derinlik, u , z_w derinliğinde duvara etkiyen hidrostatik basınç ve γ_w , suyun birim hacim ağırlığıdır.

Şekil 3.30.'da yeraltı su seviyesine bağlı olarak yanal zemin basınçlarındaki artış ve oluşan hidrolik basıncın temsili şekli gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Yeraltı suyunun yanal basınca etkisi

3.2.3.6. Toprak basıncına etki eden ilave yükler

Duvar arkası zemin üzerinde bir çok sebepten dolayı ilave yükler oluşabilir. Bu yükler daha önce yapılmış bir yapıdan, iş makinesi çalışmasından, yol hattındaki araçlardan ve buna benzer daha bir çok nedenden dolayı duvar arkasındaki zemine ilave yük olarak gelebilir.

İlave yüklerin hesaplanmasında zemine etkiyen yükler tekil, çizgisel, üniform yayılı yük şeklinde gelebilir. Bu yüklerin zemine yansıtılma yöntemleri olarak bir çok ampirik formül üretilmiştir.

Bunların yanında bir istinat duvarının arkasına gelen yükler genelde üniform yayılı veya çizgisel yüke çevrilerek zemine eşit oranda dağıtıldığı varsayılmaktadır.

3.2.3.7. Çok sıra destekli iksa sistemlerine etkiyen toprak basınçları

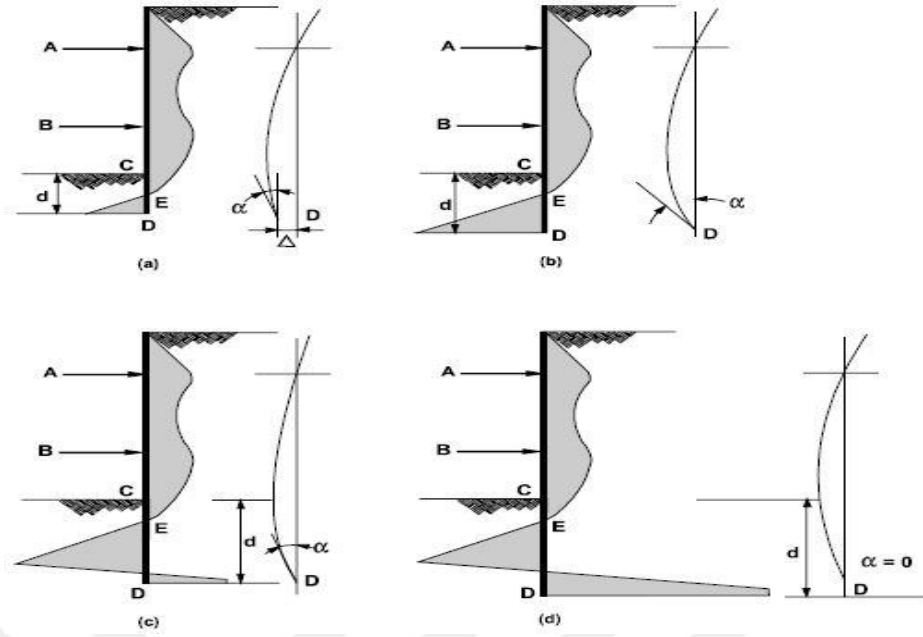
3.2.3.7.1. Soket boyu ve kazık davranışı ilişkisi

Kazık imalatında kazık ucunun nihai kazı kotundan aşağıda kalan kısmına soketleme nihai kazı kotundan aşağıda kalan mesafeye ise soketleme boyu denmektedir. Soketleme boyunun kazık deplasman ve ötelenme miktarı ile doğrudan ilişkili olduğu yapılan çalışmalar sonucunda belirlenmiştir. Aynı zamanda soketleme boyu kazık çapı aralığı ve ankraj mesafesini de etkileyebilmektedir. Hatta kazığın kayaya yeteri kadar soketlenmesi veya soket miktarının belirli bir miktar arttırılması halinde kazıklı istinat duvarının konsol olarak çalışması ve ankraja gerek olmaması sağlanabilmektedir.

Kazık soket boyunun arttırılması ile kazık davranışı arasındaki etkileşim kademeli olarak incelendiğinde soket boyu arttıkça belirli bir seviyeye kadar kazığın hem alt hem üst ucundaki değişimler meydana geldiği belirli bir soket boyundan sonra ise sadece kazığın üst ucunda değişimlerin olduğu gözlemlenmektedir. Burada bahsedilen “belirli boy” ifadesi zeminin cinsine, kazığın çapına, kazı derinliğine ve buna benzer parametrelere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Amerikan ulusal karayolları şartnamesinde Şekil 3.31’de artarak giden dört farklı soket boyu uygulanan kazık örneğini ele aldığımızda birinci kademe soket boyu uygulanan kazık dip noktasında Δ kadar ötelenme ve α açısı kadar dönmenin olduğu gözlemlenmiştir. Soket boyu bir miktar daha arttırıldığında ötelenmenin olmadığı sadece α açısı kadar dönmenin olduğu gözlemlenmiştir. Soketleme boyu bir miktar daha arttırıldığında oluşan α açısının azaldığı gözlemlenmiş ve soketleme boyu bir miktar daha arttırıldığında artık kazık uç noktasındaki dönmenin de oluşmadığı gözlemlenmiştir.

Bu örnek uygulamadan da anlaşılacağı üzere kazık soketleme boyunun kazık ötelenme ve dönme miktarıyla doğrudan ilişkili olduğu ve soket boyu arttıkça deplasmanların azalacağı hatta sıfıra indirilebileceği anlaşılmaktadır [23].



Şekil 3.31. Kazıklı duvar ve soket boyu arasındaki etkileşim [23]

3.2.3.7.2. Kademeli kazı ve ankraj germe durumunda yanıl basınç değışimi

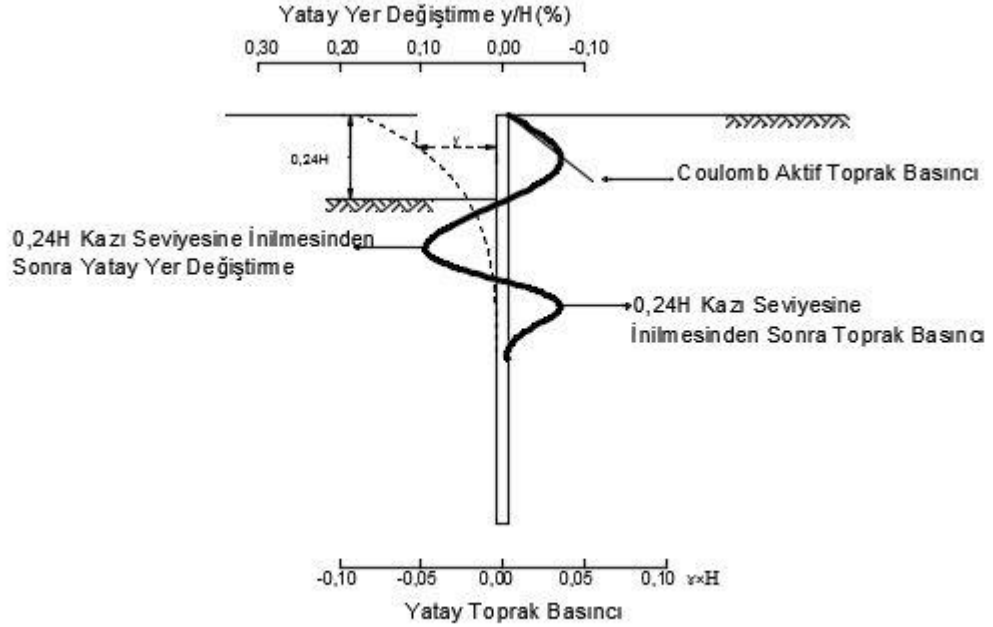
Desteksiz yapılan kazılar ve çok sıra desteğe sahip olmayan kazı-destek sistemlerinde oluşan yanıl basınç dağılımı birden fazla kademeli desteğe sahip kazı-destek sistemlerinde oluşan basınç dağılımı ile farklılık göstermektedir.

Birden fazla kademe bulunmayan iksa sistemlerinde yanıl basınç derinlikle doğru orantılı olarak nihai kazı kotuna kadar sürekli artmaktadır. Çok sıralı desteğe sahip iksa sistemlerinde ise kazı kademeleri ve ankrajların gerilme durumlarına göre sistem farklı basınç dağılımı gösterecektir. Bu farklı basınç dağılımı durumu sırasıyla aşağıdaki detaylı bir şekilde açıklanacaktır.

İlk olarak Şekil 3.32.’deki gibi birinci sıra ankraj seviyesine kadar kazı işlemi yapılır. Birinci kademe kazı esnasında oluşan yanıl basınç standart olarak derinlik, zeminin birim hacim ağırlığı ve yanıl basınç katsayısının çarpılmasıyla oluşan ve kazı derinliği boyunca üçgen dağılım gösteren bir basınç kuvvetidir.

Bu durumda sistem konsol duvar gibi bir davranış gösterir. Oluşan yanıl toprak basıncı ise Coulomb aktif yanıl toprak basıncı teorisi değeriyle hemen hemen aynı çıkmaktadır. Bununla birlikte sistemde oluşan sehım değeri çok düşük olmakla

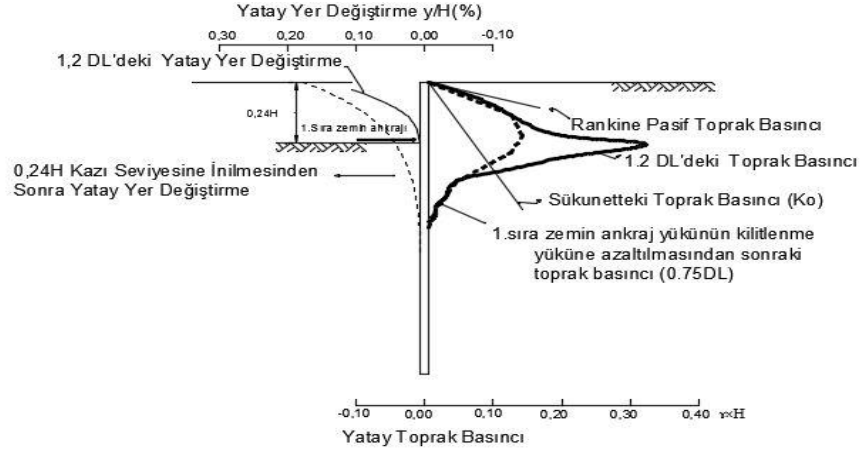
beraber daha önceki bölümde belirttiğimiz, oluşan basıncı aktif toprak basıncı olarak kabul edebilmemiz için gereken minimum sehım miktarını sağlamaktadır.



Şekil 3.32. Birinci kademe kazı yapılması sonucu sistemin yanal basınç ve sehım davranışı [23]

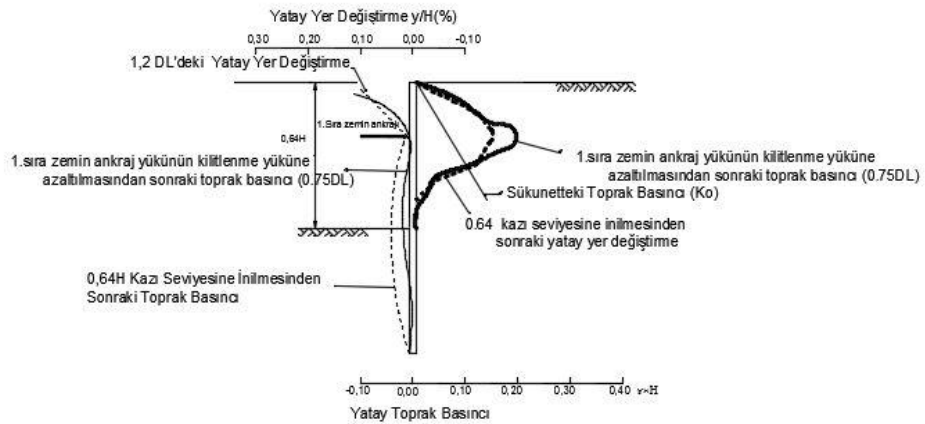
Birinci kademe kazının tamamlanmasının ardından Şekil 3.33.'deki gibi birinci sıra ankrajların ön germe yüklerini uygulama ve bu yükte kilitleme işlemi yapılmıştır. Öngerme yükü verilen ankraj seviyesinde çok ciddi yanal basınç artışları oluşurken ikinci kademe kazının yapılmaya başlanması ile kazı derinliği boyunca basınç azalmıştır.

İlk kademe kazıyla birlikte bir miktar sehım yapan iksa sitemi birinci sıra ankrajlara ön germe uygulanmasından sonra duvar arkası zemine yaslınsa da tamamıyla ilk halini alamamaktadır. Ön germe yükünün çok büyük olduğu projelerde oluşan yanal basınç pasif durumdaki basınç değerine kadar çıkabilmektedir.



Şekil 3.33. Birinci sıra ankraja ön germe uygulanması ve sistemin davranışı [23]

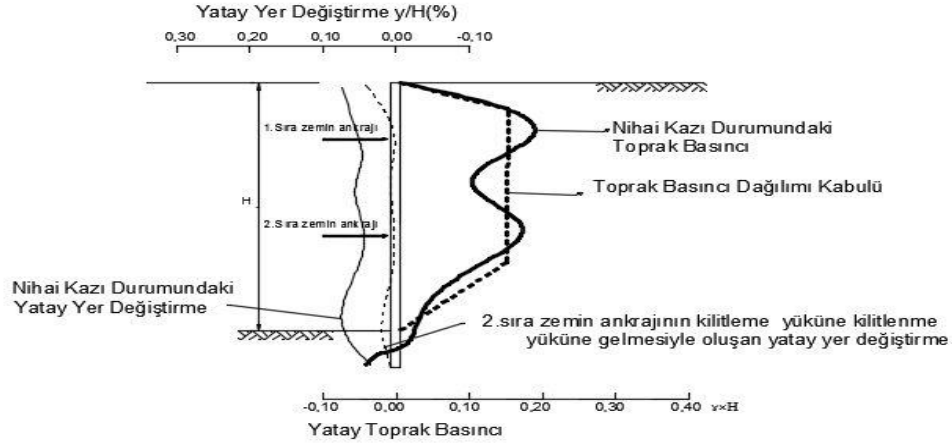
İkinci kademe kazının yapılmaya başlanmasıyla birlikte sistemde bir miktar daha ferahlama oluşmaktadır. Oluşan bu ferahlama ile birlikte sehim bir miktar artmakta ve yanal toprak basıncı birinci sıra ön germe basıncından itibaren Şekil 3.34.'deki gibi ikinci kademe nihai kazı kotuna kadar sürekli olarak azalmaktadır.



Şekil 3.34. İkinci kademe kazının yapılması ve sistemin davranışı [23]

İkinci kademe kazının tamamlanmasıyla birlikte ikinci sıra ankrajlara ön germe yükü uygulanmış ve oluşan yanal toprak basıncının birinci sıra ankrajlarda karşılaşılan yanal toprak basıncına yakın değerler olduğu gözlemlenmiştir. İkinci kademe kazının yapılmasıyla artan sehim miktarı da ön germe işleminden sonra ankraj noktasında sıfıra yakın değere ulaşmış ve diğer noktalarda da çok ciddi azalmalar gözlemlenmiştir. İki kademe kazı ve ankrajdan oluşan bu sistemde son kademe kazının yapılmasıyla birlikte ön yükleme noktalarında oluşan yanal toprak basıncı

Şekil 3.35.'deki gibi nihai kazı kotuna kadar sürekli bir azalma göstermiş ve nihai kazı kotunda minimum değerine ulaşmıştır.



Şekil 3.35. İkinci sıra ankraja öngerme uygulaması [23]

Yukarıda değinilen uygulamada görüyoruz ki yanal toprak basıncı dağılım durumları çalışılmış mevcut basınç teorilerinde öne sürülen basıç dağılım durumlarından çok daha farklıdır. Bunun en büyük sebebi ise kademeli kazı yapılan kazıklı duvar sisteminde her kademe açıldığında çok büyük değerlere ulaşan ankraj yüklerinin uygulanması ve kazının kademeli olarak yapılmasıdır. Kademeli olarak yapılan kazıda hem zemine etkiyen basınç hem de duvara gelen yanal toprak basıncı kazının ve ön yüklemenin durumuna göre değişiklik göstermektedir [23].

İncelenen bu kademeli kazı ve ön germeli ankraj destek sistemi gösteriyor ki sisteme etki eden ön germe yükleri kazı yapıldığında sistemin ferahlaması gibi etkenler yanal toprak basıncını, sehim ve iksa sistemindeki deformasyonları doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle sistemin farklı kademelerinde farklı yük dağılımları ve farklı sehim değerleri oluşmaktadır. Bu sebepten sistemin tümü için yapılan analizler kritik durumlarda farklı kademeler için sistemin güvenliğini sağlamak adına ayrı ayrı analiz yapılmalıdır.

Yukarıda ele alınan çok sıralı destek sistemlerinin analizi ve sisteme etkiyen yanal toprak basınçları hakkında bir çok teori geliştirilmiştir. Bu teoriler zeminin cinsine ve

mekanik özelliklerine göre bazı farklılıklar gösterebilirler de temelde aynı noktalar üzerinde durmaktadırlar.

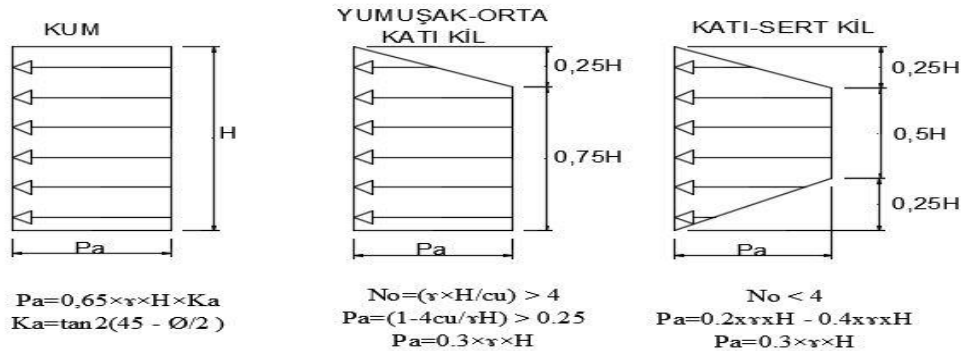
3.2.3.8. Farklı zeminlerde yanal toprak basıncı teorileri

Terzaghi ve Peck (1967), Şekil 3.36.'da istinat duvarı arkasındaki zeminin kum olması durumunda duvara etkiyecek yanal toprak basıncının kazı derinliği boyunca düzgün yayılı yük olarak etkiyeceğini öne sürmüştür [24]. Bunun yanında istinat duvarı arkasında yeraltı suyunun bulunmadığını veya varsa bile nihai kazı kotuna kadar drene edilmiş olması gerektiğini belirtmektedirler. Nihai kazı kotundaki yanal toprak basıncı ise (Denklem 3.18) ile hesaplanmaktadır [24].

$$P_m = 0.65 K_a \cdot \gamma \cdot H \quad (3.18)$$

Terzaghi ve Peck kohezyonlu zeminlerde ise yanal toprak basıncını hesaplamak için aktif toprak basıncı (K_a) katsayısını azaltarak kullanılması gerektiğini önermiştir. Kohezyonlu zeminler için ise aktif toprak basıncı katsayısı (Denklem 3.19) ile hesaplanmaktadır.;

$$K_a = 1 - m \frac{4Cu}{\gamma \cdot h} \quad (3.19)$$



Şekil 3.36. Terzaghi-Peck'e göre çok sıra destekli iksalarda yanal toprak basıncı dağılımı [24]

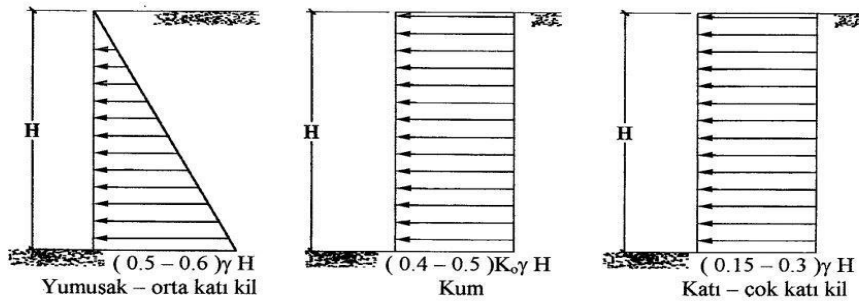
NAVFAC (1988), çok sıra destekli duvarlar için Şekil 3.37.'de gösterilen dağılımı öne sürmüştür [25]. Bu dağılımı kullanmasının sebebi ise çok sıra destekli sistemde içten destekli sisteme göre daha az deplasman olacağı ve bu yüzden de sistemin daha fazla basınca maruz kalacağıdır. Yumuşak-orta katı kildeki yaklaşımı ise birinci sıra ankrajların gerçekte olduğundan çok fazla ankraj yüküyle yüklendiği ama gerçekte bu kadar fazla yük almadığı gerekçesiyledir [26].

NAVFAC öngörüsünde kritik deplasmanların bulunduğu zeminde sıkı dizilime sahip kum zeminlerde $K_o=0.4$ gevşek dizilime sahip kum zeminlerde $K_o=0.5$ alınması şartıyla zayıf rölatif sıkılığa sahip granüler zeminlerde istinat yapısına etkileyen maksimum kuvvetin (Denklem 3.20) ile hesaplanacağını öne sürmüştür [27].

$$P_m = 0.3K_o \cdot r \cdot H \quad (3.20)$$

Yüksek rölatif sıkılığa sahip granüler zeminlerde istinat yapısına etkileyen maksimum kuvvetin ise (Denklem 3.21) ile hesaplanacağını öne sürmüştür.

$$P_m = 0.4K_o \cdot r \cdot H \quad (3.21)$$



Şekil 3.37. Navfac önerilen zemin basıncı dağılımı [25]

Tschebotarioff (1951), granüler zeminler için trapez bir yanal basınç dağılımı ileri sürmüştür ve oluşacak en büyük yanal toprak basıncı için (Denklem 3.22) ve (Denklem 3.23) ile hesaplanan sonuçlardan maksimum sonucu veren değer kullanılır [28].

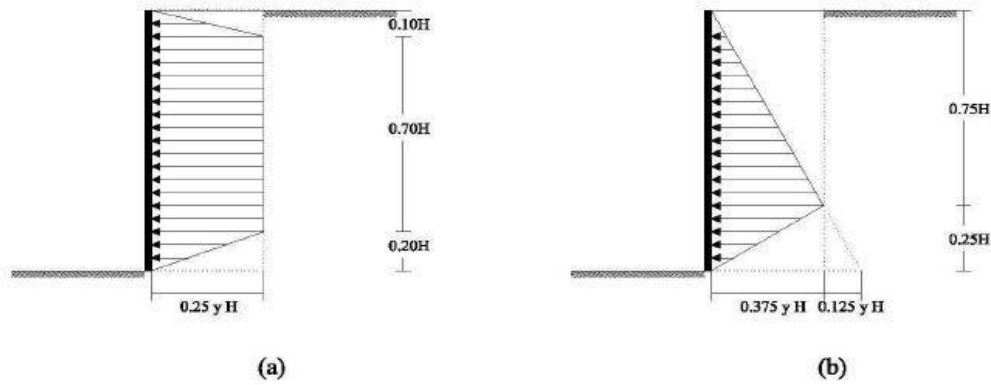
$$P_a = 0.25 \cdot r \cdot h \quad (3.22)$$

$$P_a = 0.8 K_a \cdot r \cdot h \cdot \cos \delta \quad (3.23)$$

Tschebotarioff, kohezyonlu zeminler için yanal toprak basıncı Şekil 3.38'deki gibi yüksekliğin 4'te 3'üne kadar artan üçgen son 4'te 1'lik kısım ise azalan üçgen yük şeklinde olduğunu söylemektedir. Sisteme etkiyen en büyük yanal toprak basıncı ise sistemin geçici ve kalıcı olması durumuna göre (Denklem 3.24) ve (Denklem 3.25) ile hesaplanmaktadır.

$$P_a = 0.375 \cdot r \cdot h \quad (\text{geçici iksa sistemi}) \quad (3.24)$$

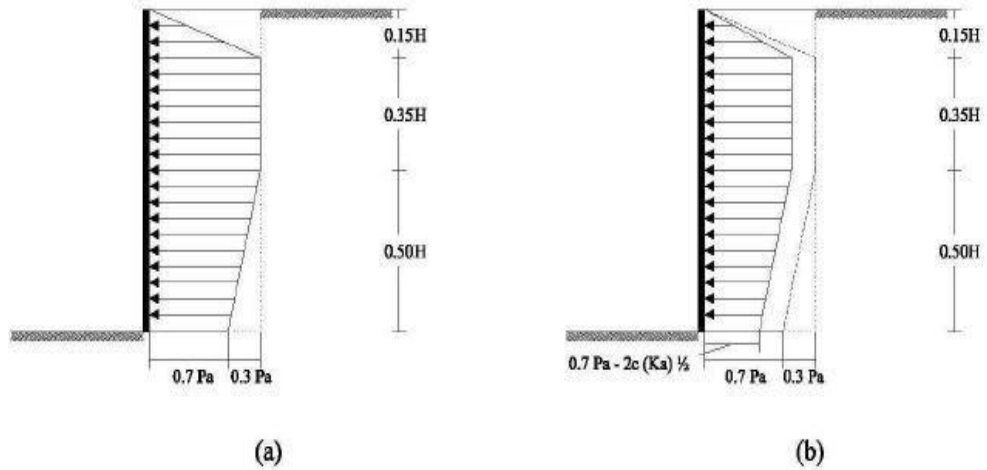
$$P_a = 0.5 \cdot r \cdot h \quad (\text{kalıcı iksa sistemi}) \quad (3.25)$$



Şekil 3.38. Tschebotarioff'a göre (a) granüler zeminler (b) kohezyonlu zeminler için maksimum yanal toprak basıncı [28]

Lehmann, granüler zeminler için yüksekliği Şekil 3.39.'daki gibi üç farklı parçaya ayırmıştır. İlk kısımda yanal toprak basıncı sürekli artarken ikinci kısımda sabit kalmaktadır. Üçüncü ve son kısımda ise parabolik bir şekilde azalmaktadır. Zemine etkiyen en büyük yanal toprak basıncı ise (Denklem 3.26) ile hesaplanmaktadır [29].

$$P_a = 0.6 K_a \cdot r \cdot h \quad (3.26)$$



Şekil 3.39. Lehman'ın ileri sürdüğü (a)granüler zeminler (b)kohezyonlu zeminler için maksimum yanal toprak basıncı grafikleri [29]

3.2.4. Derin kazı destek sistemleri için hesap yöntemleri

Derin kazı destek sistemlerinde kullanılan hesap yöntemleri diğer yapı elemanlarının hesap yöntemlerine göre oldukça karmaşıktır. Bunun en büyük sebebi ise hesapta kullanılacak olan parametrelerin çokluğu, zeminin homojen olmaması, yeraltı suları ve buna benzer kolay tahmin edilemeyen bir çok belirsizliğin olmasıdır.

Bütün bu olumsuzluklara rağmen bazı kabuller yaparak ve karmaşık formüller basite indirgenerek hesap yöntemleri geliştirilmiştir. Her ne kadar bu hesap yöntemleriyle tasarlanan ve tahkik edilen sistemler genel anlamda doğru sonuçlar verse de zemin hesap işlerinin temelinde tecrübe ve bilgi birikimi çok büyük öneme sahiptir. Mümkünse yapılan hesaplar ve sonuçların yorumlanması birkaç farklı geoteknik mühendisinin de görüşü alınarak uygulamaya başlanmalıdır.

Derin kazı destek sistemlerinde bir çok hesap yöntemi vardır ancak bunlardan en yaygın kullanılan ve kabul görmüş olan dört hesap yöntemi öne çıkmaktadır. Bunlar limit denge yöntemi, elastik zemine oturan kiriş yöntemi, yarı sonlu elemanlar yöntemi, sonlu elemanlar yöntemidir [30].

3.2.4.1. Limit denge yöntemi

Limit denge yönteminde stabilitesi sağlanacak olan zemin kayma düzleminin belirli bir yüzeyde ve kesin olarak olduğu kabulüyle ele alınır ve buna göre hesap yapılır. Bu hesap aşamaları şu şekilde takip edilir;

- Öncelikle bir kayma mekanizması doğrusu veya eğrisi tahmin edilir ve kaymanın bu düzlem boyunca oluşacağı varsayılır.
- Seçilen kayma düzlemi boyunca stabiliteyi sağlayacak kayma direnci hesaplanır.
- Ele alınan kayma yüzeyinde kaymaya zorlayan ve kaymaya direnen kuvvetler yardımıyla güvenlik sayısı hesaplanır.
- Hesap sonucuna ulaşmak için başlangıçta seçtiğimiz kayma düzleminin en kritik kayma düzlemi olup olmadığını bilmediğimiz için yapılan hesaplar en düşük güvenlik sayısını bulana kadar kayma yüzeyi değiştirilerek tekrar edilir.

3.2.4.1.1. Güvenlik sayısı kavramı

Güvenlik sayısı en basit haliyle kabul edilmiş kayma düzleminde dengeyi sağlamak ve daha güvenli tarafta kalmak amacıyla kayma direnci parametrelerinin veya gerilmelerin azaltıldığı bir sayıdır. Güvenlik sayısı genel olarak aşağıdaki eşitlik ile (Denklem 3.27) hesaplanmaktadır.

Güvenlik sayısının kullanılmasının en önemli sebeplerinden bir tanesi zeminin içeriğinde veya yapılan hesaplarda çok fazla kabullerin yapılmasıdır. Güvenlik sayısının kullanımını gerekli kılan bazı örnek durum ve haller şu şekilde sıralanabilir;

- Zemin parametrelerinin belirlenmesi amacıyla yapılan sondaj sırasında numunelerin istenilen titizlikle korunmama durumu.
- Aslında heterojen olan zeminin homojen kabul edilmesi.
- Laboratuvar da deney esnasında yapılabilecek hatalar veya ihmallerin olması.

- Numune alınan zemin içeriğinde bilinmeyen durum ve nesneler ile karşılaşılması.
- İksa sisteminin imalatı sırasında yapılan hatalar.
- Farklı hava koşulları altında zeminin gösterdiği tepki ve davranışlar.

Bu ve buna benzer bir çok sebepten dolayı güvenlik sayısı kullanımı güvenlik açısından gerekli görülmektedir.

$$GS = \frac{\text{Kayma Direnci}}{\text{Dengede Kalmak için Kayma Gerilmesi}} \quad (3.27)$$

Tablo 3.7. Limit denge koşullarında önerilen güvenlik sayıları [31]

KOŞULLAR	TOPLAM GERİLME ANALİZİ	EFEKTİF GERİLME ANALİZİ	DEPREMLİ
Dolgularda Yapım Sonu	1.50	-	-
Yarmalar	1.50	1.25	1.00
Barajda Kararlı Sızıntı	1.50	1.25	-
Barajda Ani Göl Boşalması	1.50	1.10	-
Laboratuvar Doruk Değerleri İle Analiz	1.50	1.35	1.00
Kalıcı Direnç Parametreleriyle Analiz	-	1.20	1.00
Uzun Vadede Duraylılık	-	1.20	-
Yamaç Üzerinde Yapı Olması Durumu	1.80	1.50	1.20
Fisürlü Kil Ortamında	-	1.50	-

Belirlenen veya istenilen güvenlik sayısı doğrultusunda iksa sisteminin boyu ve gömme derinliğine bağlı olarak zemin basınçlarından dolayı oluşan eğilme momenti ve kesme kuvvetleri hesaplanır.

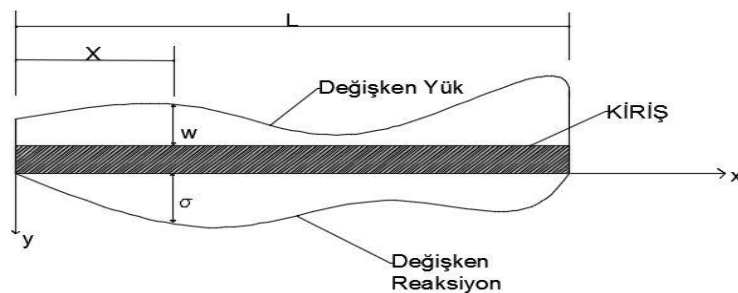
Limit denge yönteminin bir diğer dezavantajı da zeminde doğrusal olarak artan bir basınç dağılımını baz almaktadır. Ancak çok sıralı ankraj destek sistemine sahip sistemlerde zemin basınçları doğrusal artıştan çok daha farklı olmaktadır. Limit denge yönteminde yapı-zemin etkileşimi de gözardı edilmekte yapı ve zemin arasındaki adezyon yokmuş gibi hesap yapılmaktadır. Ayrıca hesaplarda zemin mukavemetinin tamamen oluştuğu varsayılp zeminde ve sistemde oluşan gerçek gerilmeler dikkate alınmamaktadır. Yapı-destek sisteminde iksa sisteminin en önemli güvenlik kriterlerden biri olan deplasmanlar da dikkate alınmamaktadır.

Bütün bu olumsuzluklar ve dezavantajlar dikkate alındığında limit denge yöntemi yeni hesap yöntemlerinin yanında çok ilkel ve eksik kalmaktadır. Bunun yanında limit denge yönteminin avantajları arasında yapı-destek sistemin kullanılmadığı şev stabilitesi, yamaç duraylılığı gibi problemlerin hesaplanmasında oldukça iyi bir çözüm yöntemi olmasıdır.

3.2.4.2. Elastik zemine oturan kiriş yöntemi

Elastik zemine oturan kiriş yöntemi yapı-zemin etkileşimini dikkate alan en basit yöntemdir. Bu hesap yönteminde Şekil 3.40.'daki gibi iksa duvarı bir kiriş duvarın oturduğu zemin ise yaylarla modellenen elastik bir malzeme olarak ele alınır. Zemin yatak katsayısından yola çıkarak yaylara gerekli rijitlikler tanımlanmaktadır. Ayrıca yay sabitleri derinliğe bağlı olarak ayarlanabilmekte ve zemin için aktif ve pasif toprak basıncı katsayıları da yay sabitleriyle atanabilmektedir. Elastik zemine oturan kiriş yönteminde yaylarla modellenen zeminin hesap sonucunda duvara etki ettiği eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, ankraj kuvvetleri ve duvarın deplasmanlarının hesaplanabilmesi bu yöntemin en büyük avantajı olarak görülmektedir. Bunun yanında çevre yapıların ve duvar etrafındaki zeminin hareketleri hakkında bilgi alınamaması yöntemin en büyük dezavantajı olarak görülmektedir [27].

Kendisine değişken bir yük etkileyen ve elastik bir zemine oturan belirli kalınlıkta ve uzunlukta kirişi inceleyelim. Elastik zemine oturan kirişin basit eğilme teorisine göre herhangi bir "x" mesafesindeki zeminin gösterdiği tepki (σ) kirişin o noktadaki şekil değiştirmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bu anlattıklarımız Şekil 3.40'da ayrıntılı bir şekilde gösterilmektedir.



Şekil 3.40. Elastik zemine oturan yüklü kiriş modeli

Bu durumda;

$$\sigma = k.y \quad (3.28)$$

(Denklem 3.28) ile herhangi bir noktadaki gerilmeyi ele alabiliriz.

k: denklemdeki orantı sabiti

y: düşey deplasman

σ : zemin gerilmesi

Şimdi x mesafesinde ve Δx birim genişliğinde kirişin dengesini ele alalım ;

V: kesme kuvveti

M: eğilme momenti

$$V - (V + \Delta V) + k.y \cdot \Delta x - w \cdot \Delta x = 0 \quad (3.29)$$

(Denklem 3.29) yazılabilir. Bu durumda;

$$\left(\frac{\Delta V}{\Delta x}\right) = k.y - w \quad (3.30)$$

(Denklem 3.30) şeklini alır. Limit durumunda (Denklem 3.31) ve (Denklem 3.32),

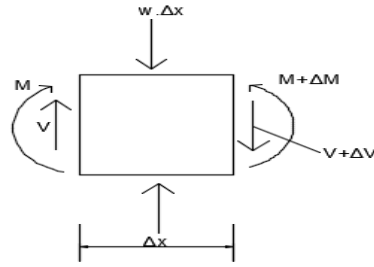
$$\left(\frac{dV}{dx}\right) = k.y - w \quad (3.31)$$

$$V = \left(\frac{dM}{dx}\right) \quad (3.32)$$

olmasından yola çıkarak;

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = k.y - w \quad (3.33)$$

(Denklem 3.33) şeklini alır.



Şekil 3.41. Elastik zemine oturan kirişin temsili dengesi

Yüklü kirişte diferansiyel denklemi uygularsak;

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = ky - w \quad (3.34)$$

$$EI \left(\frac{d^2 y}{dx^2} \right) = -M \quad (3.35)$$

(Denklem 3.34) ve (Denklem 3.35) sonucuna ulaşılır. Buradan,

$$\left[\frac{d^2}{dx^2} \left(EI \frac{d^2 y}{dx^2} \right) \right] = w - ky \quad (3.36)$$

(Denklem 3.36) elde edilir ve sonuç olarak;

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = w - ky \quad (3.37)$$

(Denklem 3.37) sonuç denklemine ulaşırız. Kirişte birim oturma meydana getiren basınç değerine k_s dersek;

$$k = k_s \cdot b \quad (3.38)$$

(Denklem 3.38) sonucuna ulaşırız.

b : birim kiriş genişliği

k_s : zemin reaksiyon modülü

Formülden de anlaşılacağı üzere birim genişlikte kiriş için k ve k_s birbirine eşittir.

3.2.4.3. Yarı sonlu elemanlar yöntemi

Yarı sonlu elemanlar yönteminin çalışma prensibi yatak katsayı yöntemiyle hemen hemen aynıdır. Duvar etrafındaki zemin yaylar ile değil de elastik bir zemin olarak modellenmektedir. Bu hesap yönteminde yapı-zemin etkileşimi, eğilme momentleri, kesme kuvvetleri, ankraj kuvvetleri ve istinat yapısı sehimleri elde edilebilmektedir. Ancak elastik kirişe oturan yöntemdeki gibi çevre yapıların durumu ve istinat yapısı etrafındaki zeminin durumu hakkında bilgi alınamamaktadır.

3.2.4.4. Sonlu elemanlar yöntemi

Sonlu elemanlar yönteminin kullanımı özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısında bilgisayar teknolojisinin gelişmesine paralel olarak ortaya çıkmıştır. Daha önceki yıllarda çok karmaşık yapıların yapılmaması ve mevcut basit formüllerle problemlerin çözülmesi mümkün olduğu için sonlu elemanlar yöntemi gibi formülüzasyona bağlı bilgisayar programlarına gerek duyulmamaktaydı. Ancak son yıllarda gerek daha karmaşık yapıların yapılması gerekse daha farklı mühendislik problemleriyle karşılaşılmasına bağlı olarak daha hızlı ve sistemli hesap yapan yöntemlere ihtiyaç duyulmuştur. Uzun yıllar yapılan çalışmalar sonucunda bir çok mühendislik problemine cevap verebilecek sonlu elemanlar yöntemi geliştirilmiştir.

Sonlu elemanlar yönteminin çalışma prensibi değişken geometrili, değişken yüke maruz ve sonsuz boyuttaki malzeme veya elemanları daha küçük ve belirli geometrideki parçalara ayırarak ve küçük parçalara ayrılan bu elemanların iç ve dış enerjisi minimum olması esasına dayandırılarak çözüm yapılmasıdır.

Sonlu elemanlar yöntemi ile problem bir, iki veya üç boyutlu olarak bilgisayara aktarılabilmekte ve daha gerçekçi çözümler için genelde üç boyutlu sistem kullanılmaktadır.

Programın hesap yöntemini kullanmaya başlayabilmesi için modelde başlangıç ve sınır koşullarının yükleme durumlarının tanımlanması gerekmektedir. Bu tanımlamalar yapıldıktan sonra sürekli ortam içerisinde ele alınacak kısım sonlu elemanlar ağı diye adlandırılan küçük ve bilinen geometrik parçalara ayrılmakta ve artık bu parçalar üzerinde hesap yapılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminde belirli geometrideki küçük parçalar nokta, çubuk ve bu nokta ve çubukların birleşmesinden meydana gelen kapalı alanlardan oluşmaktadır. Bu nokta ve çubuk elemanlar üzerinde oluşan kuvvet, gerilme ve şekil değiştirmeler ve bu değerlerin birbiri üzerindeki kümülatif etkisi incelenen bütün malzeme üzerindeki genel sonucu oluşturmaktadır. Bu yüzden sonlu elemanlar yönteminde incelenen parça ne kadar fazla düğüm noktası ve çubuğa ayrıldı ise o kadar çok hesap yapılmaktadır.

Sonlu elemanlar yönteminin en büyük avantajlarından bir tanesi de yapı-zemin etkileşimini gerçeğe en yakın şekilde ele almasıdır. Yapı ile zemin arasındaki etkileşim mühendislik problemleri arasında özel bir konuma sahiptir. Özellikle zemin-yapı etkileşimi geoteknik mühendisliğinde gerçeğe yakın sonuçlar almak adına büyük önem arz etmektedir.

Geoteknik mühendisliği ve derin kazı işlerinde kullanılan Plaxis programının temeli de sonlu elemanlar yöntemine dayanmaktadır. Ayrıca derin kazı işlerinde kademeli kazı yapılması durumu hesap adımlarında dikkate alınabilmekte ve kazı boyunca sistemde meydana gelen değişimler kontrol altında tutulabilmektedir. Her kazı kademesinde eğilme momenti, kesme kuvveti ve deplasmanlar hakkında bilgi alınarak kazı boyunca en kritik durum hakkında bilgi sahibi olunabilmektedir. Sonlu elemanlar yöntemine dayalı hesap yönteminde herhangi bir hesap aşamasında veya kritik yapı noktalarında detaylı analiz yapılabilmekte ve gerekirse hesap hassasiyeti artırılıp daha fazla ayrıntıya sahip olunabilmektedir.

Bütün bu anlatılanlar ışığında bu tez çalışmasında da kullanılan sonlu elemanlar yönteminin çok avantajlı, hızlı ve pratik bir yöntem olduğu anlaşılmaktadır. Ancak sonlu elemanlar yöntemine dayalı bilgisayar programlarını kullanırken programa tanımlanan değerler ve bu değerlerin ne anlama geldikleri çok iyi bilinmelidir. Unutulmamalıdır ki program ve hesap yöntemi kullanıcının tanımladığı değerler doğrultusunda ve arka planındaki formülizasyona bağlı olarak sonuçlar vermektedir. Yani programın yorumlama ve duruma müdahale etme seçeneği yoktur. Bunun için alınan sonuçların mühendislik prensipleri, saha şartları, projenin özellikleri ve uygulanabilirliği mutlaka kontrol edilmeli ve tecrübeli bir mühendis tarafından yorumlanmalıdır. Yöntem ve program hesap olarak doğru sonuçlar verse dahi hesabın dışındaki şartlar da dikkate alınmalı ve çözüm mühendisçe yorumlanmalıdır. Tablo 3.8.'de derin kazı destek sistemleri için hesap yöntemlerinin olumlu ve olumsuz yönleri sıralanmıştır;

Tablo 3.8. Derin kazı destek sistemleri için hesap yöntemlerinin bazı olumlu ve olumsuz yönleri [30]

ANALİZ YÖNTEMİ	AVANTAJLARI	DEZAVANTAJLARI
Limit Denge	-Basit ve kolay -Analiz için sadece zemin mukavemet parametreleri yeterli	-Yapı zemin etkileşimi hesaba katılmıyor -Deplasmanlar hesaplanamıyor -Çok sıra ankrajlı duvar gibi hiperstatik sistemlerin çözümü idealizasyon gerektirir
Elastik Zemine Oturan Kiriş	-Yapım safhaları ayrı ayrı modelleneniliyor ve yapı zemin etkileşimi modelleneniliyor -Duvar deplasmanları hesaplanabiliyor -Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor	-Zemin davranışının modellenmesi nispeten yüzeysel -Yanal yatak katsayısının belirlenmesi zor -İki boyutlu analiz yapılabiliyor -Palıye ve mesnet koşullarının modellenmesi zor -Duvarın etrafındaki zemin deplasmanları hesaplanamıyor
Yarı-Sonlu Elemanlar	-Yapım safhaları ayrı ayrı modelleneniliyor ve yapı zemin etkileşimi dikkate alınıyor -Duvar deplasmanları hesaplanabiliyor -Kazı öncesi gerilim dağılımı durumu dikkate alınabiliyor -Zemin elastik bir katı ortam gibi modelleneniliyor	-İki boyutlu analiz yapabiliyor -Elastik zemin modellenmesi ve aktif, pasif limitler ile sınırlı -Palıye ve mesnet koşullarının modellenmesi zor -Duvarın etrafındaki deplasmanlar hesaplanamıyor

Tablo 3.8. (Devamı)

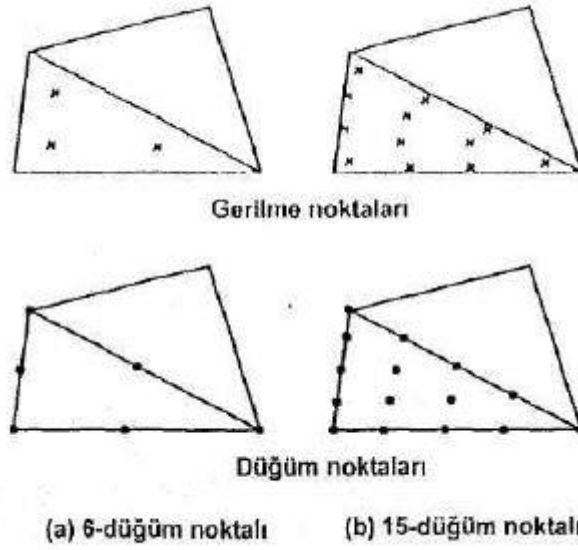
Sonlu Elemanlar- Sonlu Farklar	-Yapım safhaları ayrı ayrı modelleneniliyor ve yapı zemin etkileşimi dikkate alınıyor -İleri zemin modelleri ile zemin rijitliğinin deformasyon ve anizotropi ile değişimi modelleneniliyor -Kazı öncesi gerilim dağılım durumu dikkate alınabiliyor -Karmaşık duvar, kazı geometrileri ve mesnet koşulları modelleneniliyor -Duvar ve zemin deplasmanları modelleneniliyor -2 ve 3 boyutlu hesap yapılabilir	-Duvar yapımı ve modellemesi karmaşık ve zaman gerektiriyor -Sonuçların geçerliliği uygun yük-gerilme modelinin seçilmesi ile mümkün -Gerçekçi sonuçların elde edilmesi sadece kaliteli zemin verileri ile mümkün -Kullanıcı tarafından programa dayalı tecrübe gerekiyor
--------------------------------------	--	--

3.2.5. Plaxis programı

Plaxis, zemin problemlerinin analizinde ve çözümünde kullanılan, hesap adımlarının her aşamasında bilgi alınabilen ve çalışma prensibi sonlu elemanlar metodu olan bir nümerik analiz programıdır. Analize başlamadan önce analiz edilecek problemin geometrik modeli oluşturulmalı ve programa model özellikleri tanımlanmalıdır.

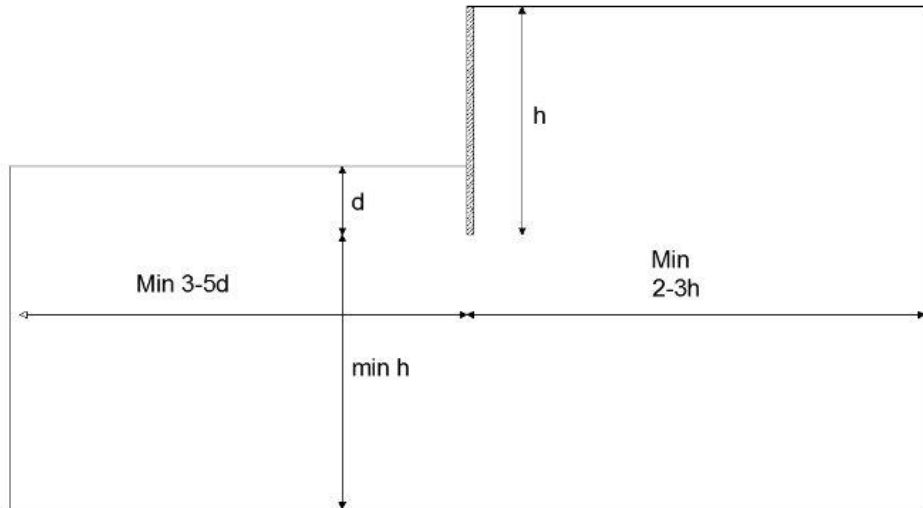
Program veri girişi (input) ve veri çıkışı (output) olmak üzere iki pencereden oluşmaktadır. Veri giriş penceresi analiz edilecek modelin geometrisinin oluşturulması ve bu modelin sahip olduğu zemin parametreleri, yapı mukavemet özellikleri, sürşarj yükleri, yeraltı su seviyesi, sonlu elemanlar ağı ve hesap aşamaları gibi özelliklerinin belirlendiği ve programa tanımlandığı penceredir. Veri çıkış penceresi ise oluşturulan modelde mevcut zemin koşulları ve diğer parametreler doğrultusunda meydana gelen deplasman ve gerilme değerlerinin belirlendiği penceredir.

Plaxis programı sonsuz bir ortamı noktalar, çizgiler ve hücreler yardımıyla bilinen üçgen geometrik parçalara ayırarak sonlu hale getirmektedir. Bilgi sahibi olunmak istenilen deplasmanlar düğüm noktalarından, gerilmeler ise üçgen parçalara ayrılan hücrelerdeki gauss noktalarından elde edilmektedir. Şekil 3.42’de görüldüğü gibi programda 6 düğüm noktalı ve 15 düğüm noktalı iki seçenek bulunmaktadır. Düğüm noktası sayısından da anlaşılacağı üzere 15 düğüm noktalı üçgen eleman, 6 düğüm noktalı üçgen elemana göre daha yavaş ancak daha hassas analiz yapmaktadır.



Şekil 3.42. Plaxis'de düğüm ve gerilme noktaları

Ayrıca programın daha doğru analiz yapabilmesi için uygun sınır şartları da belirlemek gerekmektedir. Örneğin 30 m kazı derinliğine sahip bir model için duvar arkası zemin boyutunu yatayda 10 m uzunluğunda seçmek uygun olmayacaktır. Bu gibi problemlerle karşılaşmamak ve daha doğru analiz yapmak için oluşturulan model kesinlikle uygun sınır şartlarını sağlamalıdır. Derin iksa kazılarında sınır şartları Şekil 3.43.'de görülmektedir.



Şekil 3.43. Derin kazılarda analiz için sınır şartları

Plaxis programında bir problemi incelemek için takip edilmesi gereken adımlar şu şekilde sıralanabilir,

- Model geometrisinin oluşturulması ve zemin özelliklerinin tanımlanması.
- Yapısal eleman özelliklerinin ve sisteme etkiyecek yüklerin tanımlanması.
- Sonlu elemanlar ağının oluşturulması.
- Varsa yeraltı su seviyesinin belirlenmesi.
- Projede tasarlanan her bir imalat aşaması için hesap adımları oluşturulması.
- Modelin analiz edilmesi ve sonuçların yorumlanması.



BÖLÜM 4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Derin kazılarda yanal toprak basıncından dolayı iksa sistemine etkiyen kuvvetin büyüklüğünü etkileyen zemin parametrelerini incelemek ve sonuçları yorumlamak için sabit bir kazı kesit modeli oluşturularak Plaxis 2D programıyla analizler yapıldı. Bu çalışma kapsamında aynı kazı geometrisine sahip modelde içsel sürtünme açısı (ϕ), kohezyon (c), elastisite modülü (E) ve yapı zemin ara yüzey katsayısı (R_{int}) belirli oranlarda arttırılıp azaltılarak iksa sistemine etkileri araştırılmıştır.

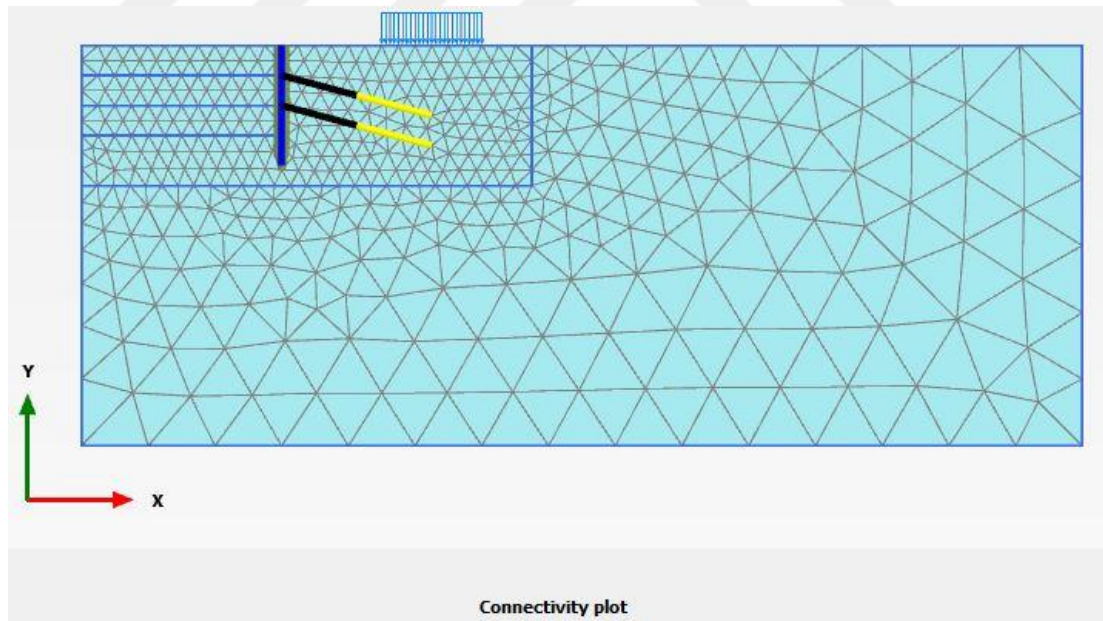
Araştırılan bu parametreler arasında yapı zemin ara yüzey katsayısı (R_{int}) iksa sistemine etkisi bakımından diğer parametrelerden farklı bir özelliğe sahiptir. İksa sistemine etkileri araştırılan diğer parametreler (ϕ , c , E) kendilerine özgü bazı mukavemet değerlerinden oluşurken yapı zemin ara yüzey katsayısı bu parametrelerin birleşiminden meydana gelen belirli bir yüzde ile ifade edilmektedir. Şöyle ki analizde kullanılan sonlu elemanlar yöntemine göre hesap yapan Plaxis 2D programında yapı zemin ara yüzey katsayısı ifadesi olan R_{int} rijit olarak kabul edilmesi yapı elemanı ile mevcut zeminin tam etkileşim içinde olduğunu ifade etmektedir. Yine aynı şekilde zemin cinsinin kum veya kil olması ve kil zemin ise aşırı konsolide oranı, kum ise sıkılık oranına göre yapı zemin ara yüzey katsayısı rijit durumdan %50 etkileşim durumuna kadar değerler alabilmektedir. Yapı zemin ara yüzey katsayısının en düşük değeri olarak da %50 değeri kullanılabilir. Bunun sebebi ise %50 ve daha düşük değerlerde zeminin rezidüel özellikler gösterdiği ve yapı elemanı ile zemin arasında herhangi bir etkileşim meydana gelmediği görülmektedir.

4.1. Model Geometrisi ve Özellikleri

Kazı kesiti için duvar arkası 100 m, duvar önü 15 m uzunluğunda ve derinliği 40 m olan bir zemin tabaka modeli ele alınmıştır. Kazı derinliği 9 m ve kazık boyu 12 m

olarak belirlenmiştir. 12 m'lik kazığın 3 m'si soket olarak zemine gömülü haldedir. Çalışma yapılacak zemin tek tabaka olarak ele alınmış ve yeraltı su seviyesinin kazı derinliğinden daha aşağıda olduğu varsayılmıştır. Analizlerin yapılacağı zemin karakteristik parametreleri yapılan analize göre değişiklik göstermektedir.

Çalışmada iksa sistemi olarak 65 cm çapında 12 m uzunluğunda 1 m aralıklarla yerleştirilmiş fore kazık sistemi seçilmiştir. Aynı zamanda sistem konsol duvar, tek sıra ankrajlı duvar ve çift sıra ankrajlı duvar olmak üzere üç ayrı model olarak analiz yapılmış ve ankraj sayısının sisteme etkileri incelenmiştir. Tek sıra ve çift sıra ankrajlı duvarlarda ankraj aralıkları yatayda 2 m düşeyde ise 3 m olarak belirlenmiştir. Ankraj boyu olarak ise hem tek sıra ankrajlı modelde hem de çift sıra ankrajlı modelde ankraj boyu 15 m olarak belirlenmiştir. Ankraj kök boyu 8 m, ankraj serbest bölgesi ise 7 m olarak analizler yapılmıştır. Ayrıca iksa duvarına 10 m mesafede 10 m boyunca devam eden 50 kPa sürşarj yükü uygulanmıştır. Modelin geometrisi Şekil 4.1.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.1. Model geometrisi

65 cm çapında kazık alanı (Denklem 4.1) ve (Denklem 4.2) ile şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$A=\pi.r^2=\pi.(0.325)^2=0.33 \text{ m}^2 \quad (4.1)$$

$$A_{\text{duvar}}=\frac{A}{s}=\frac{0.33}{1}=0.33 \text{ m}^2/\text{m} \quad (4.2)$$

65 cm çapında 1 m arayla yerleştirilmiş kazık atalet momenti (Denklem 4.3) ve (Denklem 4.4) ile şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$I=\frac{\pi.r^4}{4}=\frac{\pi.(0.325)^4}{4}=0,00876 \text{ m}^4 \quad (4.3)$$

$$I_{\text{duvar}}=\frac{I}{s}=\frac{0,00876}{1}=0,00876 \text{ m}^4/\text{m} \quad (4.4)$$

C25 beton için elastisite modülü 30000 MPa'dır [32].

İksa duvarının kütle rijitliği ve eğilme rijitliği (Denklem 4.5) ve (Denklem 4.6) ile şu şekilde hesaplanmaktadır;

$$EA=30\times10^6\times0.33=9.9\times10^6 \text{ kN/m} \quad (4.5)$$

$$EI=30\times10^6\times0.00876=262800 \text{ kNm}^2/\text{m} \quad (4.6)$$

Duvar ağırlığı (Denklem 4.7) ile hesaplanan şekilde kabul edilmiştir.

$$w=24\times0.33=8 \text{ kN/m/m} \quad (4.7)$$

4.2. Elastisite Modülündeki Değişimin İksa Sistemine Etkisi

Elastisite modülü bir malzemenin plastik şekil değiştirme olmadan aldığı kuvvet altında birim şekil değiştirmesine oranı ile ifade edilir. Malzemenin aldığı kuvvet ister basınç olsun ister çekme olsun uygulanan kuvvetten sonra malzeme üzerinde kırılma, çatlama ve akma gibi bir durum meydana geldiyse artık o malzemede

elastisite modülünden bahsedilemez. Dolayısıyla malzemenin elastik davranış gösterdiği kısımlarda elastisite modülünün doğru değerinden bahsedilebilir.

Zeminlerde de elastisite modülü çok önemli bir parametredir ve yukarıda söz konusu durumlar zeminler için de aynen geçerlidir. Zeminler için genel olarak elastisite modülü arttıkça sağlamlığı da artar denilmektedir. Buradaki sağlamlıktan kasıt zeminin sertliğinin artması ve daha fazla yük altında deforme olmasının zorlaşmasıdır. Ancak yenilmiş bir zeminde doğru bir elastisite modülü tayini yapılamaz.

Çalışmanın bu bölümünde elastisite modülündeki değişimin iksa sisteminde yanal deplasman, kesme kuvveti ve moment değerlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Analiz sırasında elastisite modülü belirli oranlarda artırılarak diğer zemin parametreleri Tablo 4.1.'deki gibi sabit tutulmuştur. Tablo 4.2.'de ise incelenecek elastisite modülü değerleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Elastisite modülündeki değişimin iksa sistemine etkisi parametreleri

Malzeme Modeli	Pekleşen Zemin
Malzeme Tipi	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	19
Doygun Birim Hacim Ağırlık(kN/m^3)	19
Elastisite Modülü, E (MPa)	Değişken
Kohezyon, c' (kPa)	1
İçsel Sürtünme Açısı, (ϕ)	30
Poisson Oranı, ν	0,2
Rint	Rijit

Tablo 4.2. Analizde kullanılacak elastisite modülü değerleri

E (MPa)
10
20
30
50
100
150
200

Plaxis 2D programında yapılacak analiz için malzeme modeli olarak pekleşen zemin, yeraltı suyu olmadığı için de drenajlı durum seçilmiştir. Derin kazı yapıldığı için boşaltma durumuna bağlı olarak poisson oranı 0.2, yapı zemin ara yüzey katsayısı da rijit olarak belirlenmiştir. Elastisite modülünün iksa sistemine etkisinin araştırıldığı analizler boyunca diğer zemin parametreleri kohezyon ($c=1$ kPa), içsel sürtünme açısı ($\phi=30$) ve birim hacim ağırlıkları da 19 kN/m^3 olarak sabit tutulmuştur.

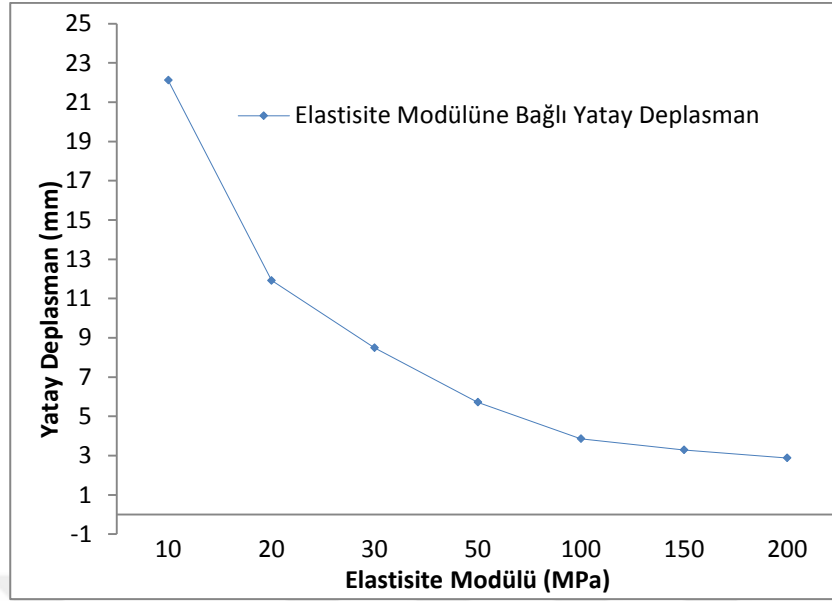
4.2.1. Elastisite modülündeki değişimin yatay deformasyona etkisi

Yapılacak analizlerde elastisite modülü kademeli olarak 10 MPa, 20 MPa, 30 MPa, 50 MPa, 100 MPa, 150 MPa ve 200 MPa olarak belirlenmiş ve diğer parametreler Tablo 4.1.'de verildiği gibi sabit tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda incelenen elastisite modüllerine karşılık gelen yatay deplasman değerleri Tablo 4.3.'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4.3. Elastisite modülüne bağlı yatay deplasman değerleri

E (MPa)	U_x (mm)
10	22,12
20	11,92
30	8,49
50	5,72
100	3,86
150	3,29
200	2,88

Elastisite modülüne bağlı maksimum yatay deplasman değerleri Şekil 4.2.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Elastisite modülü-yatay deplasman ilişkisi

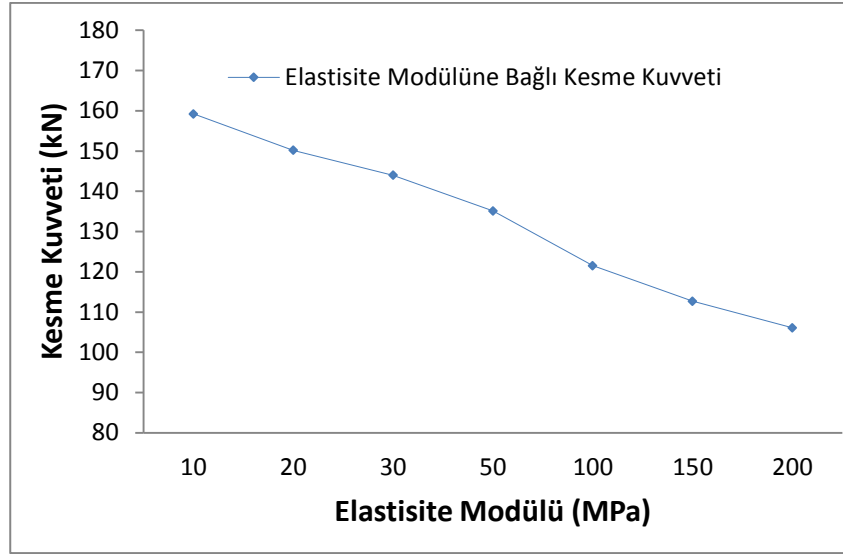
4.2.2. Elastisite modülündeki değişimin kesme kuvvetine etkisi

Bu bölümde elastisite modülündeki değişimin iksa sistemine etkileyen kesme kuvvetini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi elastisite modülü değeri Tablo 4.2.'deki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve elastisite modülündeki değişimin iksa duvarına etkileyen kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elastisite modülündeki değişimin kesme kuvvetine etkisi Tablo 4.4.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.4. Elastisite modülüne bağlı kesme kuvveti değerleri

E (MPa)	Kesme Kuvveti (kN)
10	159,2
20	150,2
30	144,0
50	135,1
100	121,5
150	112,7
200	106,1

Elastisite modülüne bağlı maksimum kesme kuvveti değerleri Şekil 4.3.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Elastisite modülü-kesme kuvveti ilişkisi

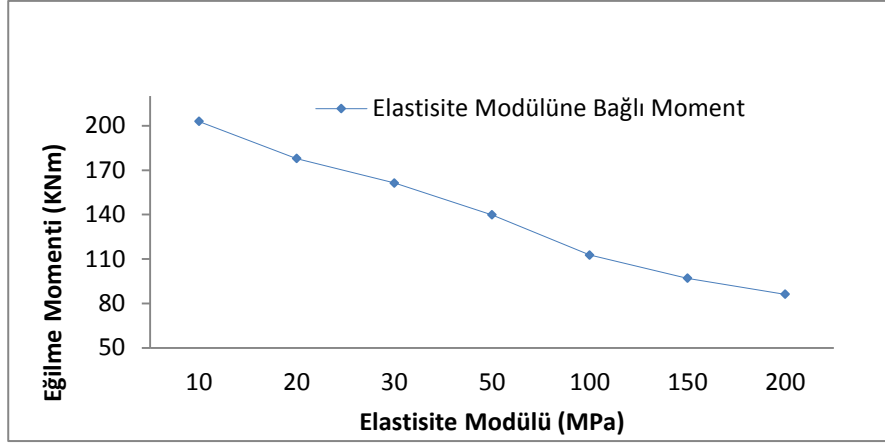
4.2.3. Elastisite modülündeki değişimin eğilme momentine etkisi

Bu bölümde elastisite modülündeki değişimin iksa sistemine etkiyen eğilme momentini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi elastisite modülü değeri Tablo 4.2.'deki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve elastisite modülündeki değişimin iksa duvarına etkiyen eğilme momentine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda elastisite modülündeki değişimin eğilme momentine etkisi Tablo 4.5.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Elastisite modülüne bağlı eğilme momenti değerleri

E (MPa)	Moment (kNm)
10	202,9
20	177,9
30	161,3
50	139,8
100	112,7
150	96,99
200	86,23

Elastisite modülüne bağlı maksimum eğilme momenti değerleri Şekil 4.4.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Elastisite modülü-eğilme momenti ilişkisi

4.3. Yapı-Zemin Ara Yüzey Katsayısındaki Değişimin İksa Sistemine Etkisi

Yapı-zemin ara yüzey katsayısı zemin mekaniği ve temel mühendisliği alanındaki önemli parametrelerden bir tanesidir. Zemin malzemesi elasto-plastik olmakla birlikte ince ve iri daneli olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. İnce daneli zeminler 0,074 milimetrenin altında boyuta sahip olan silt ve killi zeminleri, iri daneli zeminler ise 0,074 milimetrenin üzerindeki kum ve çakıl zeminleri kapsamaktadır.

Yapı-zemin ara yüzey katsayısı ise yapı elemanı ile zemin malzemesi arasındaki beraber çalışma kuvveti olarak tarif edilebilir. Bu etkileşim ince daneli zeminlerde aşırı konsolidasyon oranı ile iri daneli zeminlerde ise sıkılık oranı ile doğrudan ilişkilidir. İnce daneli zeminlerde aşırı konsolidasyon oranı, iri daneli zeminlerde ise sıkılık oranı arttıkça yapı zemin etkileşim oranı da artmaktadır. Yapı-zemin etkileşim oranı arttıkça zemin ve yapı malzemesi bütün halde çalışmaya daha da yaklaşmaktadır. Yapı-zemin etkileşim oranı azaldıkça yapı malzemesi ayrı zemin malzemesi ayrı çalışmaya başlayacaktır.

Çalışmanın bu bölümünde yapı-zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin iksa sistemine etki eden yanal deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerini nasıl etkilediği incelenmiştir. Analiz sırasında yapı-zemin ara yüzey katsayısı belirli oranlarda azaltılmış diğer zemin parametreleri Tablo 4.6.'daki gibi sabit tutulmuştur. Tablo 4.7.'de ise incelenecek yapı-zemin ara yüzey katsayısı değerleri verilmiştir.

Tablo 4.6. Yapı-zemin ara yüzey katsayısı ve model sistem parametreleri

Malzeme Modeli	Pekleşen Zemin
Malzeme Tipi	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m ³)	19
Doygun Birim Hacim Ağırlık(kN/m ³)	19
Elastisite Modülü,E (kPa)	10000
Kohezyon, c' (kPa)	1
İçsel Sürtünme Açısı, Ø	30
Poisson Oranı, v	0,2
R _{int}	Değişken

Tablo 4.7. Analizde kullanılacak yapı-zemin ara yüzey katsayısı değerleri

R _{int}
Rijit
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4

Yapı-zemin ara yüzey katsayısının en büyük değeri katsayının rijit kabul edildiği 1 değeridir. Yapı ile zemin arasındaki etkileşimin rijit olduğu veya kabul edildiği durum çok nadir karşılaşılan bir durumdur. Bu çalışmada yapı-zemin ara yüzey katsayısı düzenli olarak %10 oranında azaltılarak iksa sistemine olan etkileri araştırılmıştır. Ancak yapı-zemin ara yüzey katsayısı değeri özellikle %50'nin altına düştükten sonra kabul edilemez sonuçlar vermekte %40'lara ulaştığında ise sistem göçmektedir.

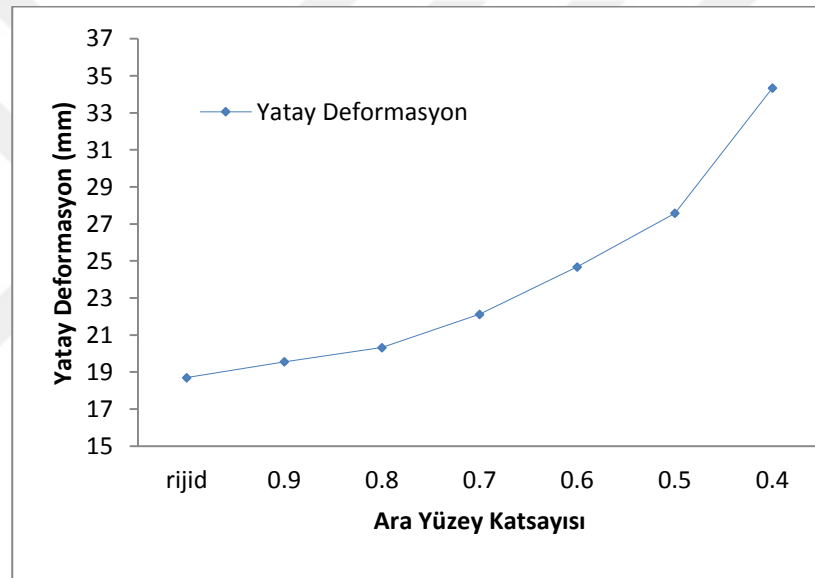
4.3.1. Yapı-zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin yatay deplasmana etkisi

Yapılacak analizlerde yapı zemin ara yüzey katsayısı sırasıyla rijit, 0.9, 0.8, 0.7, 0.6, 0.5 ve 0.4 olarak belirlenmiş ve diğer parametreler Tablo 4.6.'da verildiği gibi sabit tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda incelenen yapı zemin ara yüzey katsayısına karşılık gelen yatay deplasman değerleri Tablo 4.8.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.8. Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı yatay deplasman

R_{int}	U_x (mm)
rijid	18.7
0.9	19.55
0.8	20.32
0.7	22.12
0.6	24.68
0.5	27.58
0.4	34.35

Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı yatay deplasman değerleri Şekil 4.5.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Yapı zemin ara yüzey katsayısı-yatay deplasman ilişkisi

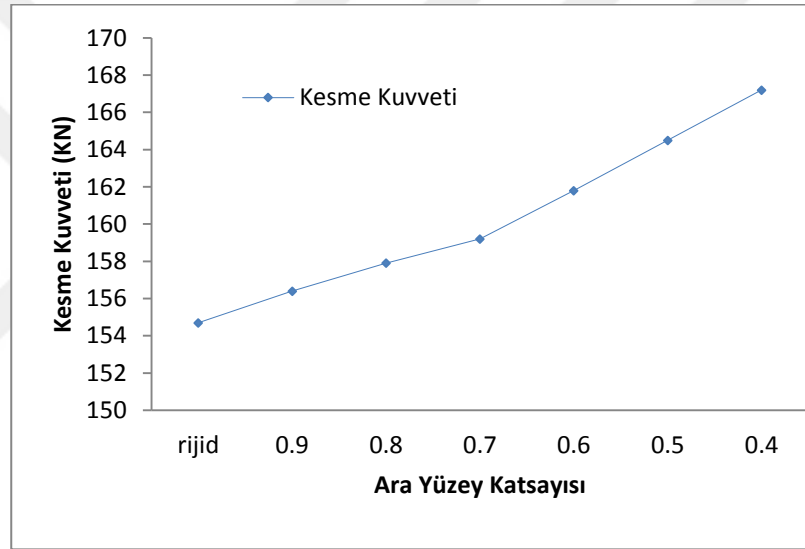
4.3.2. Yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin kesme kuvvetine etkisi

Bu bölümde yapı zemin etkileşim katsayısındaki değişimin iksa sistemine etkileyen kesme kuvvetini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi yapı zemin ara yüzey katsayısı değeri Tablo 4.7.'deki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin iksa duvarına etkileyen kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin kesme kuvvetine etkisi Tablo 4.9.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.9. Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı kesme kuvveti değerleri

R_{int}	Kesme Kuvveti (kN)
rijid	154.7
0.9	156.4
0.8	157.9
0.7	159.2
0.6	161.8
0.5	164.5
0.4	167.2

Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı kesme kuvveti değerleri Şekil 4.6.'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.6. Yapı zemin ara yüzey katsayısı-kesme kuvveti ilişkisi

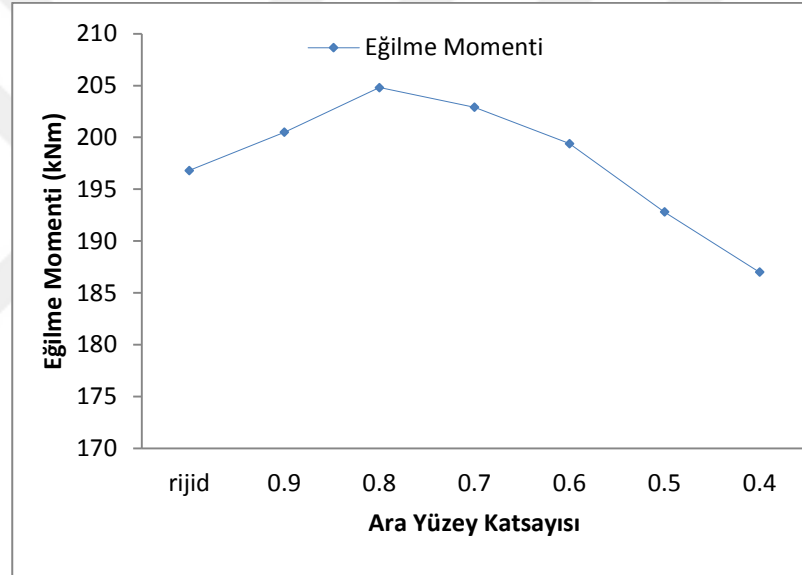
4.3.3. Yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin eğilme momentine etkisi

Bu bölümde yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin iksa sistemine etkileyen eğilme momentini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi yapı zemin ara yüzey katsayısı değeri Tablo 4.7.'deki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve yapı zemin ara yüzey katsayısındaki değişimin iksa duvarına etkileyen eğilme momentine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda yapı zemin etkileşim katsayısındaki değişimin eğilme momentine etkisi Tablo 4.10.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.10. Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı eğilme momenti değerleri

R_{int}	Eğilme Momenti (kNm)
rijid	196,8
0.9	200,5
0.8	204,8
0.7	202,9
0.6	199,4
0.5	192,8
0.4	187,0

Yapı zemin ara yüzey katsayısına bağlı eğilme momenti değerleri Şekil 4.7.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Yapı zemin ara yüzey katsayısı-eğilme momenti ilişkisi

4.4. İçsel Sürtünme Açısındaki Değişimin İksa Sistemine Etkisi

İçsel sürtünme açısı, zemin malzemesinin kayma gerilmesine karşı göstermiş olduğu direnç olarak tarif edilebilir. Daha anlaşılır bir ifadeyle içsel sürtünme açısı herhangi bir yamacın yüzey eğiminin yamacın kayma yapmadan durabildiği sınır durumun yatay düzlemle yaptığı açı olarak da ifade edilebilir.

Çalışmanın bu kısmında ankrajsız duvar, tek sıra ankrajlı duvar ve çift sıra ankrajlı duvar olmak üzere üç tip destekleme sistemi ele alınmış ve bu destekleme sistemlerinin her birerinde ayrı ayrı içsel sürtünme açısının farklı değerlerinin iksa

duvarına yatay deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti açısından etkileri incelenmiştir. İncelenen farklı içsel sürtünme açısının yanında diğer zemin parametreleri Tablo 4.11.'deki gibi sabit tutulmuştur.

Tablo 4.11. İçsel sürtünme açısındaki değişimin iksa sistemine etkisi parametreleri

Malzeme Modeli	Pekleşen Zemin
Malzeme Tipi	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	19
Doygun Birim Hacim Ağırlık(kN/m^3)	19
Elastisite Modülü, E (kPa)	10000
Kohezyon, c' (kPa)	15
İçsel Sürtünme Açısı, (ϕ)	Değişken
Poisson Oranı, ν	0,2
R_{int}	Rijit

Tablo 4.12. Analizde kullanılacak içsel sürtünme açısı değerleri

İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)
25
30
35
40

Tablo 4.12.'de ele alınan içsel sürtünme açısı değerleri zeminlerde en sık rastlanılan içsel sürtünme açısı değerleridir. Literatüre bakıldığında içsel sürtünme açısı değerleri genelde 10 derece ile 50 derece arasında değişmektedir. Aynı zamanda içsel sürtünme açısının değeri zeminin granülometrisi ve SPTN değerleri hakkında da genel bir bilgi vermektedir.

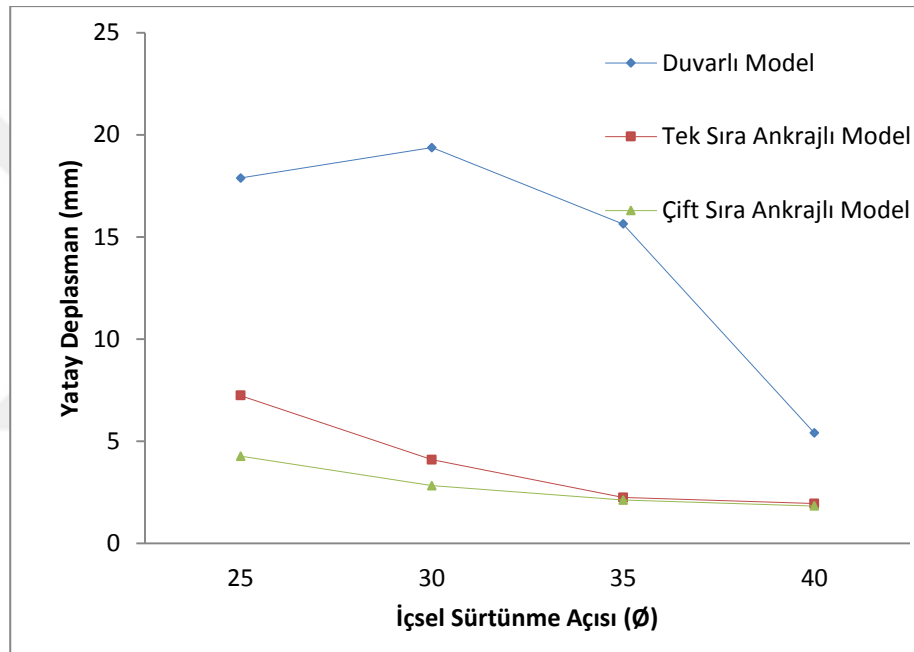
4.4.1. İçsel sürtünme açısındaki değişimin yatay deplasmana etkisi

Yapılan analizlerde içsel sürtünme açısı değerleri sırasıyla 25, 30, 35 ve 40 olarak belirlenmiş ve diğer parametreler Tablo 4.11.'de verildiği gibi sabit tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda incelenen içsel sürtünme açısına karşılık gelen yatay deplasman değerleri Tablo 4.13.'te gösterildiği gibidir.

Tablo 4.13. İçsel sürtünme açısına bağlı yatay deplasman

İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Duvarlı Model	Tek Sıra Ankrajlı Model	Çift Sıra Ankrajlı Model
	Deplasman (mm)		
25	17.88	7.23	4.26
30	19.37	4.09	2.82
35	15.63	2.24	2.11
40	5.4	1.94	1.82

İçsel sürtünme açısına bağlı yatay deplasman değerleri duvarlı, tek sıra ankrajlı ve çift sıra ankralı olarak Şekil 4.8.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.8. İçsel sürtünme açısı-yatay deplasman ilişkisi

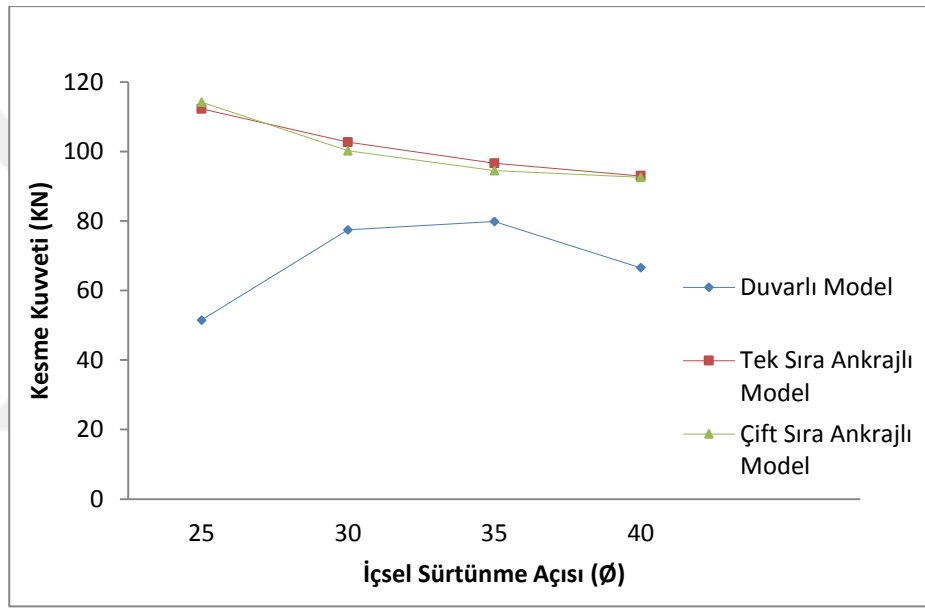
4.4.2. İçsel sürtünme açısındaki değişimin kesme kuvvetine etkisi

Çalışmanın bu kısmında içsel sürtünme açısındaki değişimin iksa sistemine etkileyen kesme kuvvetini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi içsel sürtünme açısı değeri Tablo 4.12.'deki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve içsel sürtünme açısındaki değişimin iksa duvarına etkileyen kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda içsel sürtünme açısındaki değişimin kesme kuvvetine etkisi Tablo 4.14.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.14. İçsel sürtünme açısına bağlı kesme kuvveti değerleri

İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Duvarlı Model	Tek Sıra Ankrajlı Model	Çift Sıra Ankrajlı Model
	Kesme Kuvveti (kN)		
25	51.46	112.3	114.2
30	77.47	102.7	100.2
35	79.84	96.64	94.52
40	66.53	93	92.56

İçsel sürtünme açısına bağlı kesme kuvveti değerleri Şekil 4.9.'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.9. İçsel sürtünme açısı-kesme kuvveti ilişkisi

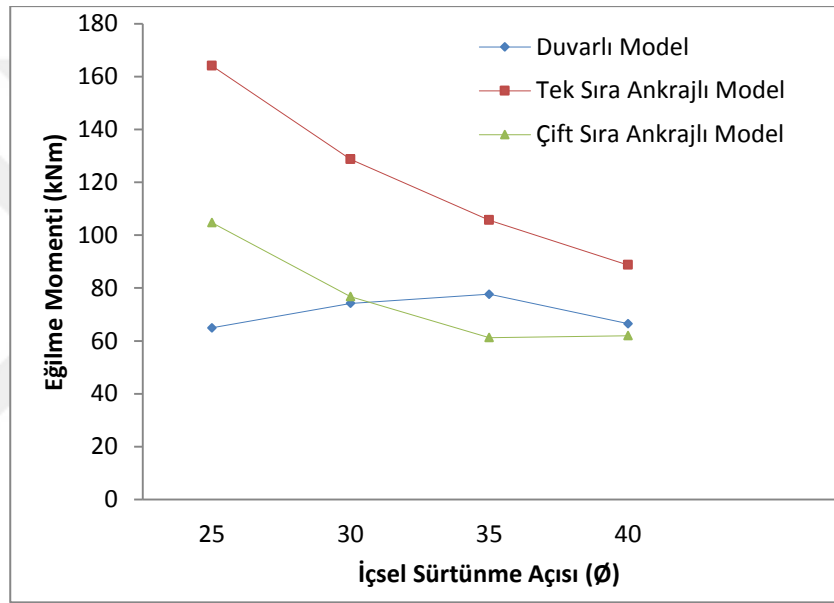
4.4.3. İçsel sürtünme açısındaki değişimin eğilme momentine etkisi

Bu bölümde içsel sürtünme açısındaki değişimin iksa sistemine etkileyen eğilme momentini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi içsel sürtünme açısı değeri Tablo 4.12.'deki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve içsel sürtünme açısındaki değişimin iksa duvarına etkileyen eğilme momentine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda içsel sürtünme açısındaki değişimin eğilme momentine etkisi Tablo 4.15.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.15. İçsel sürtünme açısına bağlı eğilme momenti değerleri

İçsel Sürtünme Açısı (ϕ)	Duvarlı Model	Tek Sıra Ankrajlı Model	Çift Sıra Ankrajlı Model
	Eğilme Momenti (kNm)		
25	64.92	164.1	104.7
30	74.18	128.7	76.77
35	77.66	105.7	61.24
40	66.53	88.76	62.00

İçsel sürtünme açısına bağlı eğilme momenti değerleri Şekil 4.10.'da grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.10. İçsel sürtünme açısı-eğilme momenti ilişkisi

4.5. Kohezyondaki Değişimin İksa Sistemine Etkisi

Kohezyon aynı cins moleküller arasındaki çekim kuvveti demektir. Bir kısmı pozitif (+) yüklü, bir kısmı negatif (-) yüklü moleküllerin birbirini çekerek bir arada bulunma hali olarak tanımlanabilir. Zeminlerde de moleküllerde olduğu gibi zıt yüklü taneciklerin bir arada bulunduğu durumda oluşan ortama kohezif ortam denilmektedir. Kohezyon miktarı zemin cinsine ve tanecikler arasındaki çekim kuvvetinin büyüklüğüne göre değişmektedir. Zemin mekaniğinde “kohezyonlu zeminler” olarak bilinen zemin türleri ince daneli zeminler olarak sınıflandırdığımız

dane boyutu 0,074 milimetreden daha küçük zeminlerde görülmektedir. Daneler arası çekim kuvveti arttıkça kohezyon miktarı da artmaktadır.

Çalışmanın bu kısmında kohezyonun farklı değerlerinin istinat duvarına yatay deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti açısından etkileri incelenecektir. İncelenen kohezyon değerlerinin yanında diğer zemin parametreleri Tablo 4.16.'daki gibi sabit tutulmuştur.

Tablo 4.16. Kohezyondaki değişimin iksa sistemine etkisi parametreleri

Malzeme Modeli	Pekleşen zemin
Malzeme Tipi	Drenajlı
Kuru Birim Hacim Ağırlık (kN/m^3)	19
Doygun Birim Hacim Ağırlık(kN/m^3)	19
Elastisite Modülü, E (kPa)	10000
Kohezyon, c' (kPa)	Değişken
İçsel Sürtünme Açısı, (ϕ)	30
Poisson Oranı, ν	0,2
Rint	Rijit

Tablo 4.17. Analizde kullanılacak kohezyon değerleri

Kohezyon (c) kPa
1
15
30

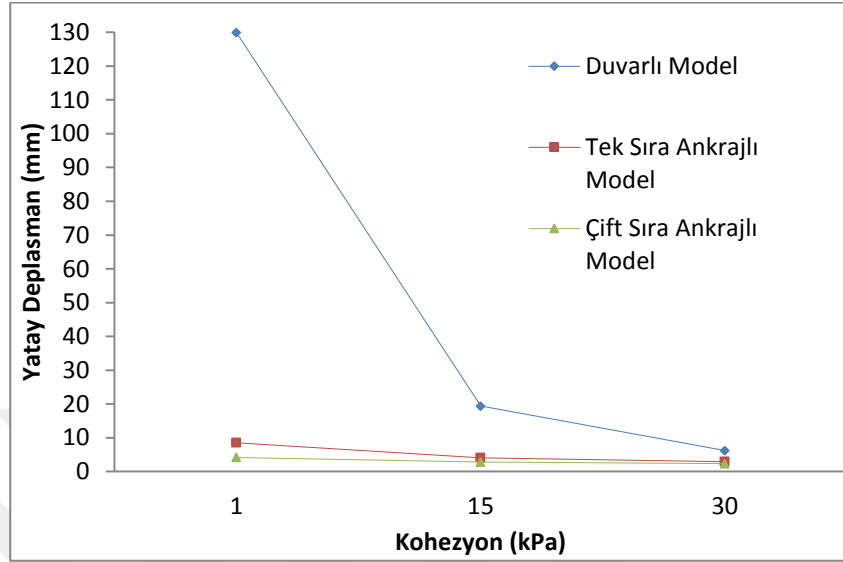
4.5.1. Kohezyon değerindeki değişimin yatay deplasmana etkisi

Yapılacak analizlerde kohezyon değerleri sırasıyla 1, 15, ve 30 olarak belirlenmiş ve diğer parametreler Tablo 4.16.'da verildiği gibi sabit tutulmuştur. Yapılan analizler sonucunda incelenen kohezyon değerlerine karşılık gelen maksimum yatay deplasman değerleri Tablo 4.18.'de gösterildiği gibidir.

Tablo 4.18. Kohezyona bağlı yatay deplasman

Kohezyon (c)	Duvarlı Model	Tek Sıra Ankrajlı Model	Çift Sıra Ankrajlı Model
	Deplasman (mm)		
1	129.9	8.52	4.16
15	19.37	4.09	2.82
30	6.23	2.93	2.33

Kohezyona bağılı yatay deplasman değerleri konsol duvar, tek sıra ankrajlı ve çift sıra ankrajlı olarak Şekil 4.11.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Kohezyon-yatay deplasman ilişkisi

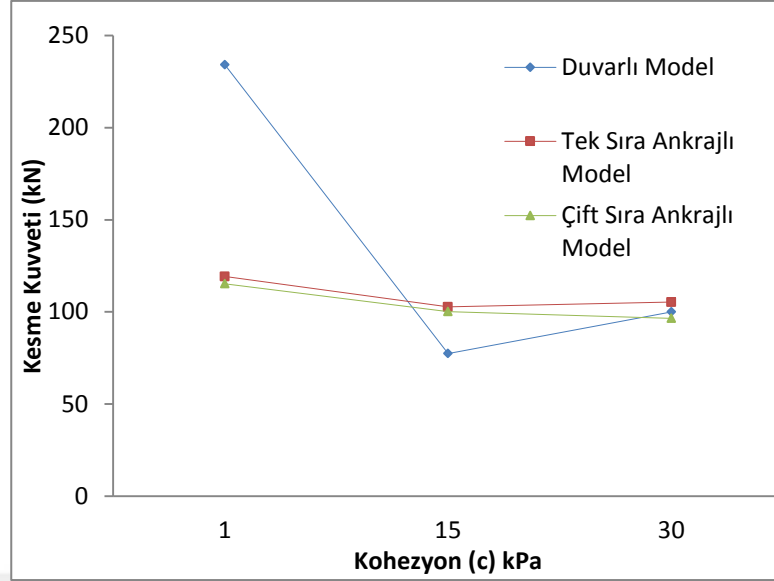
4.5.2. Kohezyon değerindeki değişimin kesme kuvvetine etkisi

Çalışmanın bu kısmında kohezyondaki değişimin iksa sistemine etkileyen kesme kuvvetini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi kohezyon değeri Tablo 4.16.'daki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve kohezyondaki değişimin iksa duvarına etkileyen kesme kuvvetine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kohezyondaki değişimin kesme kuvvetine etkisi Tablo 4.19.'da gösterilmiştir.

Tablo 4.19. Kohezyona bağlı kesme kuvveti değerleri

Kohezyon (c)	Duvarlı Model	Tek Sıra Ankrajlı Model	Çift Sıra Ankrajlı Model
	Kesme Kuvveti (kN)		
1	234.2	119.2	115.3
15	77.42	102.7	100.2
30	99.99	105.3	96.52

Kohezyona bağlı kesme kuvveti değerleri Şekil 4.12.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Kohezyon-kesme kuvveti ilişkisi

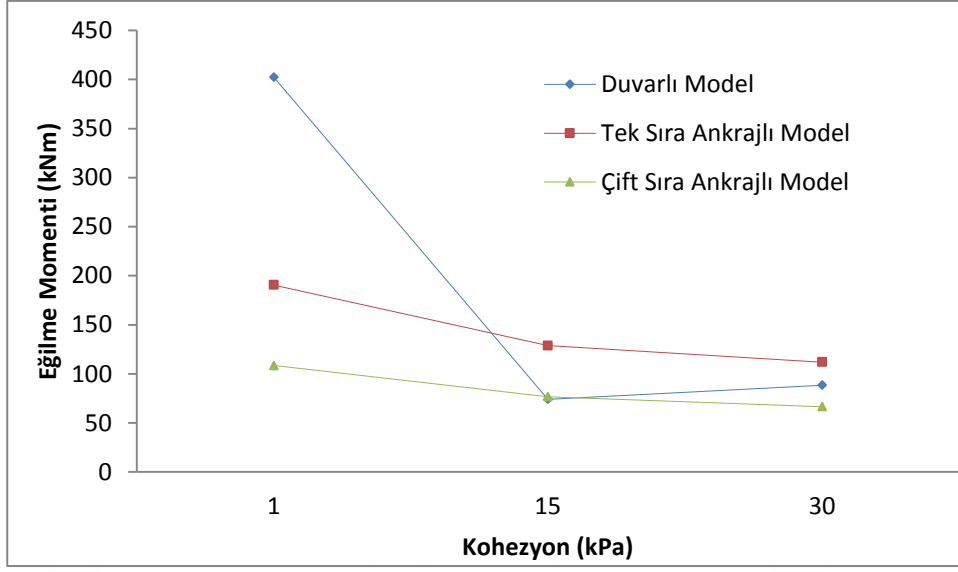
4.5.3. Kohezyon değerindeki değişimin eğilme momentine etkisi

Bu bölümde kohezyondaki değişimin iksa sistemine etkiyen eğilme momentini nasıl etkilediği incelenmiştir. Yatay deplasman analizinde olduğu gibi kohezyon değeri Tablo 4.16.'daki değerler sırasıyla diğer parametreler sabit kalmak koşuluyla sisteme tanıtılmış ve kohezyondaki değişimin iksa duvarına etkiyen eğilme momentine etkisi incelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda kohezyondaki değişimin eğilme momentine etkisi Tablo 4.20.'de gösterilmiştir.

Tablo 4.20. Kohezyona bağlı eğilme momenti değerleri

Kohezyon (c)	Duvarlı Model	Tek Sıra Ankrajlı Model	Çift Sıra Ankrajlı Model
	Eğilme Momenti (kNm)		
1	402.5	190.6	108.5
15	74.18	128.7	76.77
30	88.53	111.9	66.69

Kohezyona bağlı eğilme momenti değerleri Şekil 4.13.'de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Kohezyon-eğilme momenti ilişkisi

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez kapsamında özellikle son yıllarda daha büyük ve daha karmaşık yapıların yapılması ve bu yapıları yaparken de daha fazla alan elde edilmek istenmesine bağlı olarak yapılan derin kazılarda iksa perdesine etkileyen yanal toprak basıncı ve dolayısıyla da yanal toprak basıncını etkileyen zemin parametreleri ve bu parametrelerdeki değişimin iksa sistemine etkilerini incelemek amaçlanmıştır.

Amaçlanan çalışmayı anlamak ve daha iyi kavramak adına söz konusu teze literatürde bugüne kadar bu konu ile ilgili yapılmış bazı çalışmalar incelenerek başlanmış daha sonra derin kazı ve destekleme yöntemleri ayrıntılı bir şekilde anlatılmış ve çalışmaya araştırmanın temel araştırma konularından biri olan yanal toprak basıncı teorileri ve hesap yöntemlerinden bahsedilerek devam edilmiştir. Son olarak bu çalışma kapsamında asıl incelemeye söz konusu olan derin kazı iksa duvarı modelini zemin parametrelerine bağlı olarak farklı zeminler oluşturulmuş ve oluşturulan bu zeminler sonlu elemanlar yöntemi mantığıyla çalışan Plaxis 2D programı yardımıyla analiz edilmiştir. Analiz sonucunda elde edilen iksa duvarı maksimum yanal deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri sistemli bir şekilde kaydedilmiş ve grafiğe dökülmüştür. Bunun yanında aynı zemin özellikleri ve iksa duvarına sahip sistemde ankraj adedinin iksa duvarına etkilerini araştırmak amacıyla mevcut sistem konsol duvar, tek sıra ankrajlı ve çift sıra ankrajlı olarak analiz edilmiş ve sonuçlar grafik halinde gösterilmiştir.

Zemin parametrelerindeki değişiminin iksa sistemine etkisi incelendiğinde şu sonuçlar çıkarılmıştır;

- Diğer zemin parametreleri sabit iken içsel sürtünme açısındaki artış hem konsol hem de tek ve çift sıra ankrajlı sistemde yanal deplasman değerlerini

ciddi oranda azaltmakta hatta içsel sürtünme açısının 35-40 derecelere ulaştığı değerlerde ankrajlı duvarlarda hareket neredeyse sabitlenmektedir. Kesme kuvveti ve eğilme momenti değerleri ise içsel sürtünme açısı değeri arttıkça konsol duvarda artmakta, ankrajlı duvarlarda ise azalmaktadır. Ancak eğilme momentindeki azalma kesme kuvvetindeki azalmaya oranla çok daha fazla olmaktadır.

- Kohezyon değerindeki artış ankrajlı iksa duvarlarında yatay deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerini azaltmakta ancak eğilme momentine olan etkisi daha fazla olmaktadır. Konsol duvarda ise yatay deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerinde kohezyon değerinin 15 kPa değerine kadar azalmakta 15 kPa'dan daha büyük değerlerde artış göstermektedir.
- Yapı zemin ara yüzey katsayısındaki her %10'luk bir azalma yatay deplasmanda yaklaşık olarak %12-13, kesme kuvvetinde de %2-3 oranında bir artışa sebep olmaktadır. Buradan da anlaşılabacağı üzere yapı zemin ara yüzey katsayısındaki azalma kesme kuvvetini çok düşük oranda etkilemektedir. Aynı şartlarda eğilme momentindeki %10'luk bir azalma yapı zemin ara yüzey katsayısının 0.8 değerine kadar artmakta, daha düşük değerlerde ise sürekli azalmaktadır. Bu değerden de anlaşılabacağı üzere yapı zemin ara yüzey katsayısı eğilme momenti açısından en büyük değerini %80 olduğunda almaktadır.
- Elastisite modülündeki değişim diğer parametrelerdeki değişime göre daha net bir şekilde görülmektedir. Elastisite modülü değerinin her %100 artışında yatay deplasmanda %40-45, kesme kuvvetinde %7-8, eğilme momentinde ise %18-20 oranında bir azalma olduğu görülmektedir. Bu sonuçlardan da anlaşılabacağı üzere elastisite modülünün en büyük etkisi yatay deplasmana olmaktadır.
- Ankraj sayısının iksa sistemine etkisine bakıldığında genel olarak ankraj sayısı arttığında kesme kuvveti, eğilme momenti ve özellikle de yatay deplasmanların azaldığı görülmektedir.

Yapılan bu çalışma neticesinde sonuç olarak zemin parametrelerindeki değişimin yatay deplasman, kesme kuvveti ve eğilme momenti değerlerini önemli ölçüde etkilediği anlaşılmaktadır. Bu sebeple herhangi bir iksa yapısı inşa edileceğinde iş, işçi ve sistem güvenliği açısından zeminden numune alma aşamasından başlayarak tasarım ve uygulama aşamasına kadar zemin parametrelerinin doğru şekilde yorumlanması ve irdelenmesi gerektiği sonucu çıkarılmıştır.



KAYNAKLAR

- [1] Koyuncu, S., (2006). Derin Kazı Problemlerinde Betonarme Perde ve Mini Kazık Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir.
- [2] Demirkoç, A., (2007). Derin Kazılarda Zemin Çivisi İle Ankrajlı Destek Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [3] Cengiz, A.D., (2008). Bir Diyafram Duvarda Tahmin Edilen ve Ölçülen Yer Değiştirmelerin Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [4] Bahar, M., (2009). Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Ölçülen ve Tahmin Edilen Deplasmanların Karşılaştırılması.Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [5] Ermanlar, L., (2009). Derin Kazılar Sonucu Çevre Yapılarda Oluşan Deformasyonların Tahmini.Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [6] Özberk, B.S., (2009). Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [7] Sevensan, O., (2009). Açık Derin Kazılarda Zemin Deformasyonlarının Nümerik Analizi.Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [8] Aktan, E., (2014). Öngermeli Ankrajlı Kazıklı Duvar Nümerik Analizi: Hilton İstanbul Boment Hotel Ve Konferans Merkezi Projesi Kapsamında Yer Alan Tarihi Bina Önü İksa Sistemi.Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [9] Ou, C.Y., (2006). Deep Excavation, Theory and Practice. London, U.K.
- [10] Çınar, A., (2010). Trakya Formasyonunda Yapılan Öngermeli Ankrajlı Derin Kazıların Sonlu Elemanlar İle Modellenmesi.Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul*

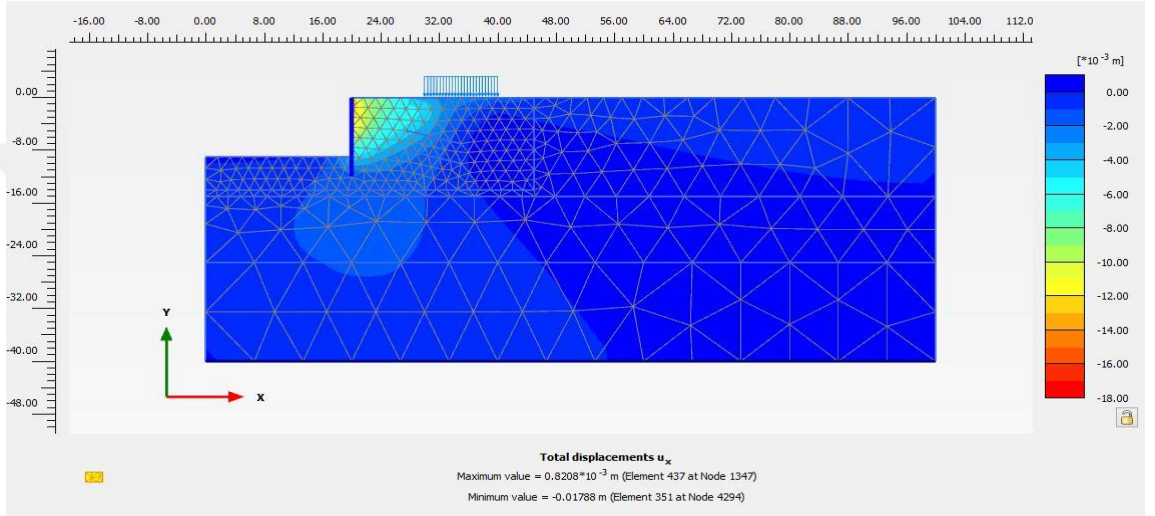
Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.

- [11] Dayıoğlu, M., (2010). Derin Kazıların İncelenmesi Ve Derin Kazı Uygulaması Üzerine Bir Örnek:Harbiye Kongre Merkezi Derin Temel Kazısı.Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [12] Aslan, V., (2017). Derin Kazıların Sayısal Analizi İçin Parametrik Bir Çalışma.Yüksek Lisans Tezi, *Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Balıkesir.
- [13] Xantakos, P., (1994). Slurry Wall As Structural Systems, McGraw-Hill, Inc., Newyork.
- [14] TS 3168 EN 1536, Kasım 2001, Özel Jeoteknik Uygulamalar Delme (Fore)-Kazıklar-(Yerinde Dökme Betonarme Kazıklar)
- [15] BS 8004: 2015 Code Of Practice For Foundations.
- [16] Akbaş, M., (2010) Derin Kazıların Nümerik Analizi.Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [17] İnan, Ö., (2000). Destekli Derin Kazılarda İnklinometrik Gözlem.Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [18] BS 8002:1994 Code Of Practice For Earth Retaining Structures.
- [19] Puller, M., (1998). Deep Excavation A Practical Manuel. Thomas Telford, Publishing, Londra.
- [20] Bowles, J.E., (1990). Foundation Engineering and Desing, John Wiley and Sons, New York.
- [21] Coduto, D.P., (2001). Foundation Desing:Principles and Practices, Prentice-Hall, Inc.Upper Saddle River.
- [22] Birand, A., (2006). Duvarlar. Teknik Yayinevi Mühendislik ve Mimarlık Yayınları, Ankara.
- [23] FHWA-IF-99-015, 1999, Ground Anchors and Anchored Systems, Geotechnical Engineering Circular No.4, Washington.
- [24] Terzaghi, K.-Peck, R.B., (1967). Soil Mechanics in Engineering Practise, John Wiley and Sons, New York.

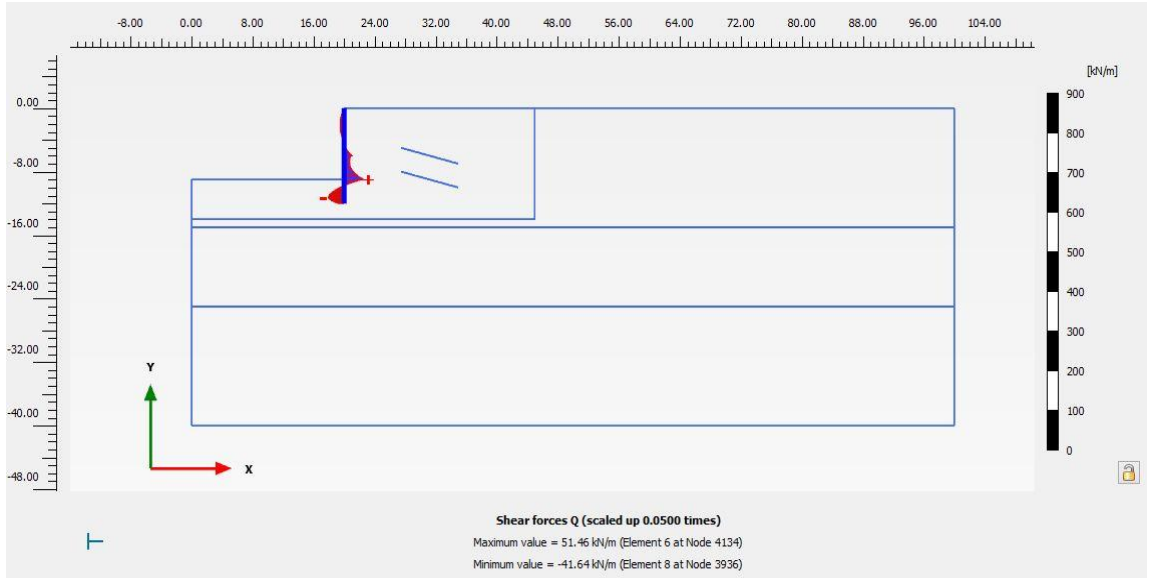
- [25] NAVFAC Desing Manuels 7.1 and 7.2 (1988). Foundations and Earth Structures, Departmant of Navy, Alexandria, VA.
- [26] Yıldırım, S., (2004). Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [27] Karakoç, S., (2010). Derin Kazıların Sonlu Elemanlar Yöntemi Kullanılarak Sayısal Çözümü.Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, Eskişehir.
- [28] Tchegotarioff, G.P., (1951). Foundations, Retaining and Earth Structures, McGraw-Hill, New York.
- [29] Başeski, O., (2008). Derin Kazılarda İksa Sistemi Üzerine Bir İnceleme.Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı*, İstanbul.
- [30] Gaba, A.R., Vd.,(2003).Geotechnical Desing to Eurocode Desing, CRIA C580, ISBN 1-85233-038-4.
- [31] TS 8853-1991 Zeminde Yamaç ve Şevlerin Dengesi ve Hesap Metotları.
- [32] TS 500 Betonarme Yapıların Hesap Ve Tasarım Kuralları, Şubat, 2000.

EKLER

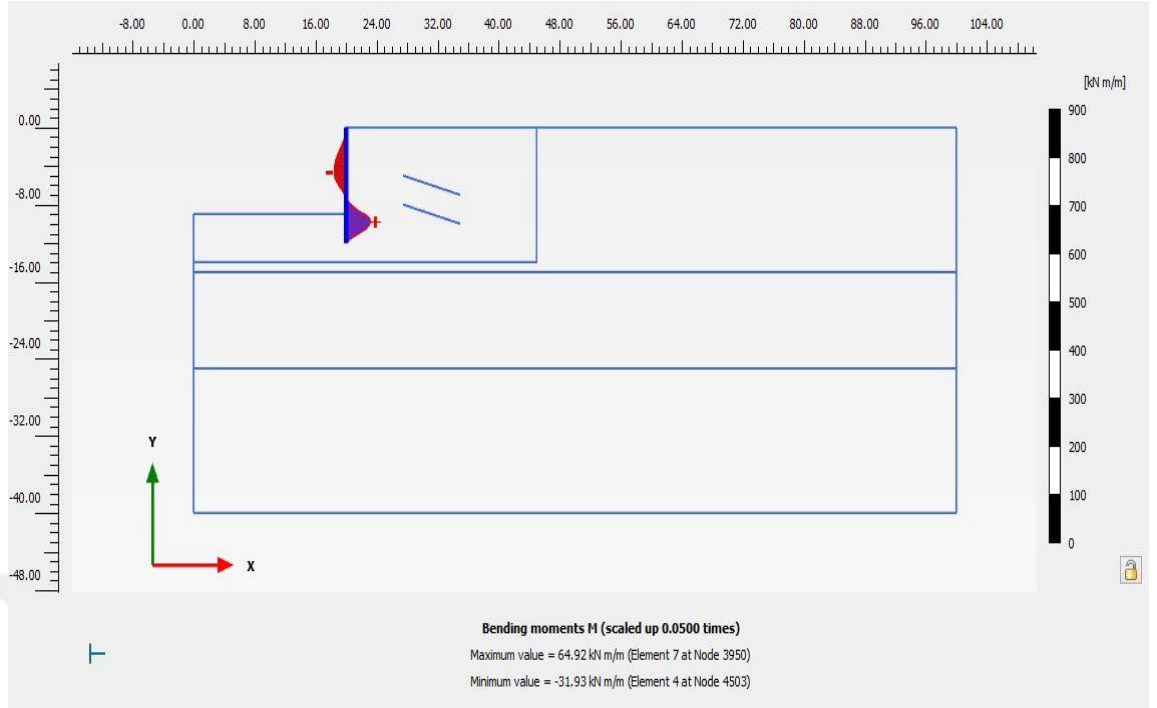
EK A: İçşel sürtünme açısının etkisinin araştırılması plaxis analiz sonuçları



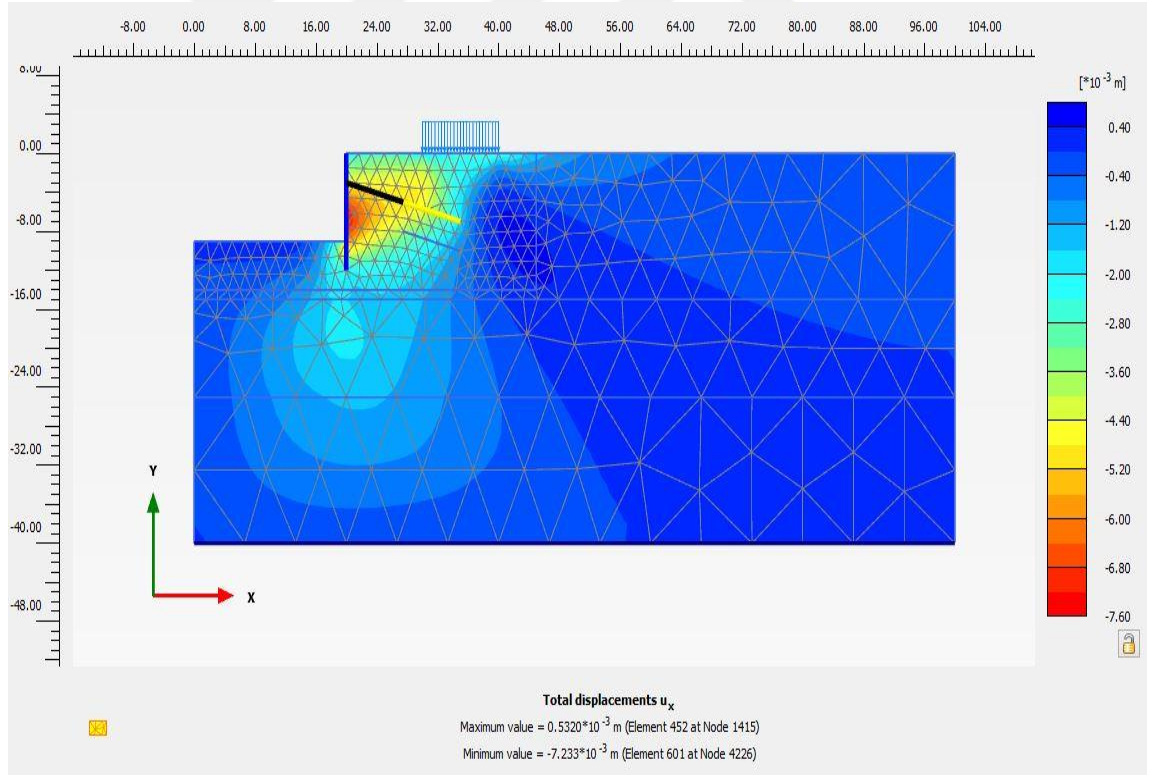
Şekil EK A.1. C=15, Ø=25 konsol duvar yatay deplasman analiz sonucu



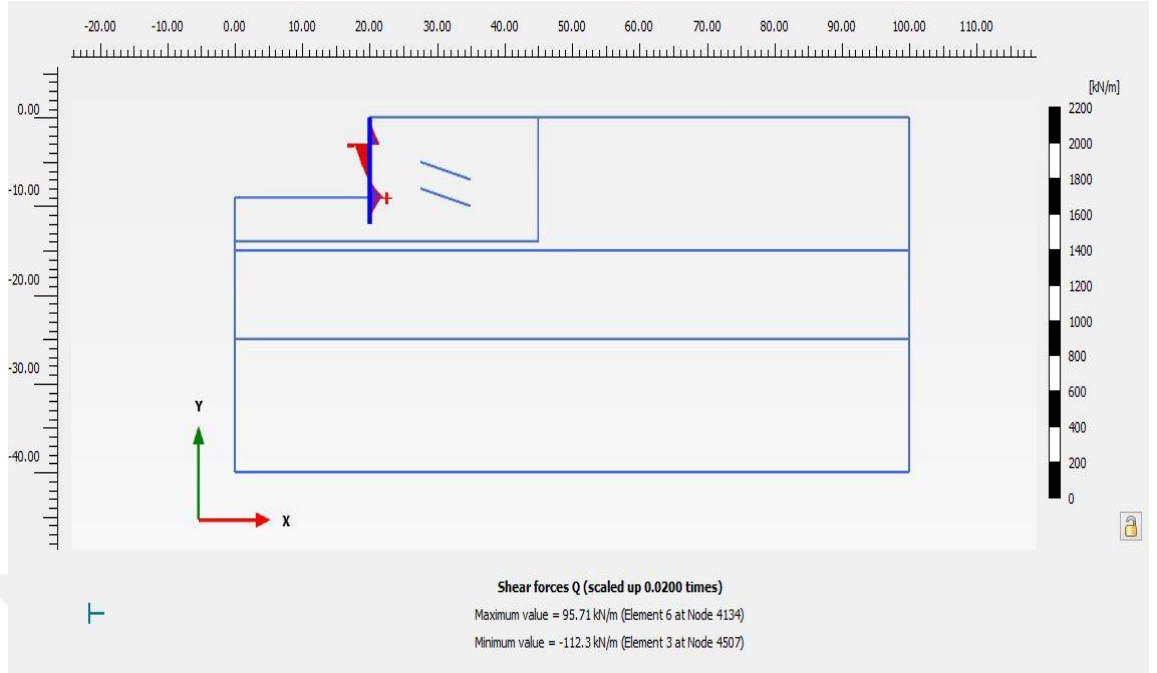
Şekil EK A.2. C=15, Ø=25 konsol duvar kesme kuvveti analiz sonucu



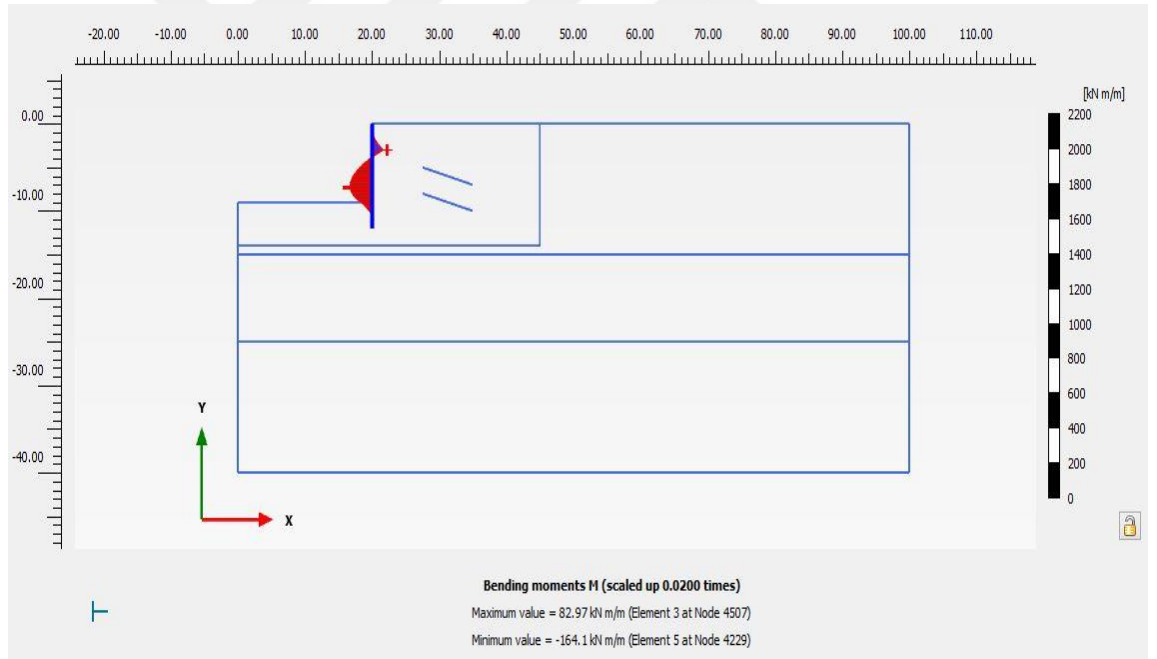
Şekil EK A.3. $C=15$, $\varnothing=25$ konsol duvar eğilme momenti analiz sonucu



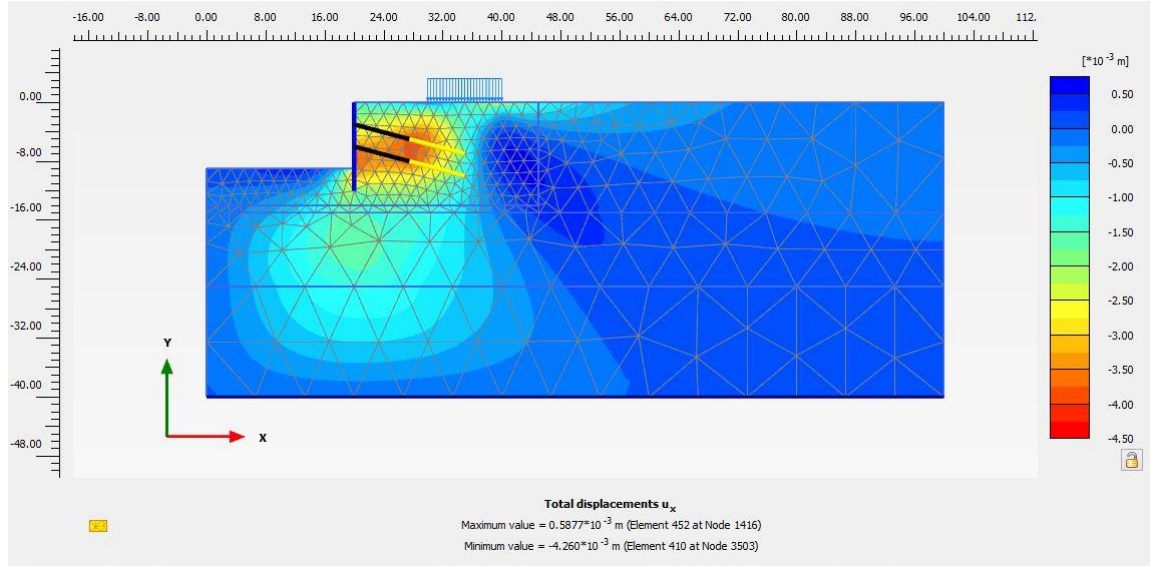
Şekil EK A.4. $C=15$, $\varnothing=25$ tek sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



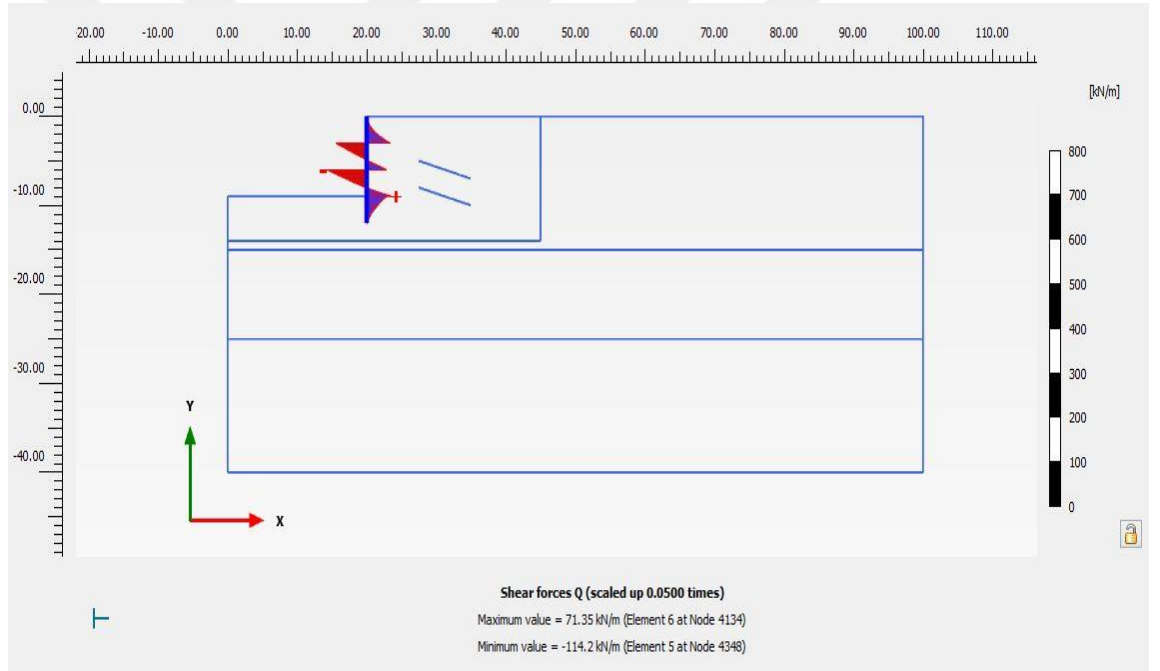
Şekil EK A.5. C=15, Ø=25 tek sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



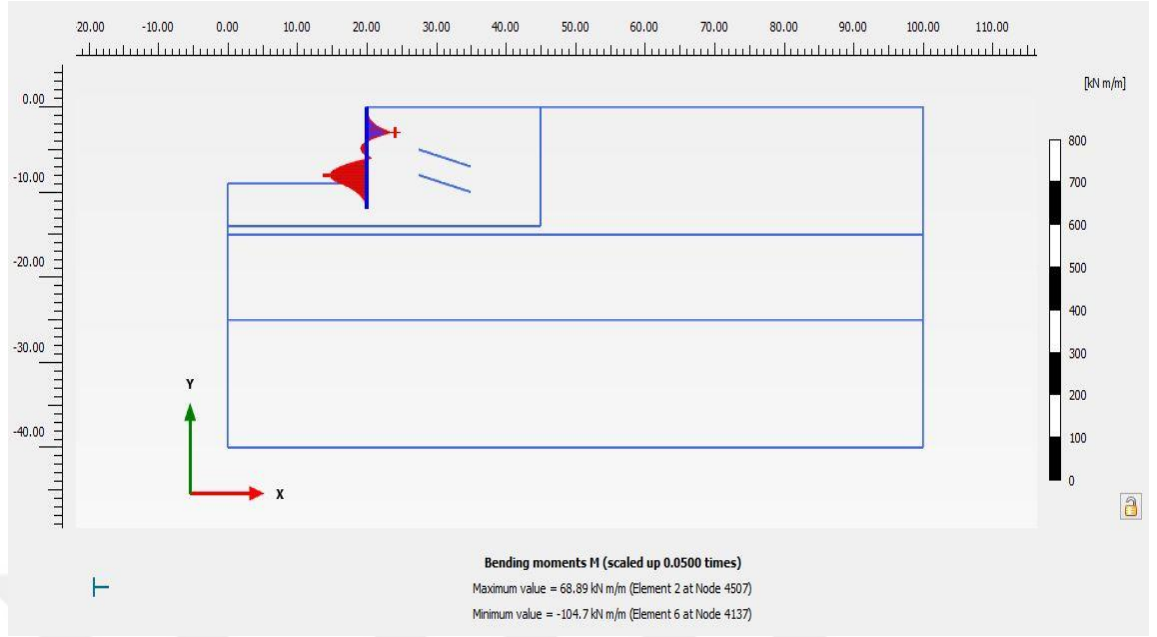
Şekil EK A.6. C=15, Ø=25 tek sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



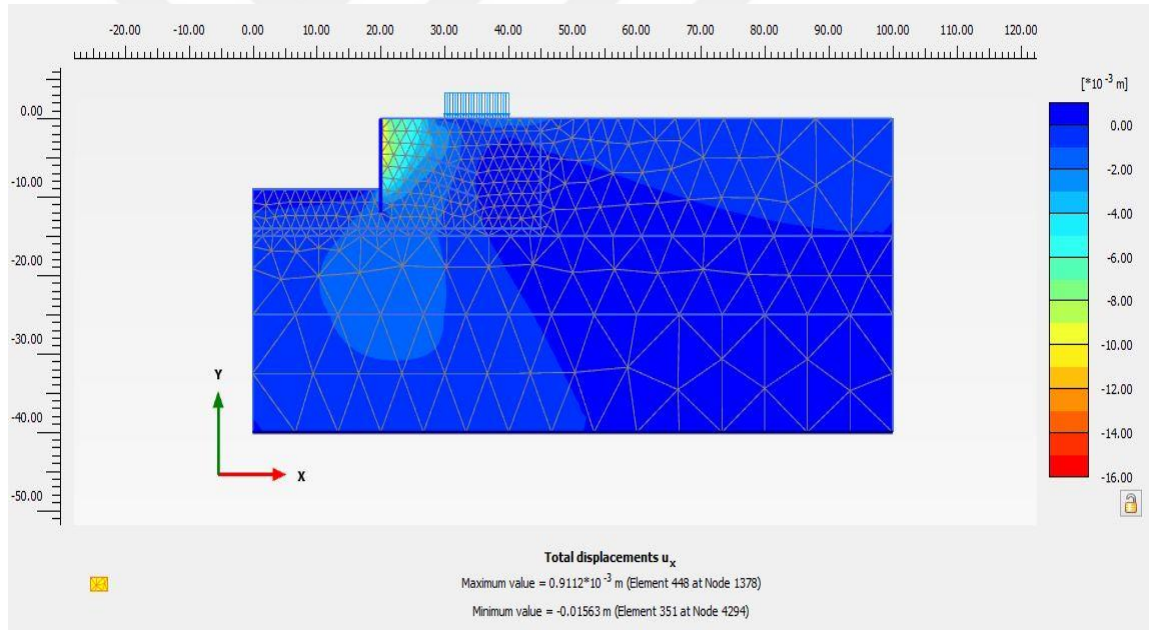
Şekil EK A.7. C=15, Ø=25 çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



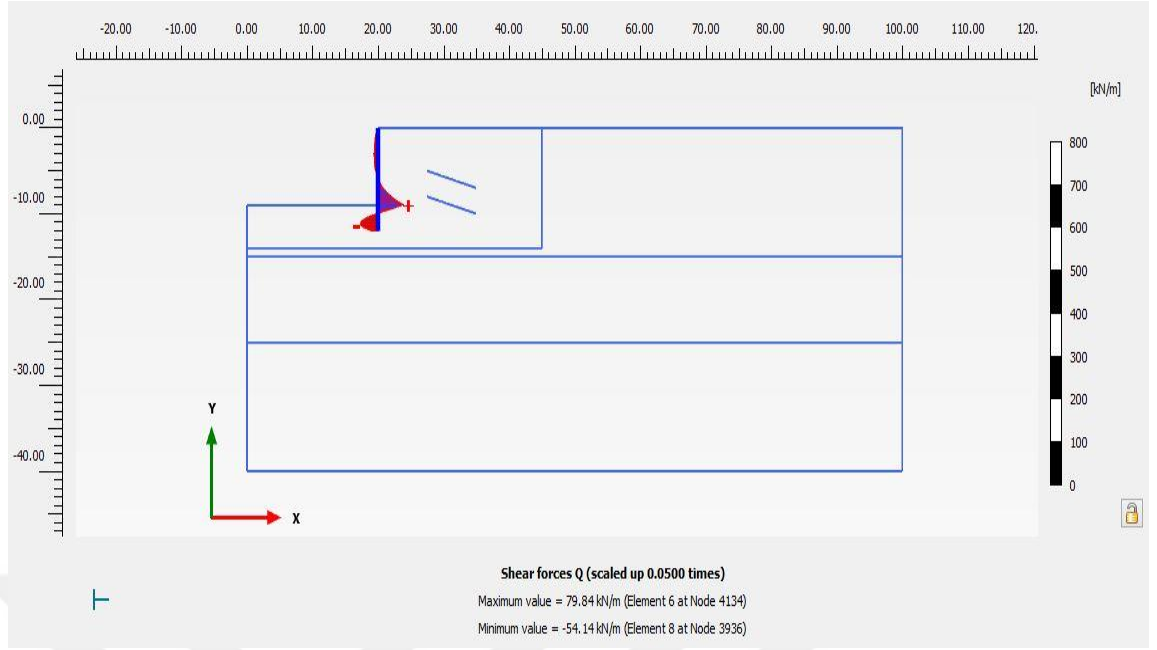
Şekil EK A.8. C=15, Ø=25 çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



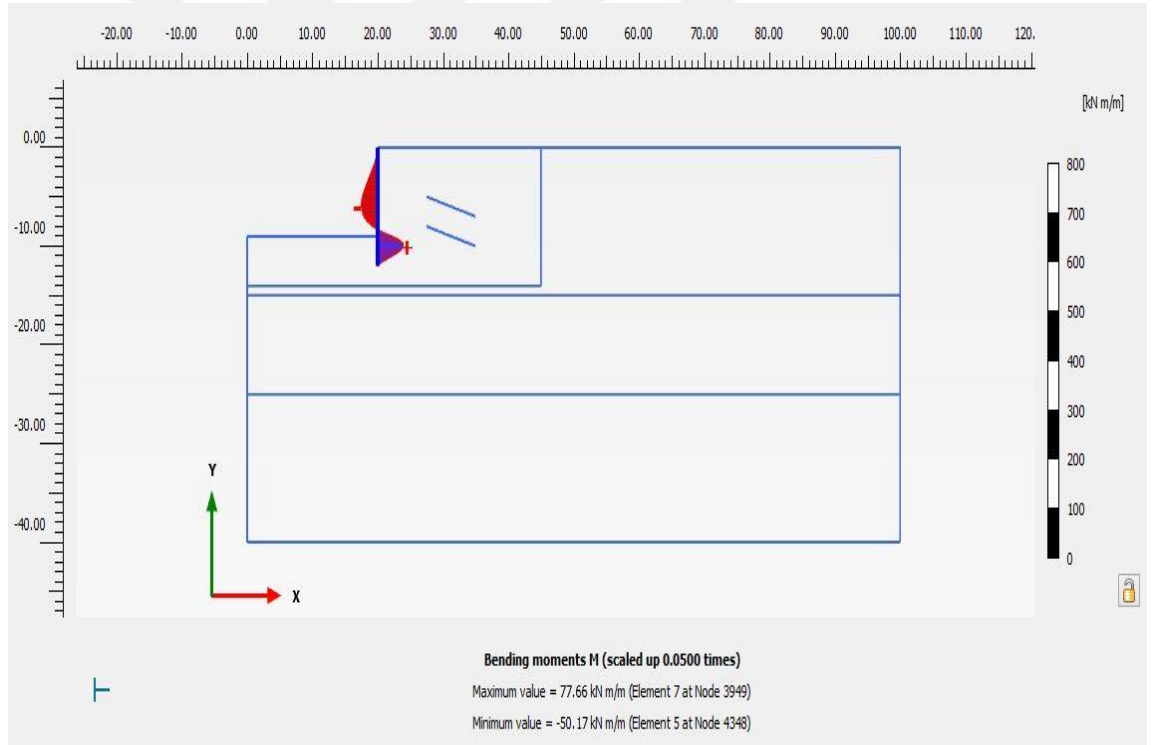
Şekil EK A.9. C=15, Ø=25 çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



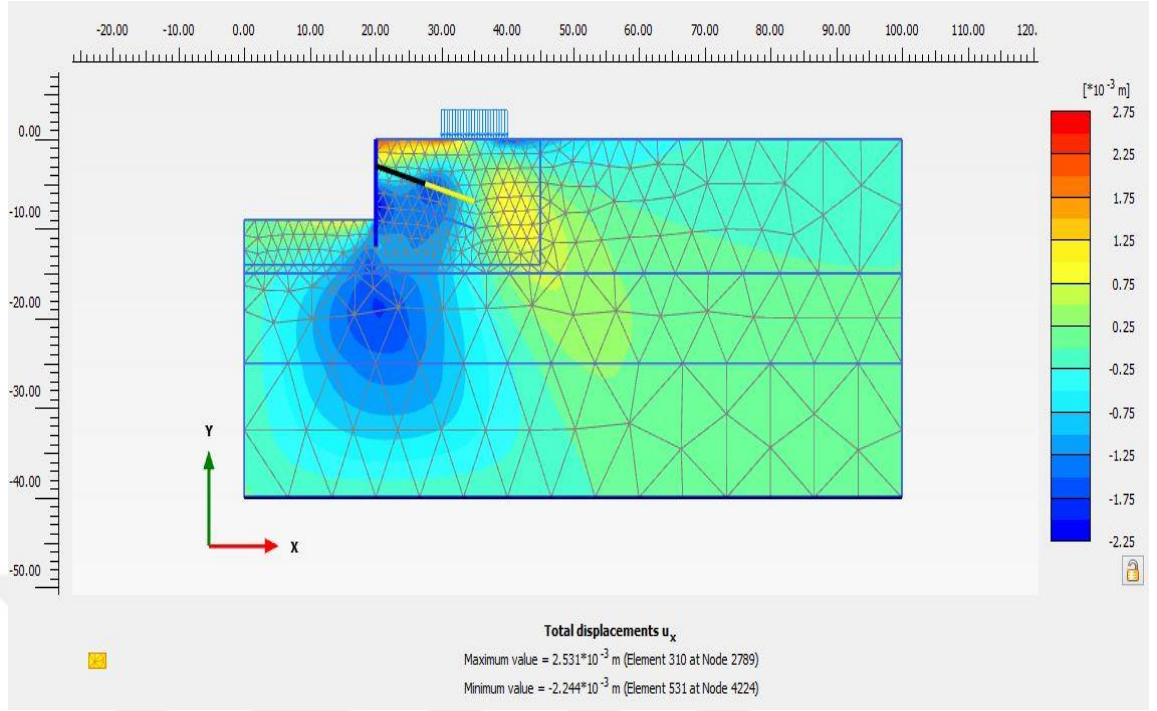
Şekil EK A.10. C=15, Ø=35 konsol duvar yatay deplasman analiz sonucu



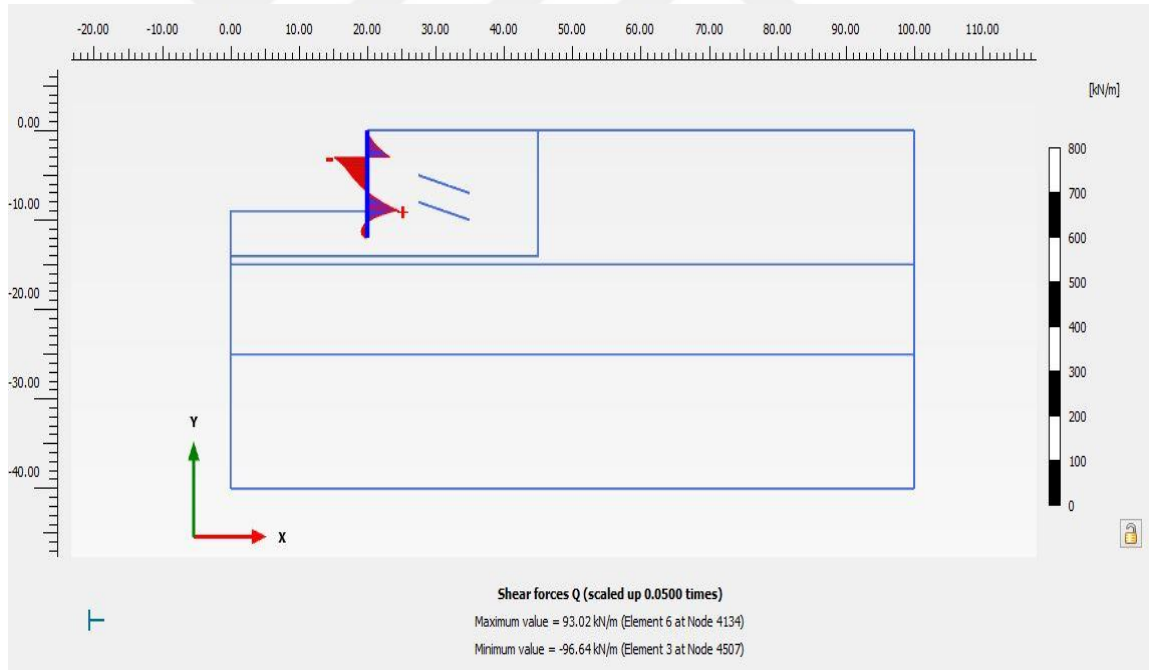
Şekil EK A.11. C=15, Ø=35 konsol duvar kesme kuvveti analiz sonucu



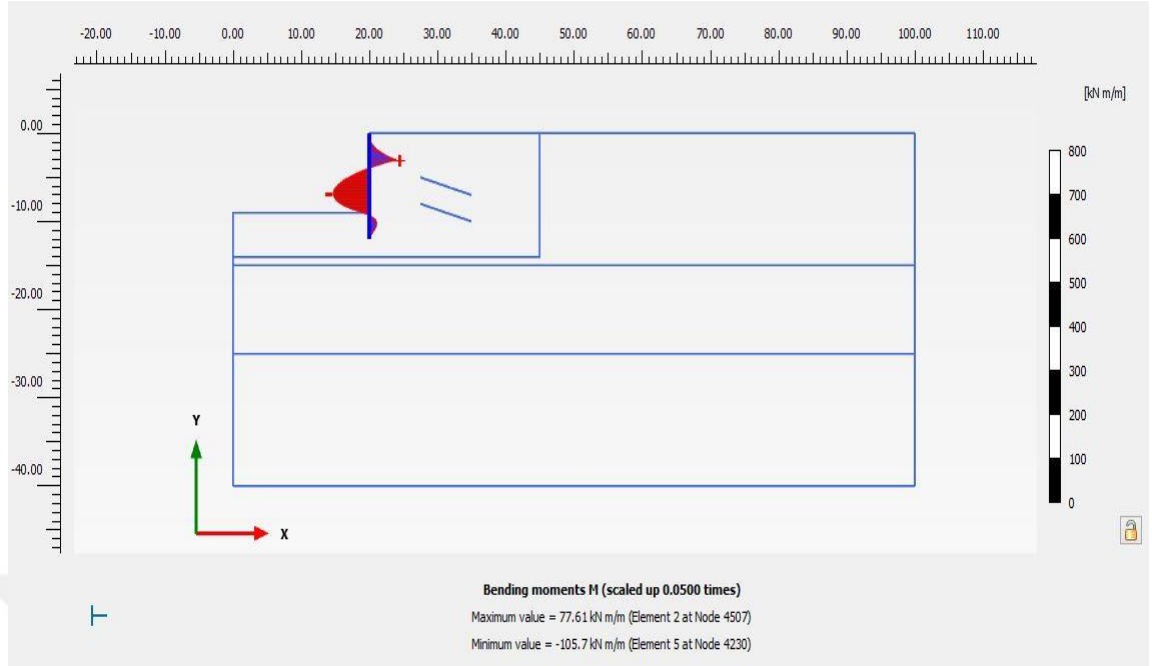
Şekil EK A.12. C=15, Ø=35 konsol duvar eğilme momenti analiz sonucu



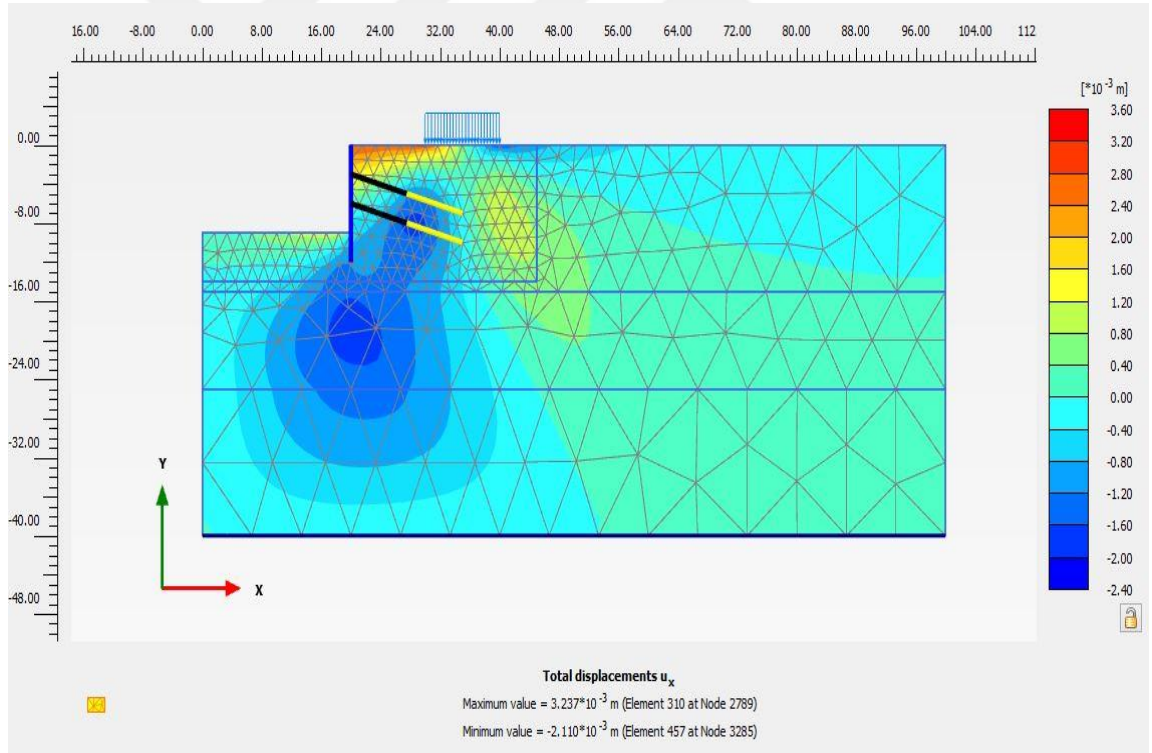
Şekil EK A.13. C=15, Ø=35 tek sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



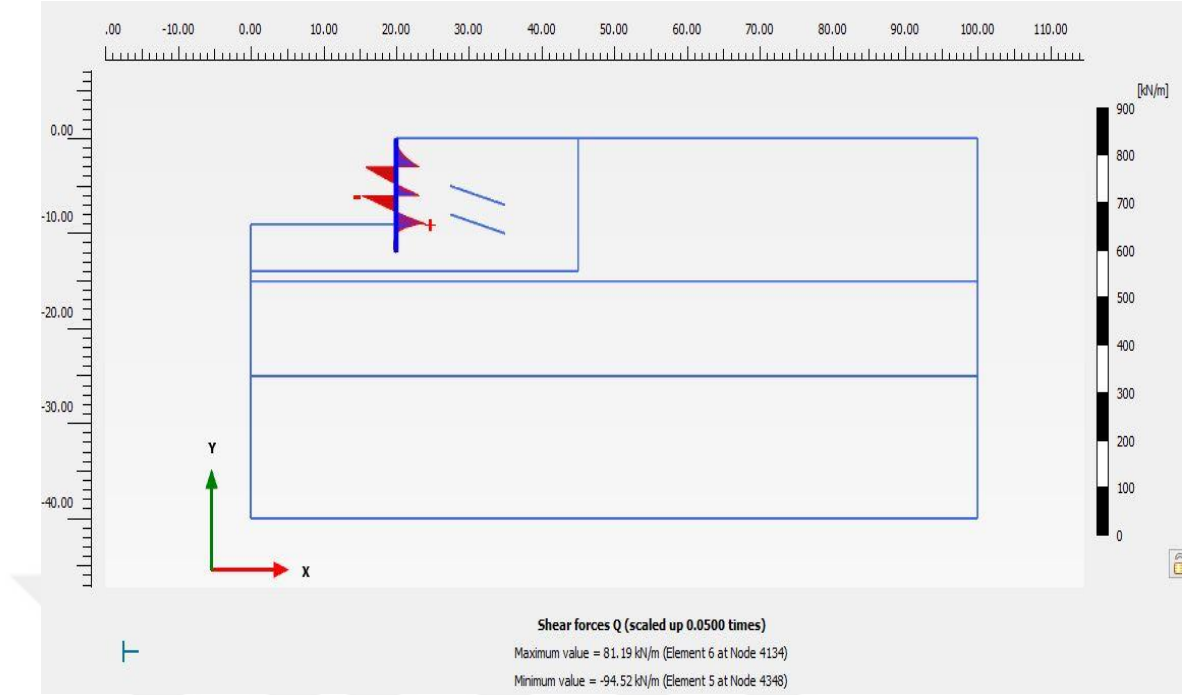
Şekil EK A.14. C=15, Ø=35 tek sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



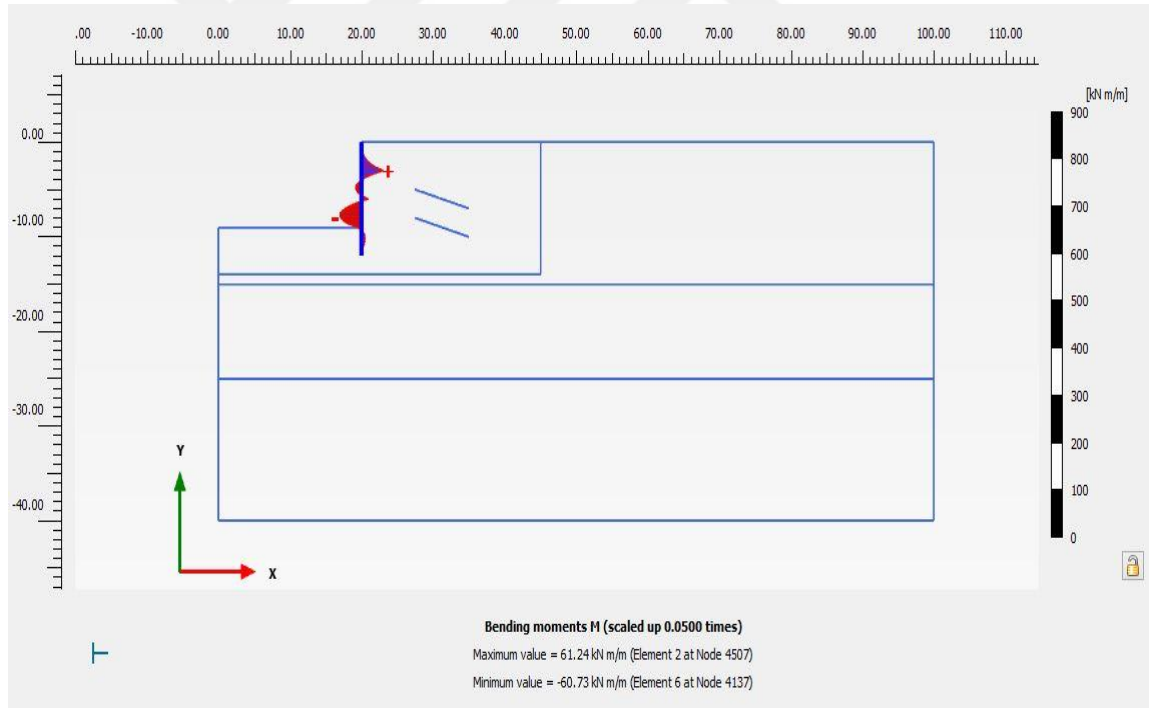
Şekil EK A.15. C=15, Ø=35 tek sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



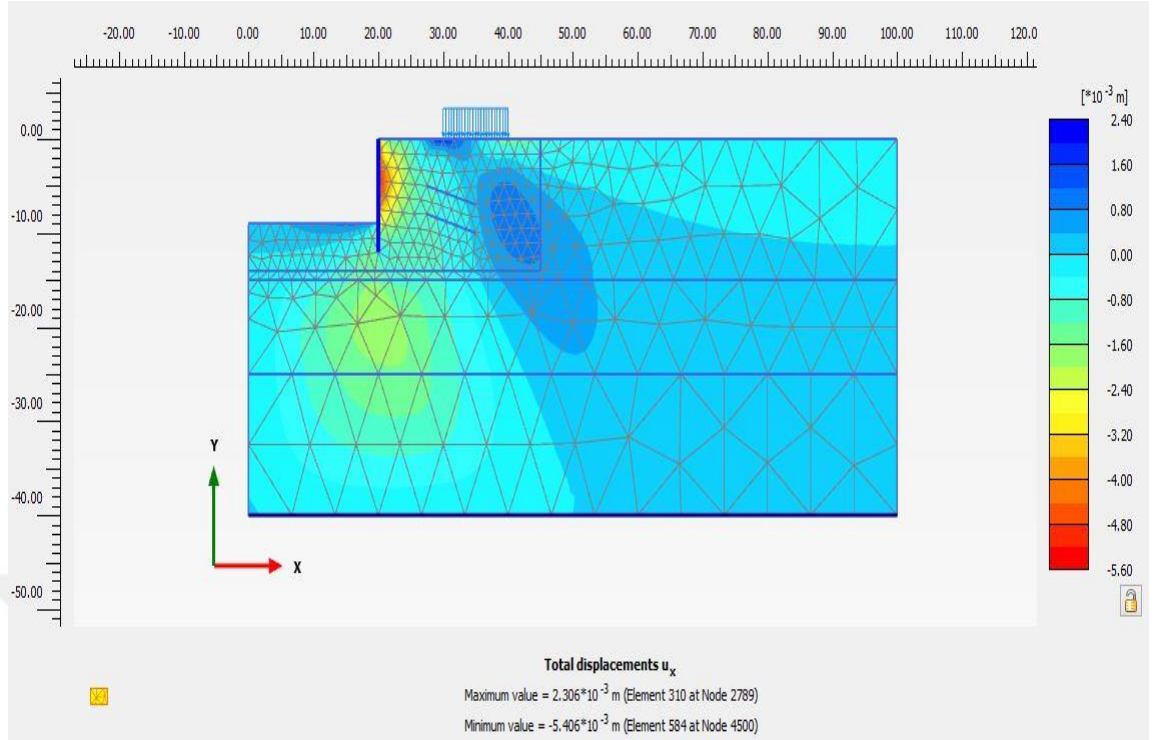
Şekil EK A.16. C=15, Ø=35 çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



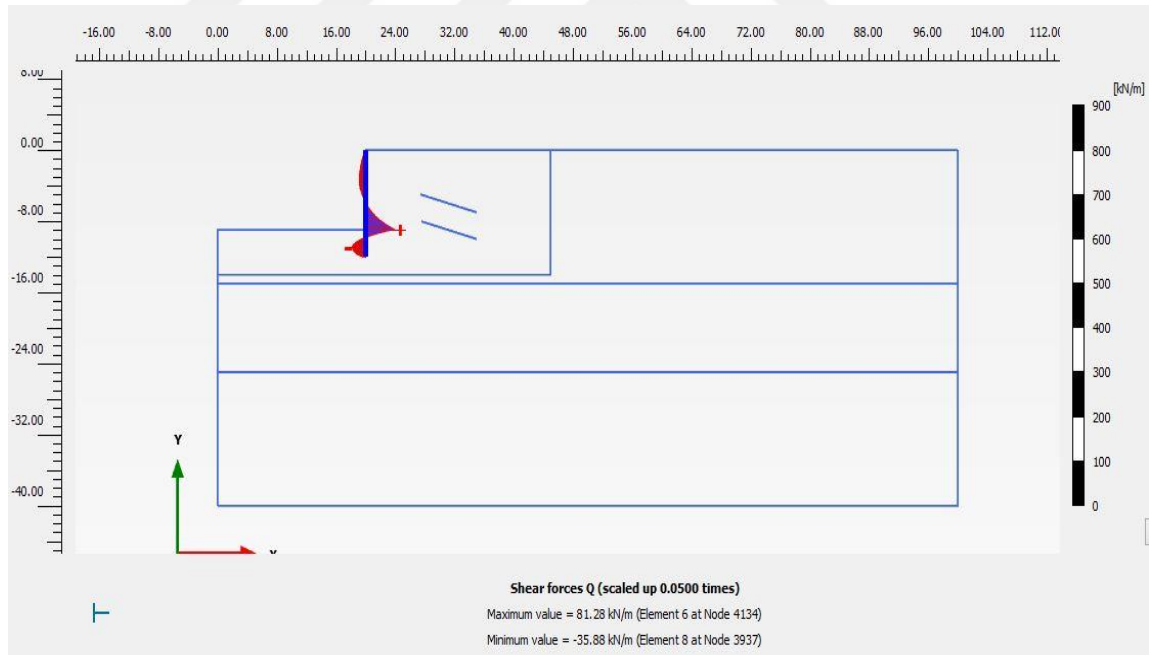
Şekil EK A.17. C=15, Ø=35 çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



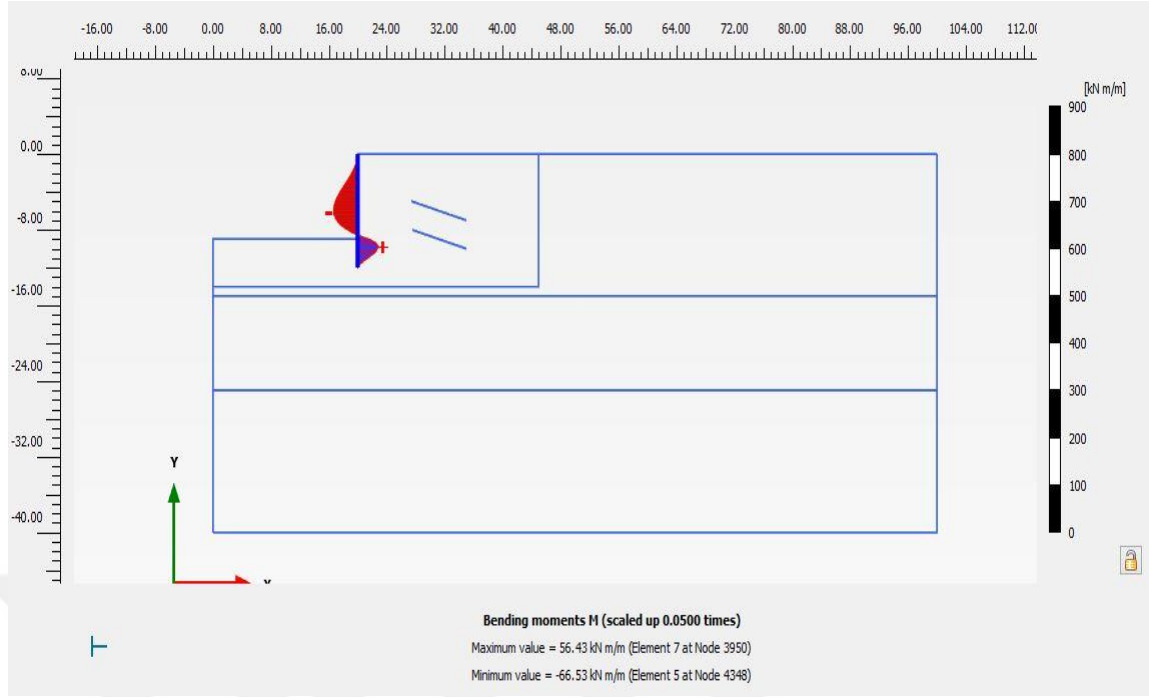
Şekil EK A.18. C=15, Ø=35 çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



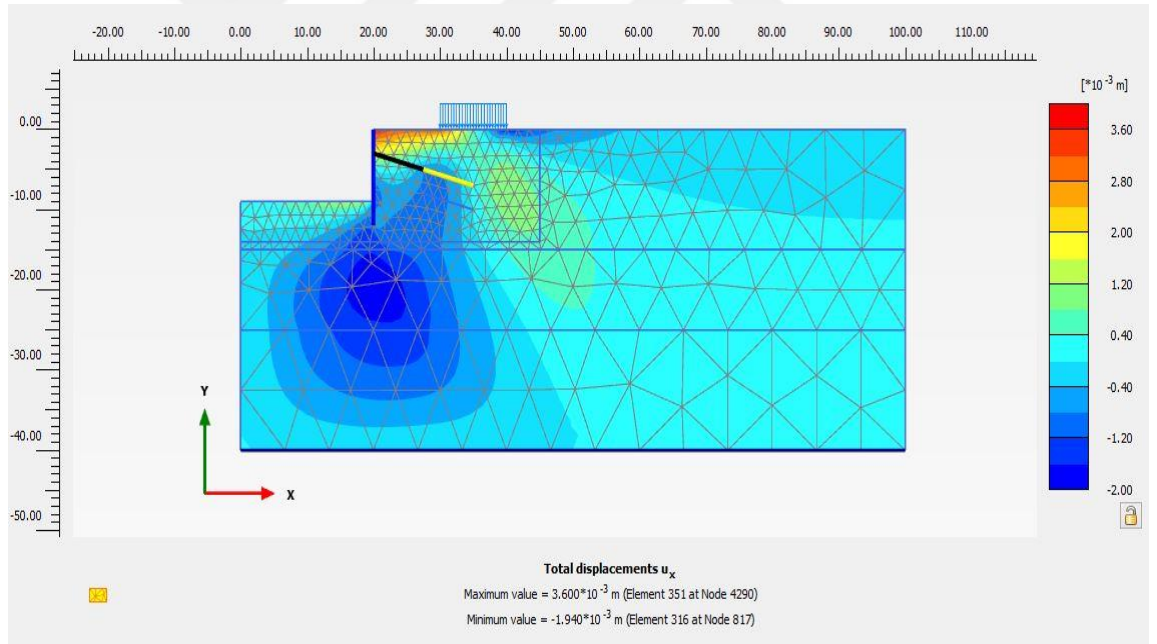
Şekil EK A.19. C=15, Ø=40 konsol duvar yatay deplasman analiz sonucu



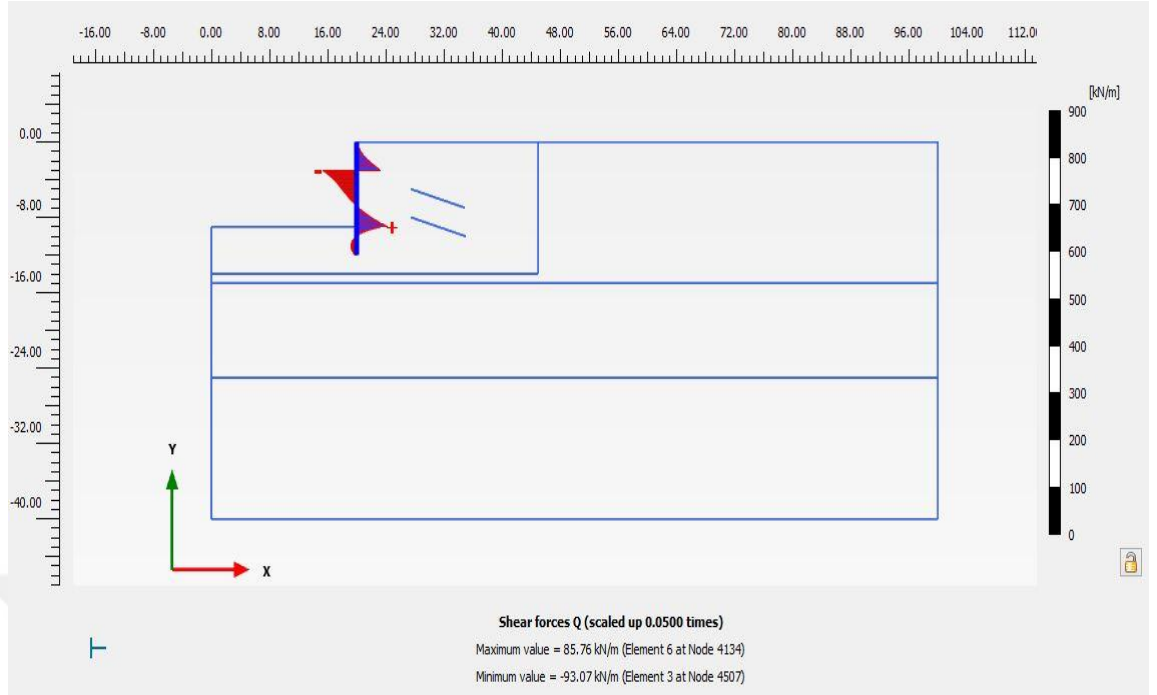
Şekil EK A.20. C=15, Ø=40 konsol duvar kesme kuvveti analiz sonucu



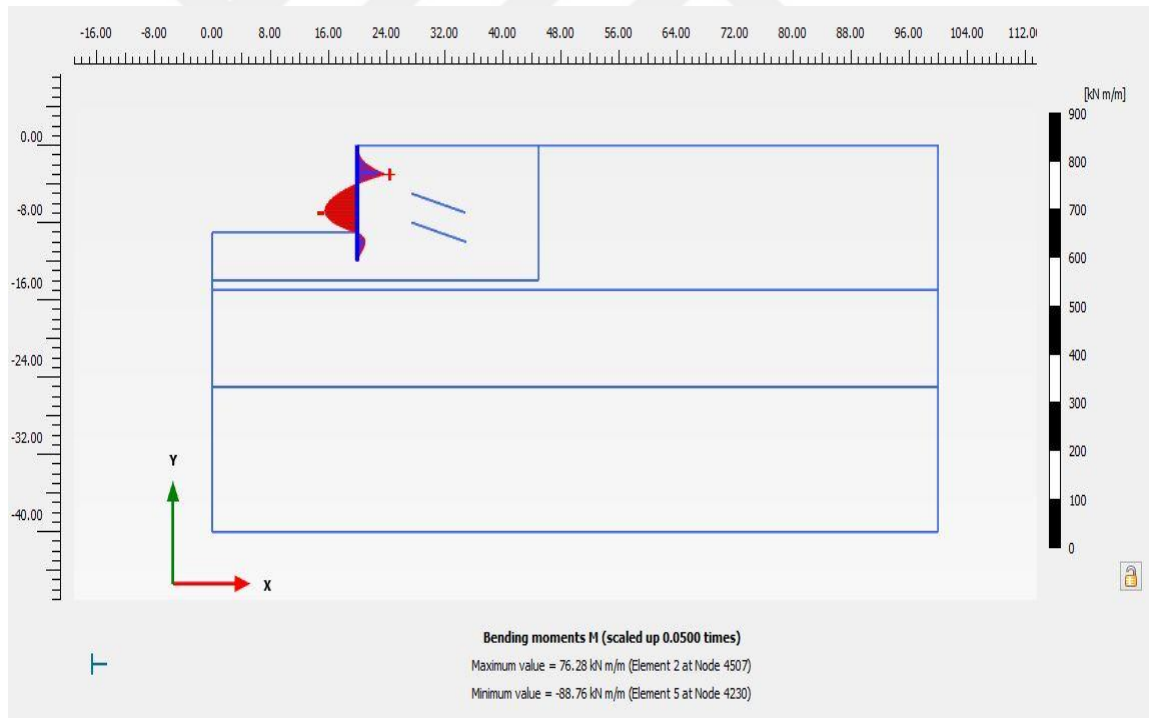
Şekil EK A.21. $C=15$, $\varnothing=40$ konsol duvar eğilme momenti analiz sonucu



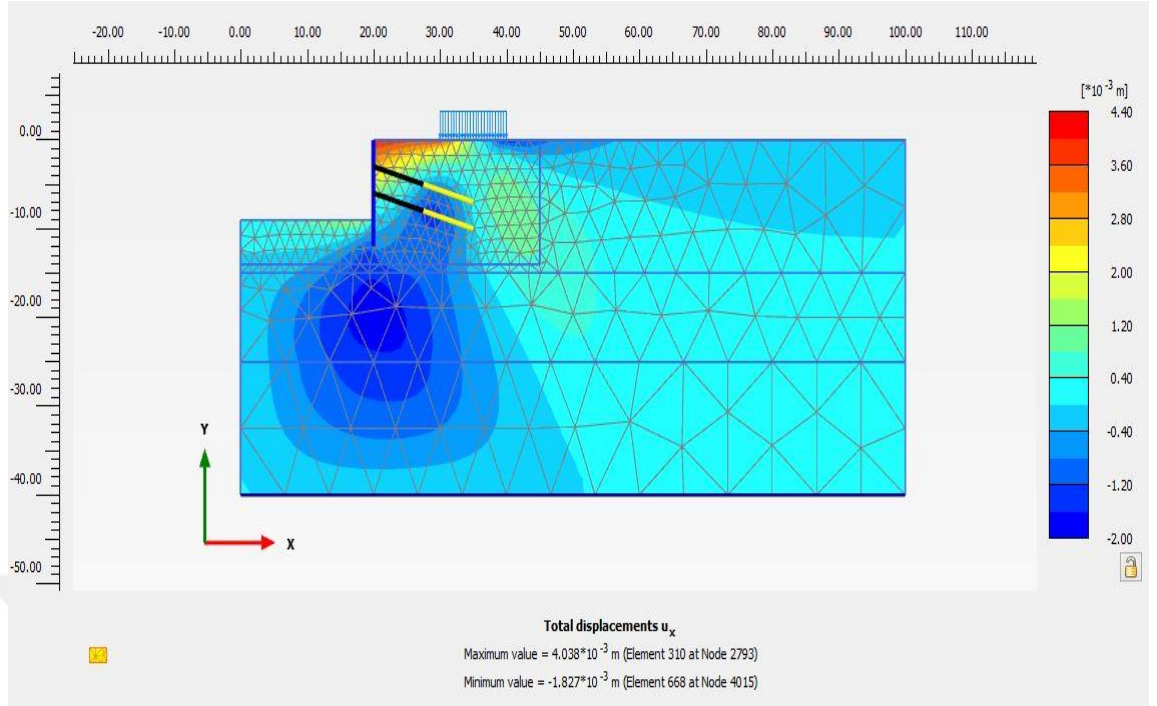
Şekil EK A.22. $C=15$, $\varnothing=40$ tek sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



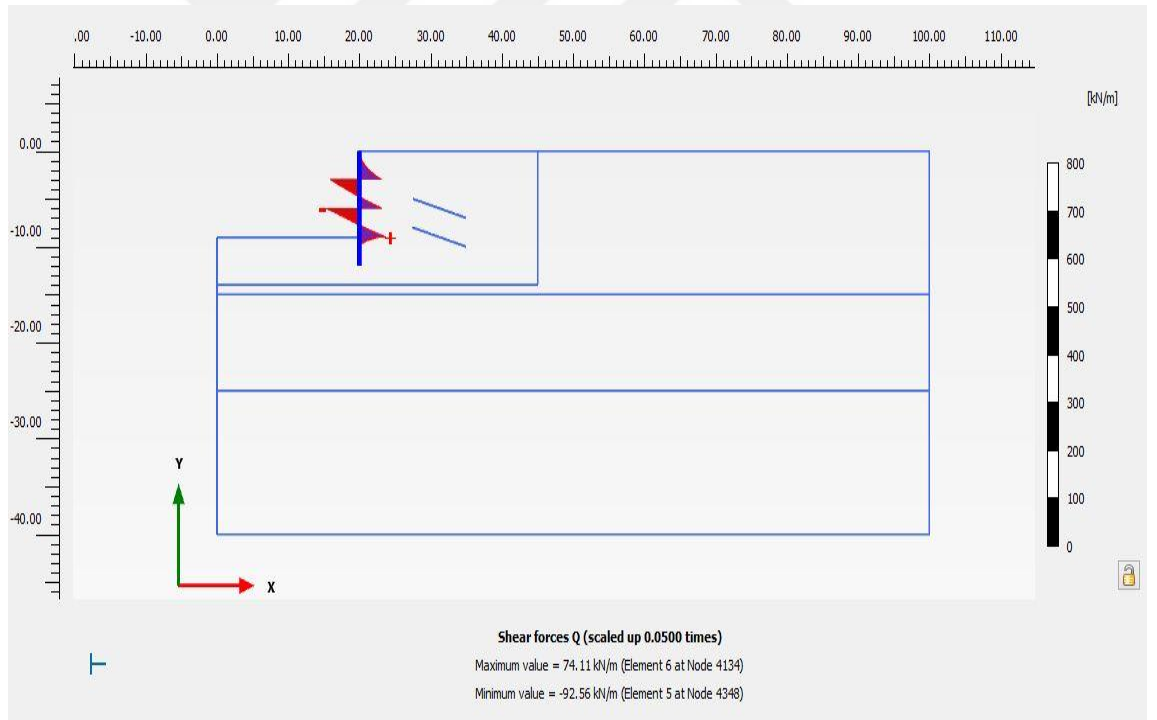
Şekil EK A.23. $C=15$, $\varnothing=40$ tek sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



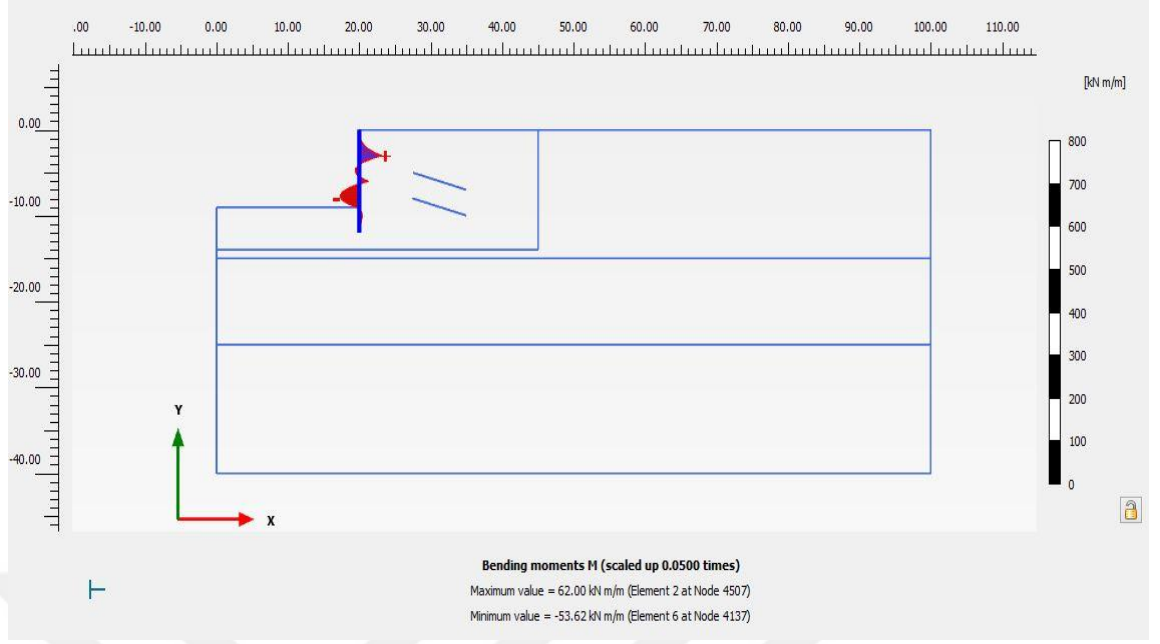
Şekil EK A.24. $C=15$, $\varnothing=40$ tek sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



Şekil EK A.25. C=15, Ø=40 çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu

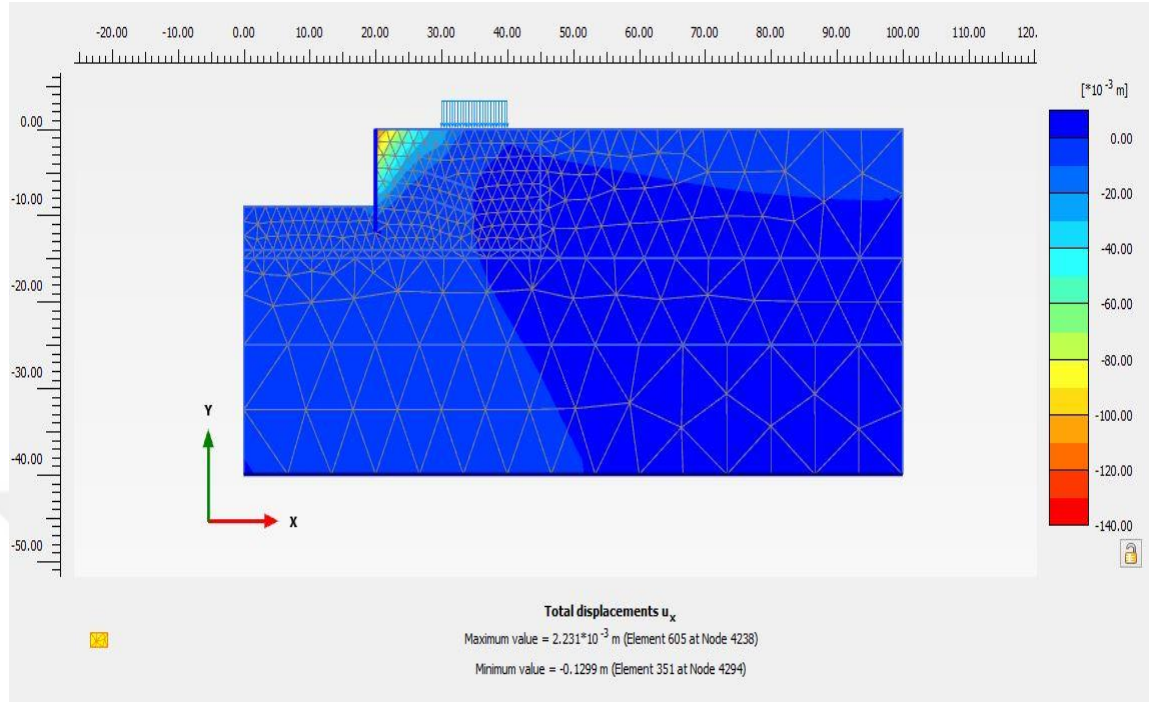


Şekil EK A.26. C=15, Ø=40 çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu

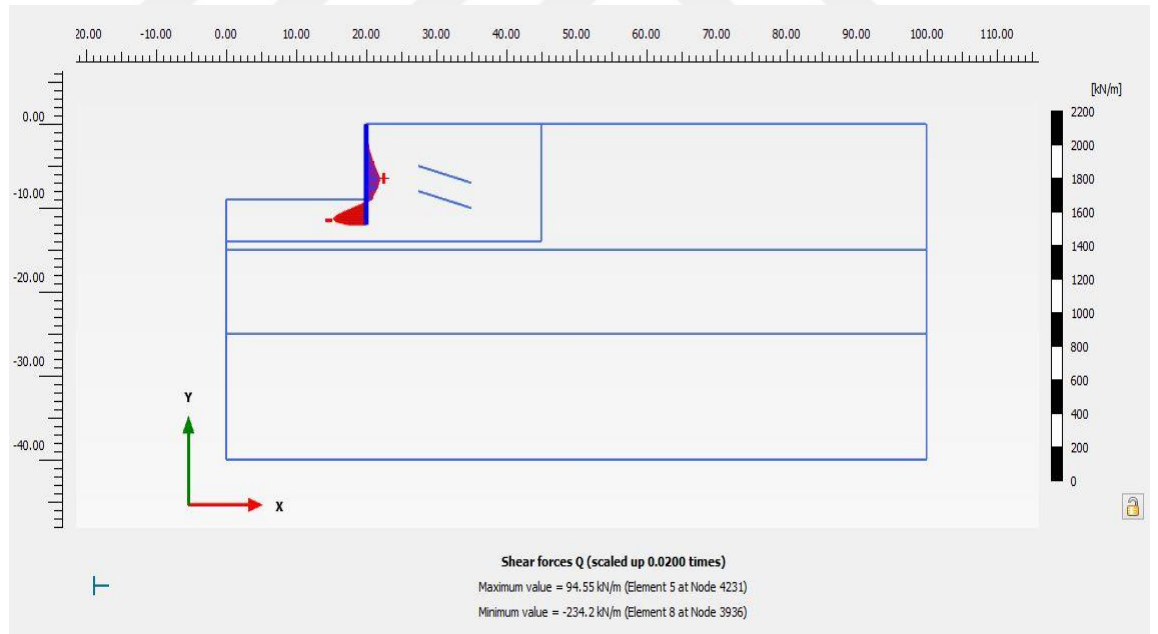


Şekil EK A.27. C=15, Ø=40 çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu

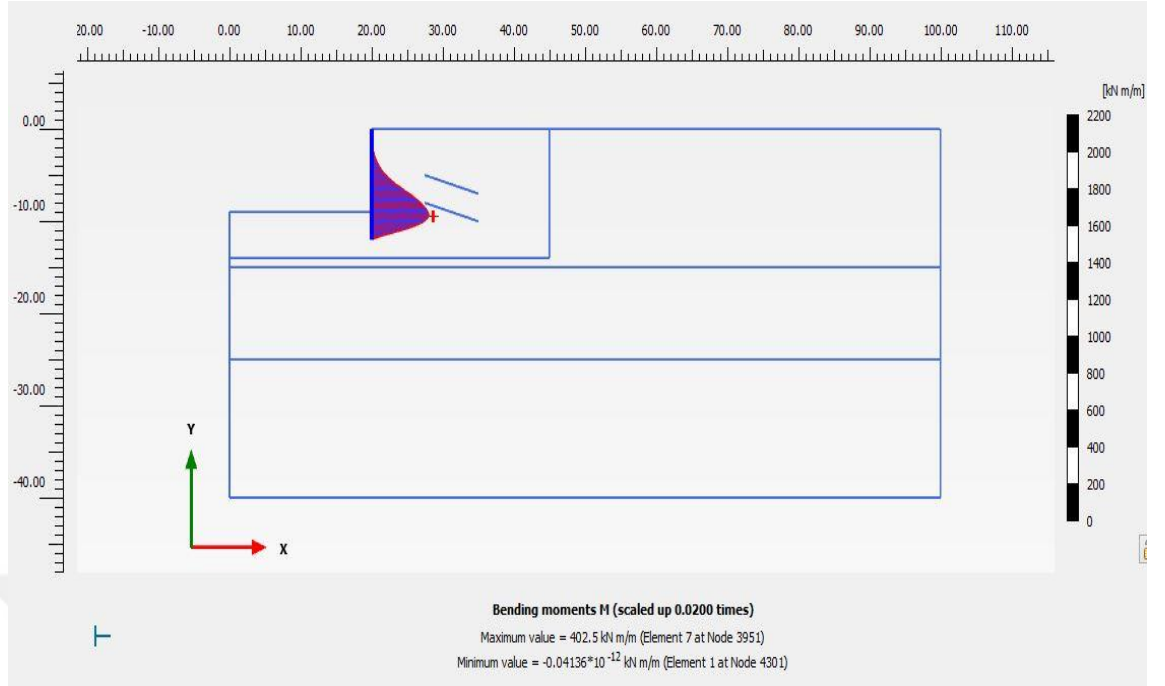
EK B: Kohezyon etkisinin araştırılması plaxis analiz sonuçları



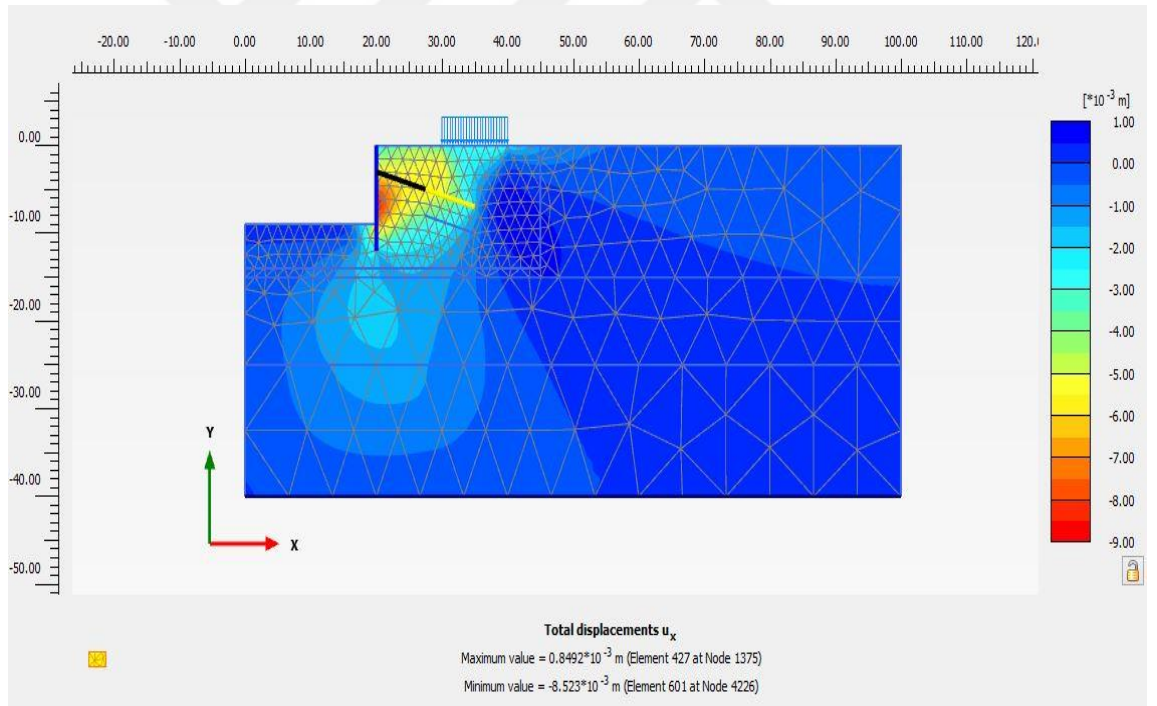
Şekil EK B.1. C=1, Ø=30 konsol duvar yatay deplasman analiz sonucu



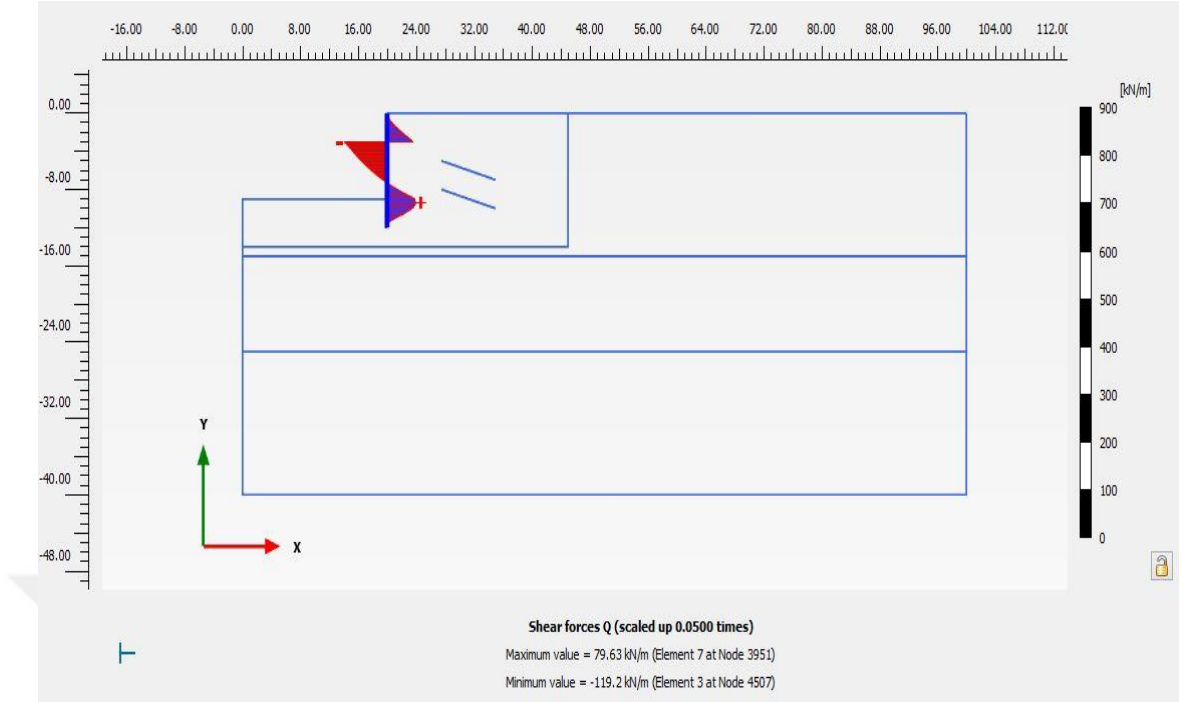
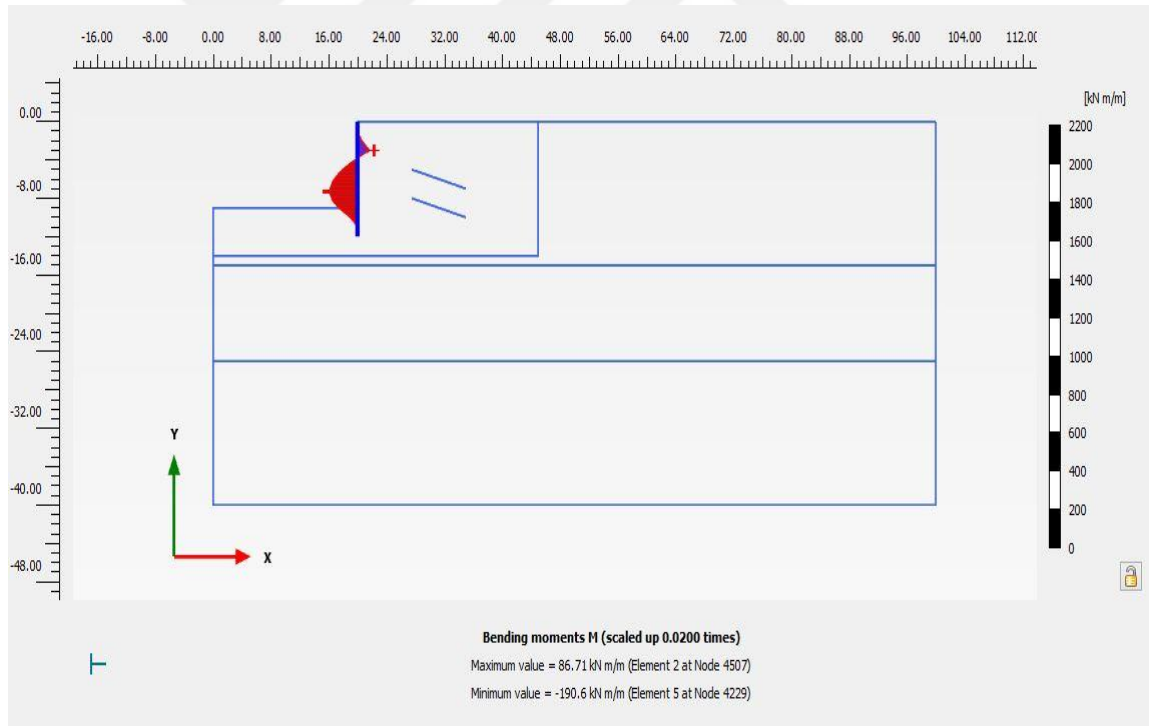
Şekil EK B.2. C=1, Ø=30 konsol duvar kesme kuvveti analiz sonucu

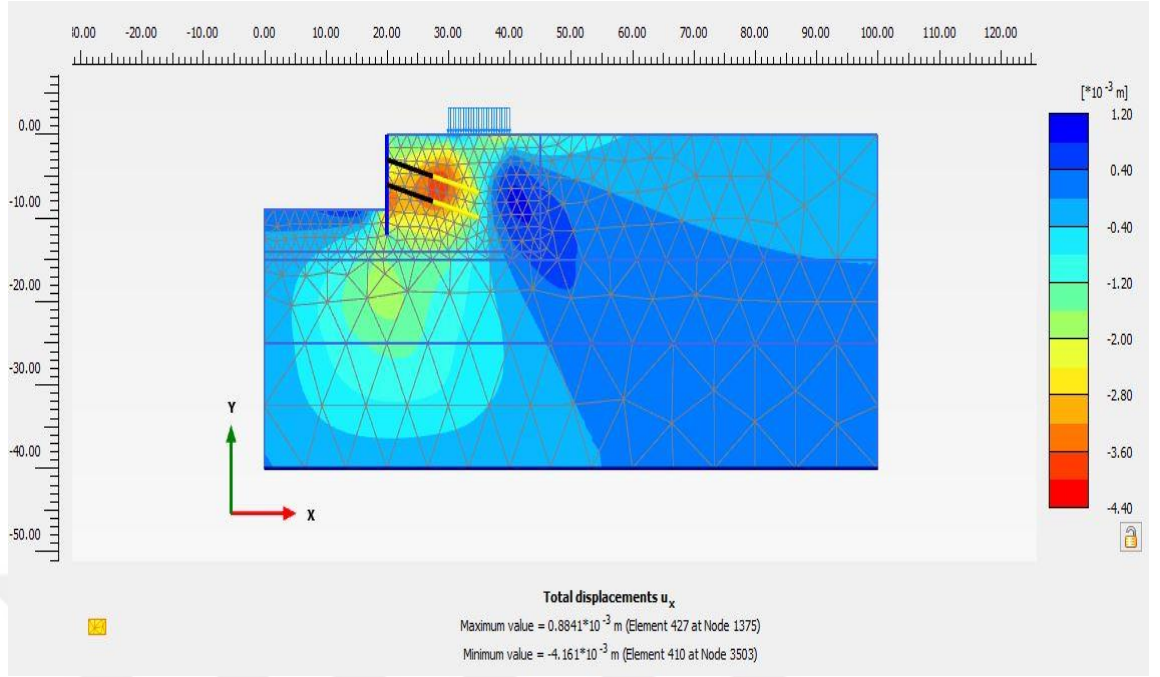


Şekil EK B.3. C=1, Ø=30 konsol duvar eğilme momenti analiz sonucu

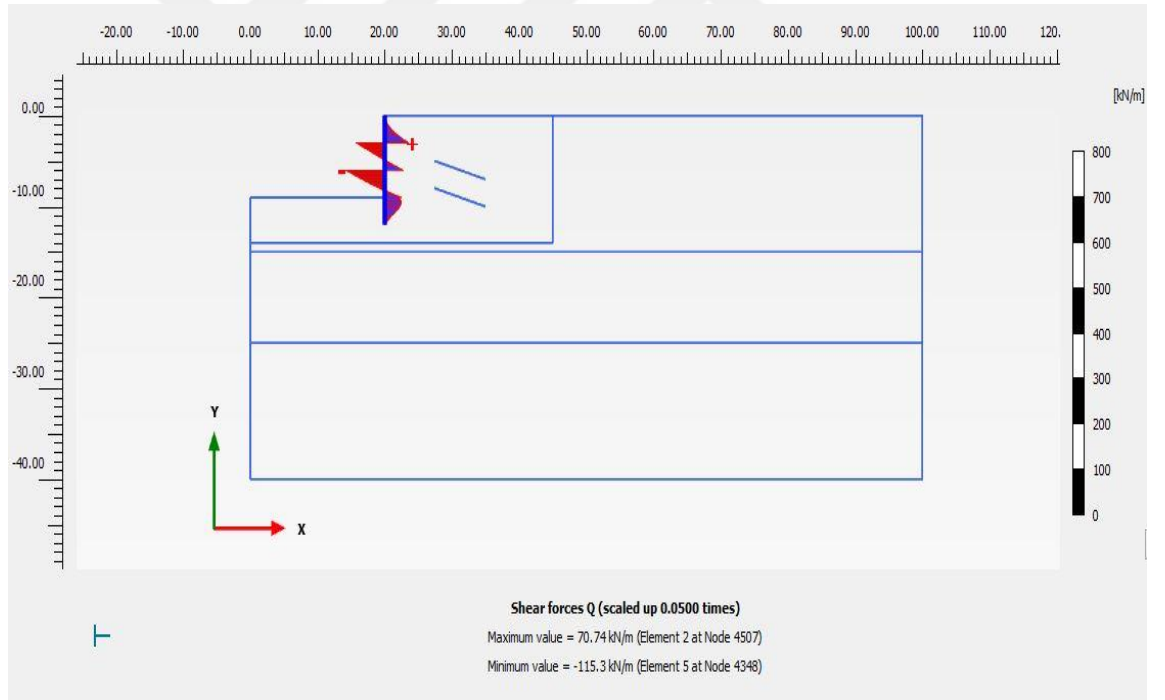


Şekil EK B.4. C=1, Ø=30 tek sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu

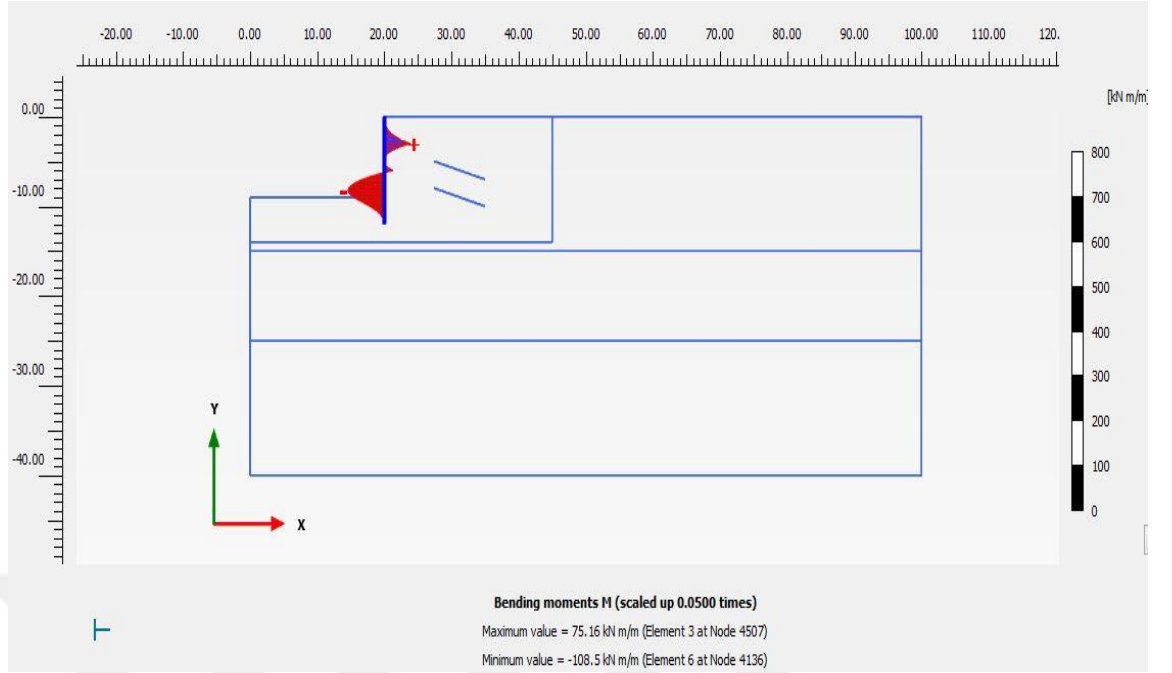
Şekil EK B.5. $C=1$, $\varnothing=30$ tek sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucuŞekil EK B.6. $C=1$, $\varnothing=30$ tek sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



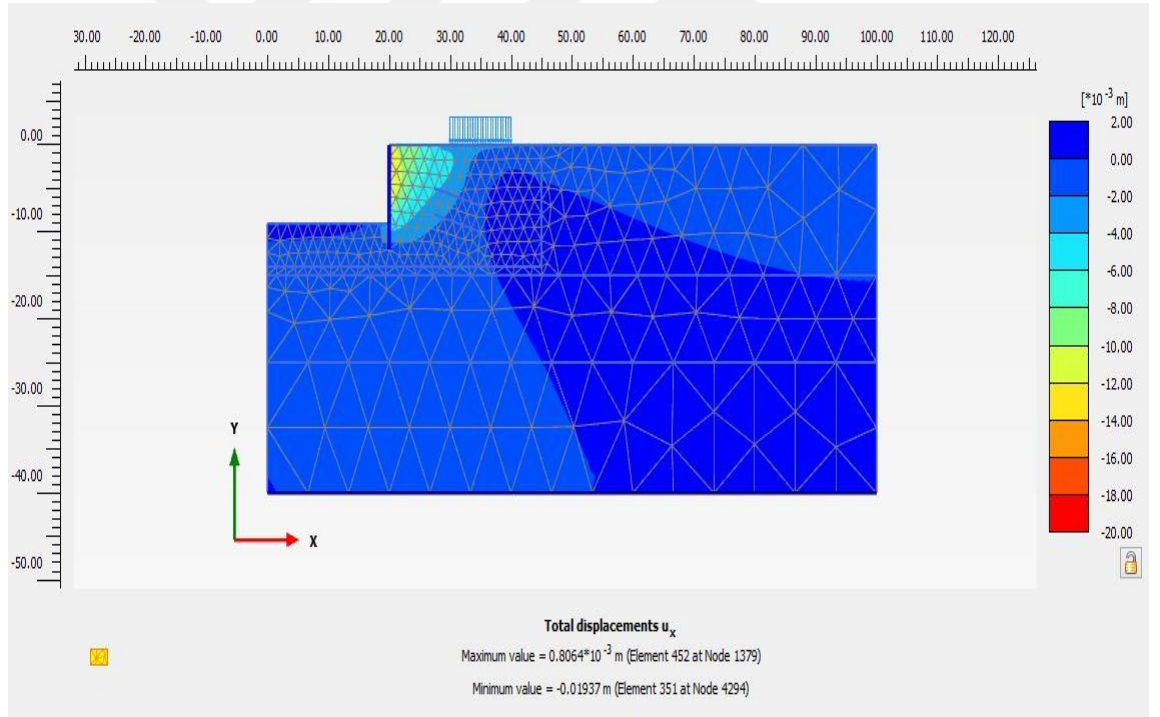
Şekil EK B.7. C=1, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



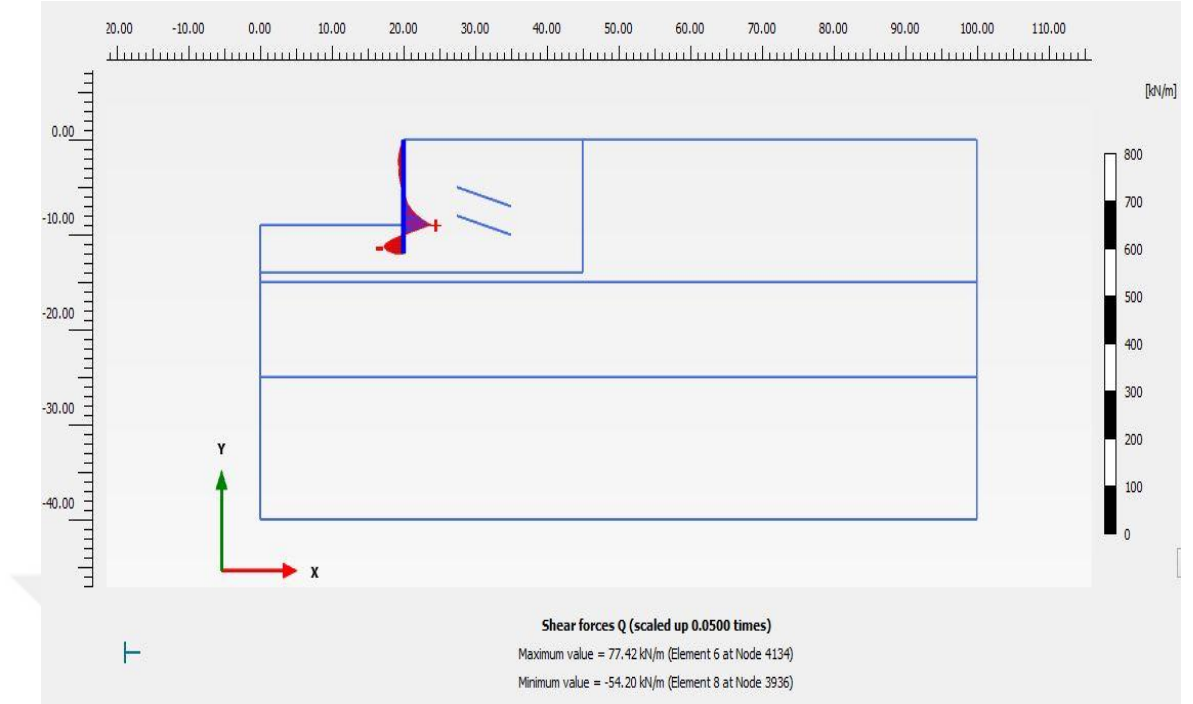
Şekil EK B.8. C=1, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



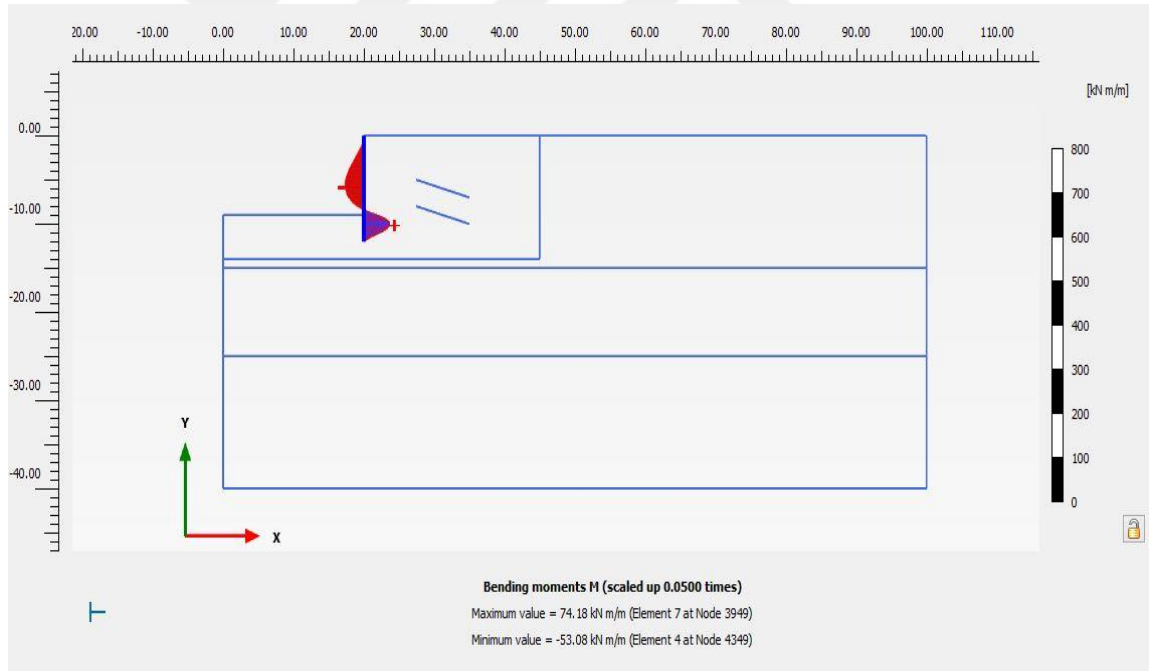
Şekil EK B.9. $C=1$, $\varnothing=30$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



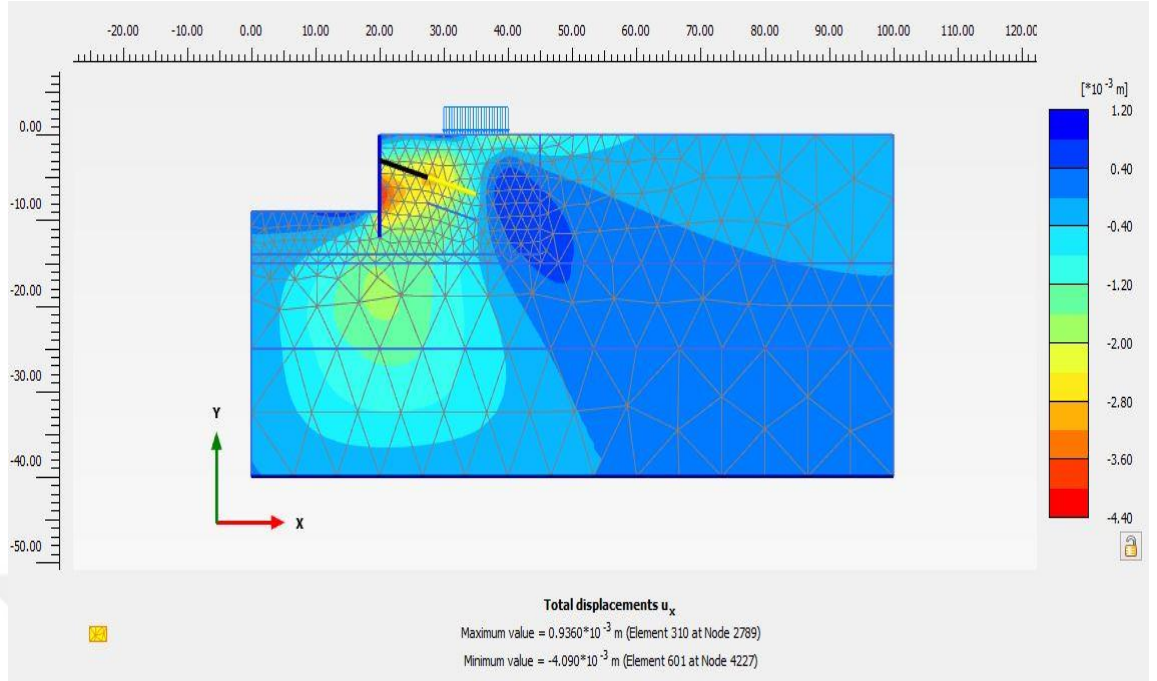
Şekil EK B.10. $C=15$, $\varnothing=30$ konsol duvar yatay deplasman analiz sonucu



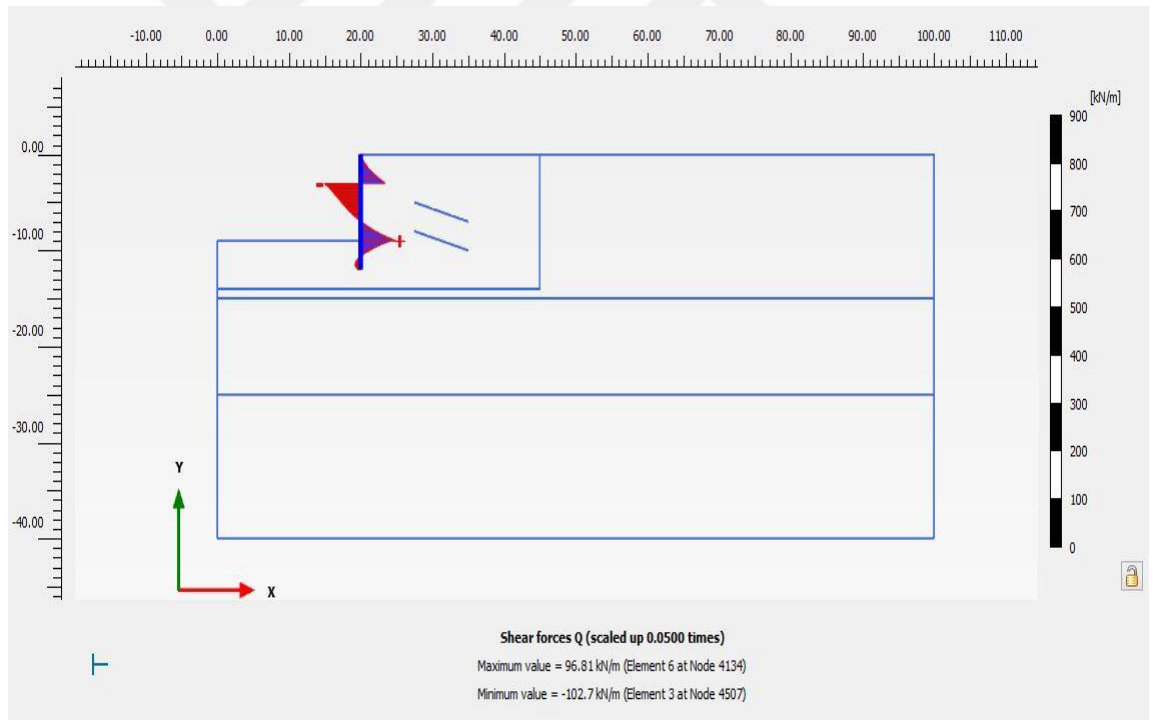
Şekil EK B.11. C=15, Ø=30 konsol duvar kesme kuvveti analiz sonucu



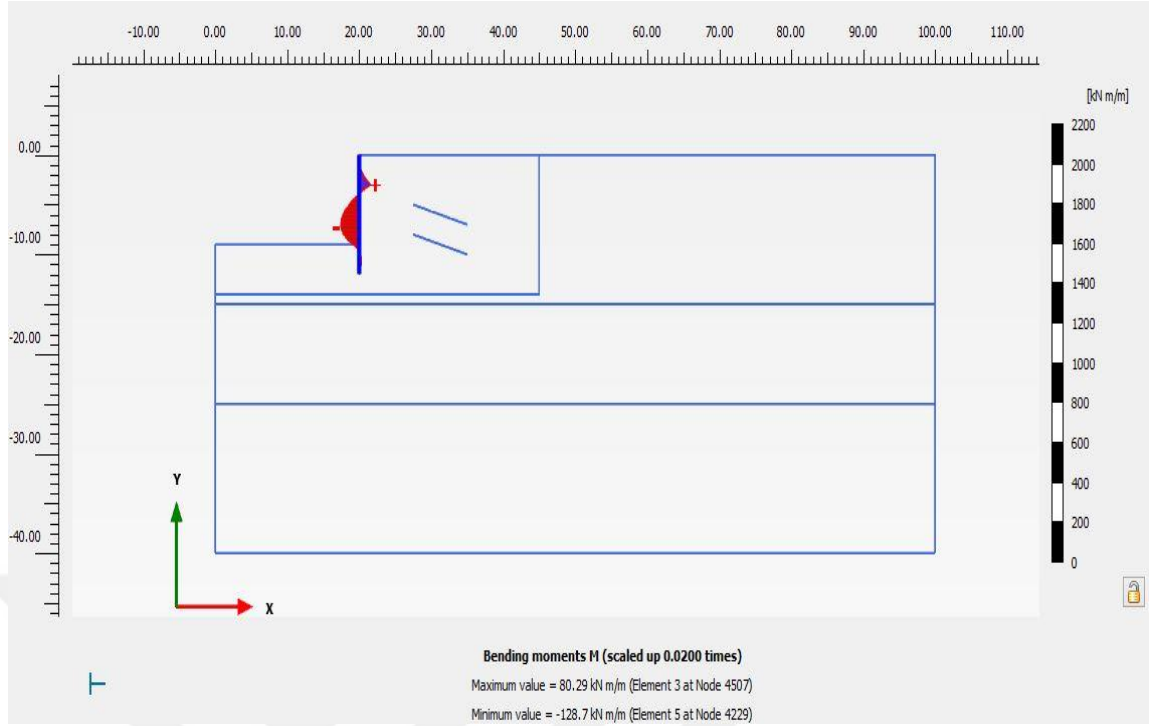
Şekil EK B.12. C=15, Ø=30 konsol duvar eğilme momenti analiz sonucu



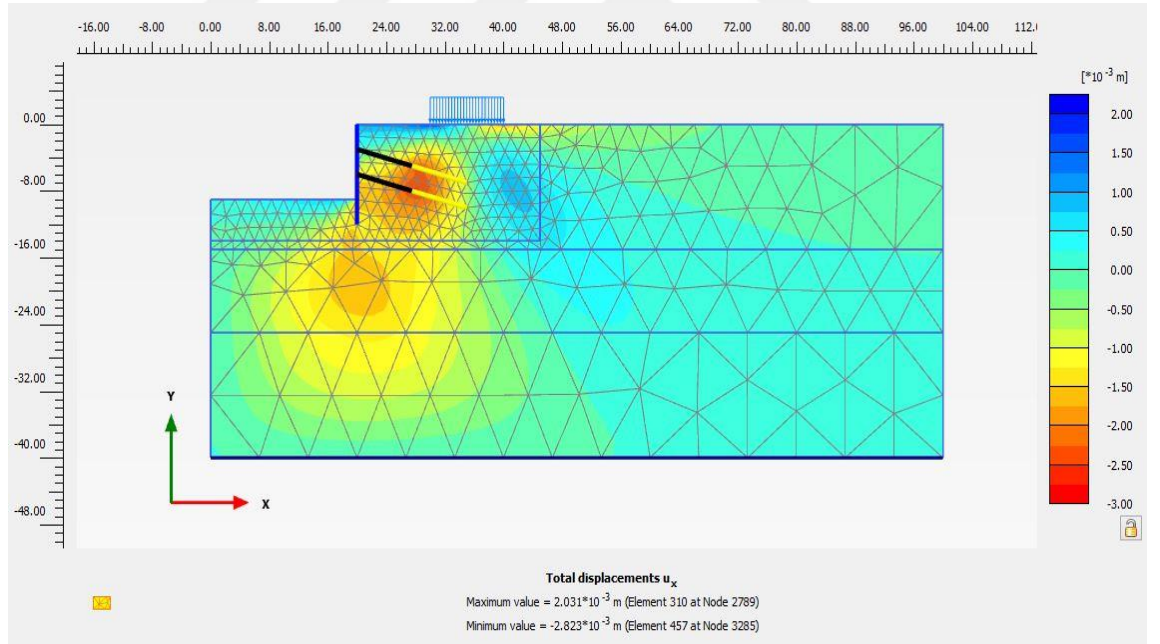
Şekil EK B.13. C=15, Ø=30 tek sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



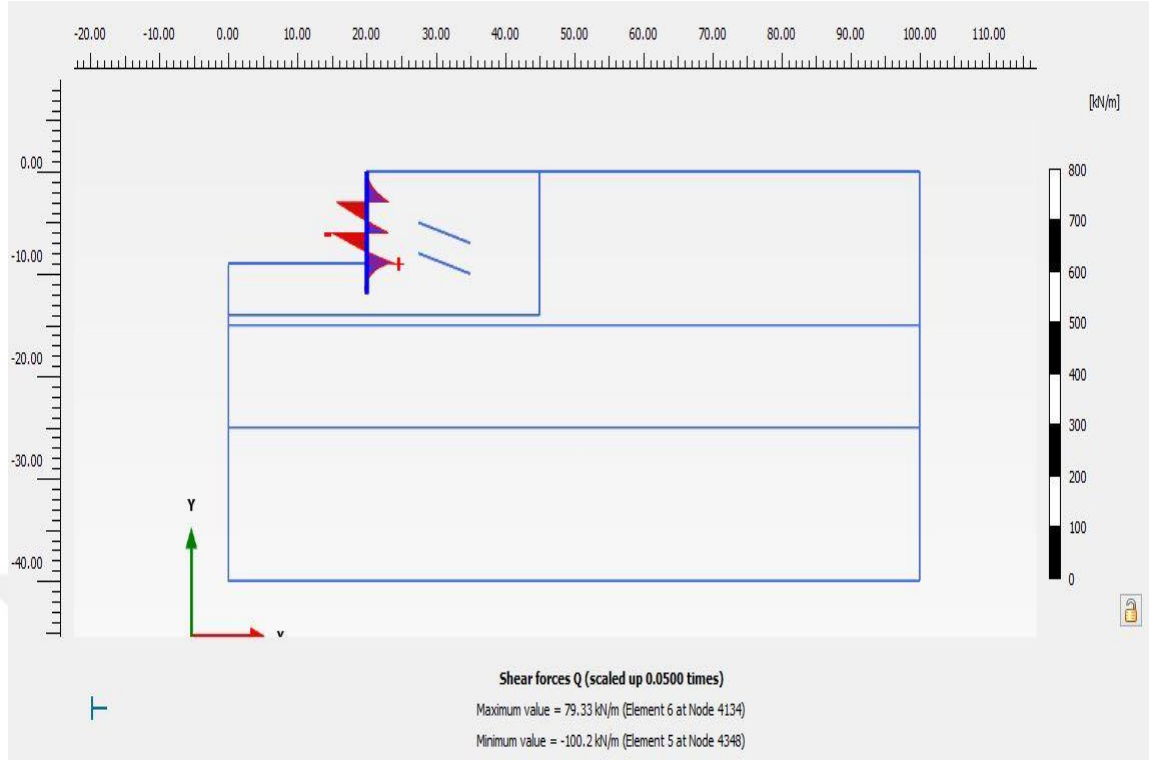
Şekil EK B.14. C=15, Ø=30 tek sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



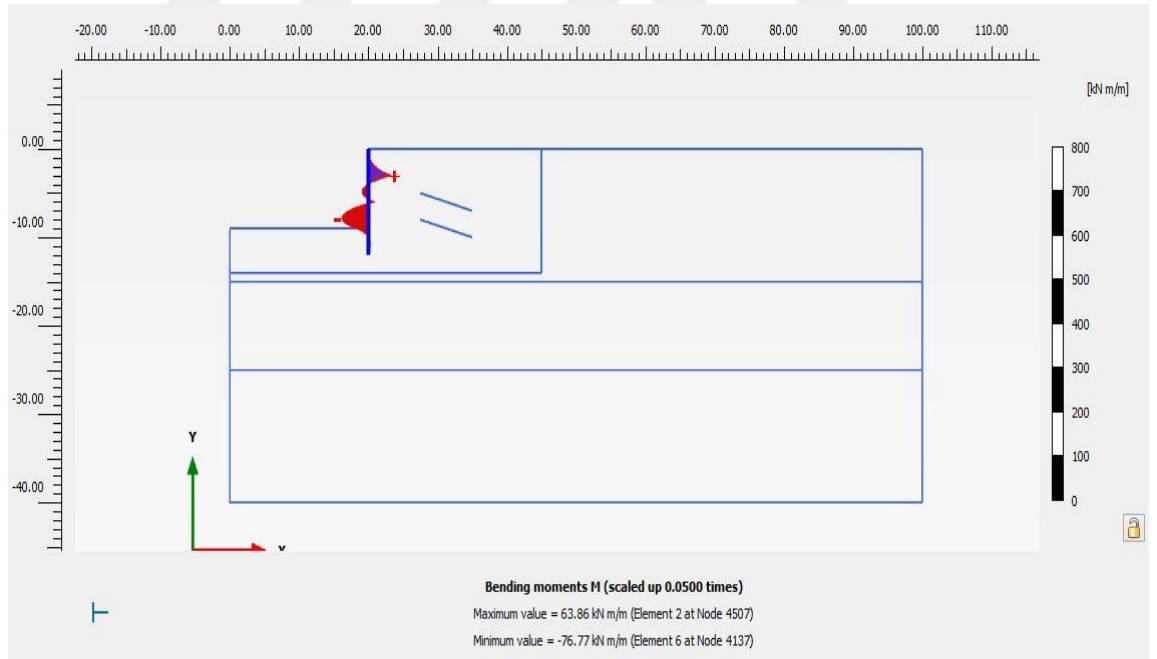
Şekil EK B.15. C=15, Ø=30 tek sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



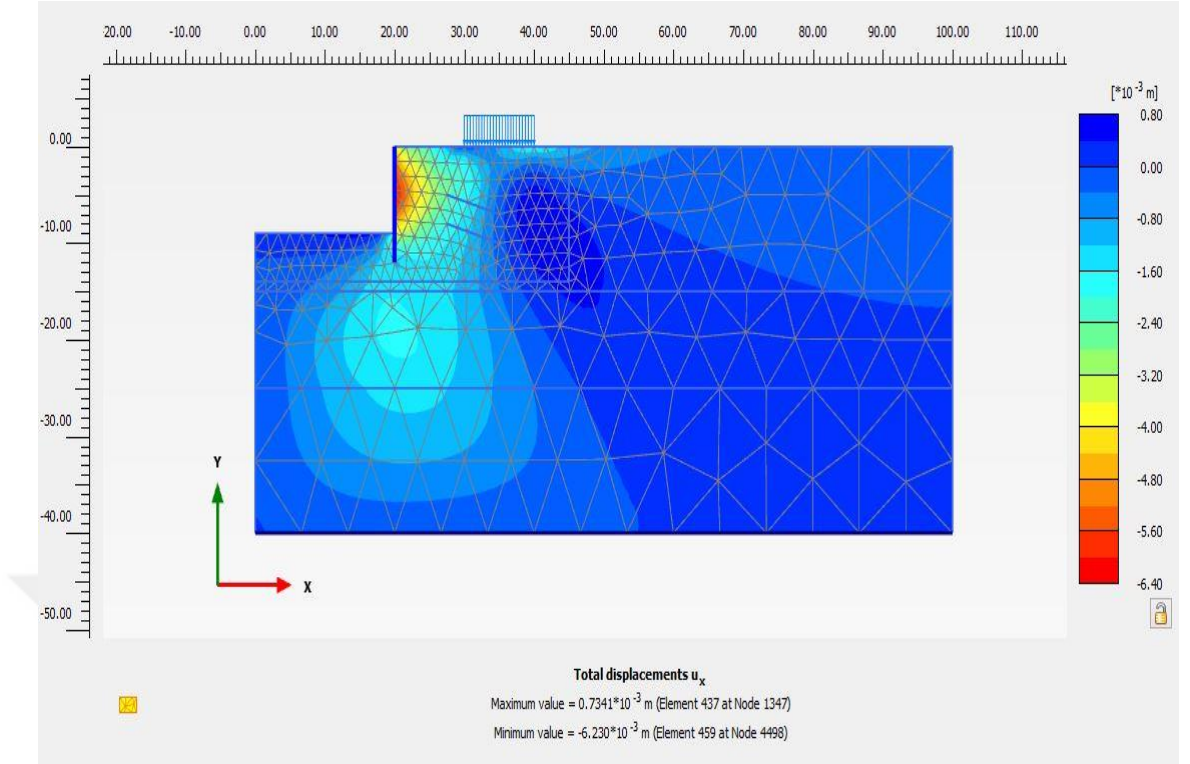
Şekil EK B.16. C=15, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



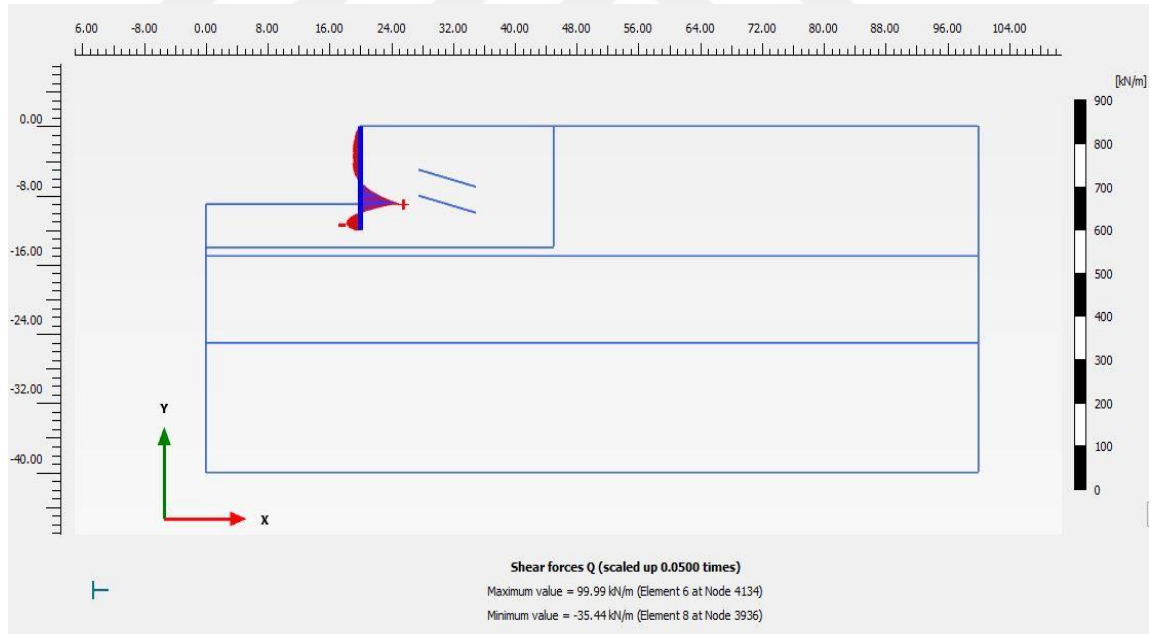
Şekil EK B.17. C=15, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



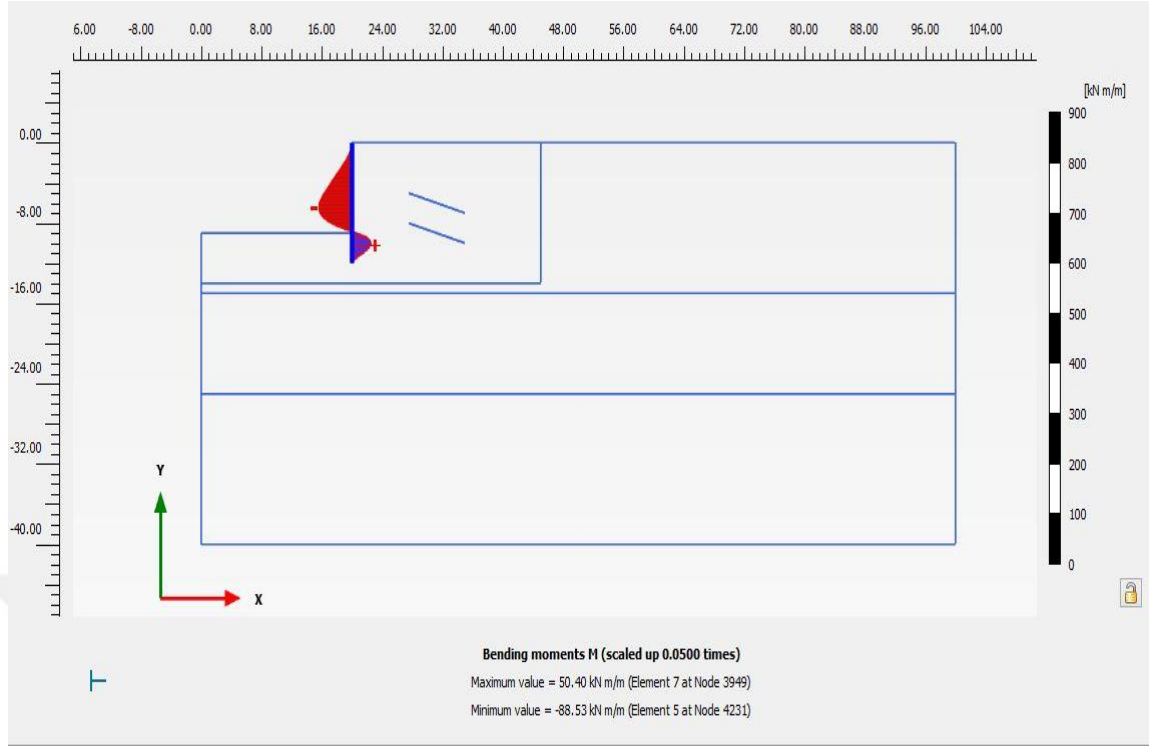
Şekil EK B.18. C=15, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



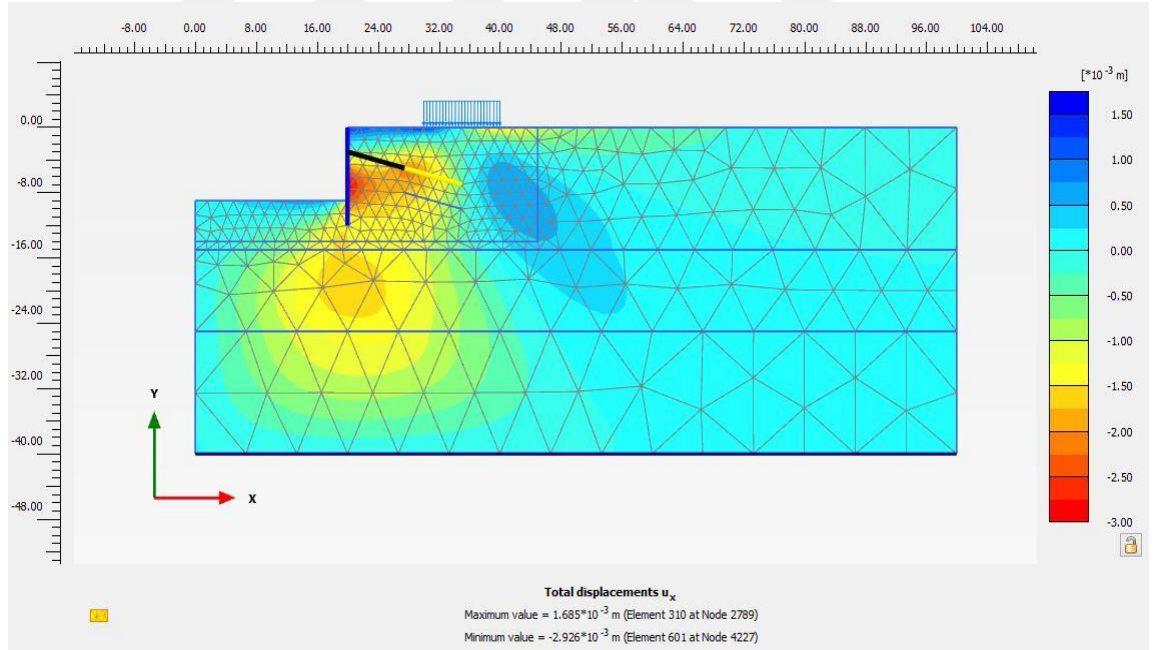
Şekil EK B.19. C=30, Ø=30 konsol duvar yatay deplasman analiz sonucu



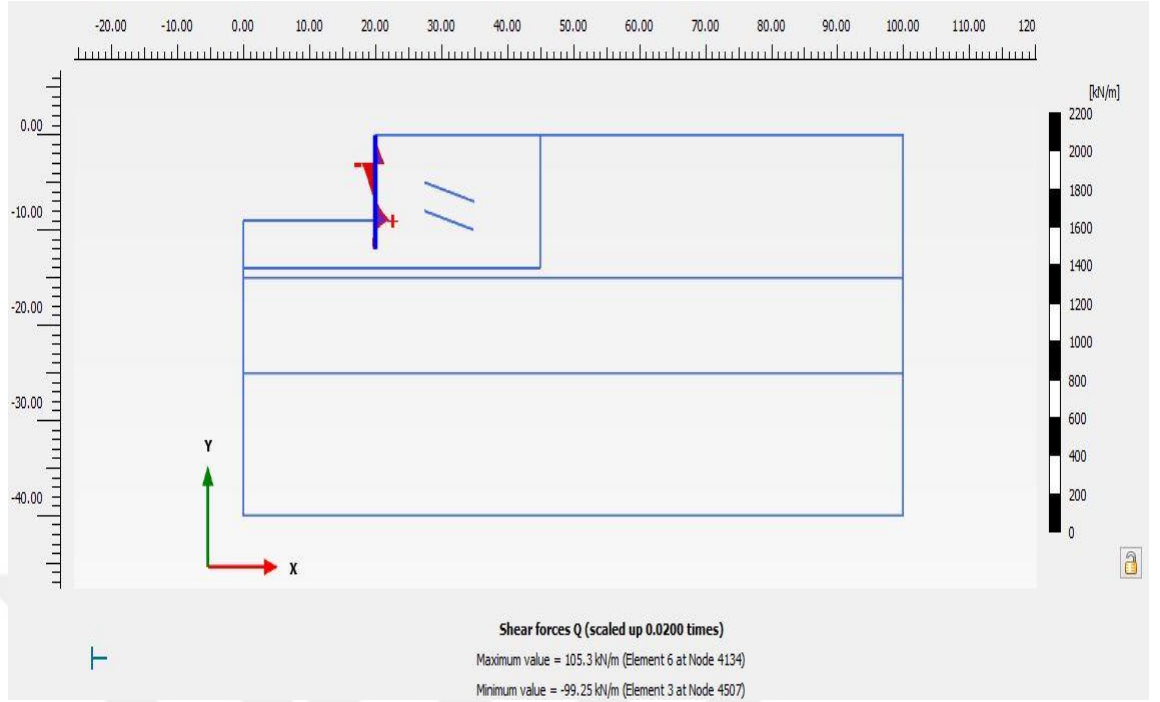
Şekil EK B.20. C=30, Ø=30 konsol duvar kesme kuvveti analiz sonucu



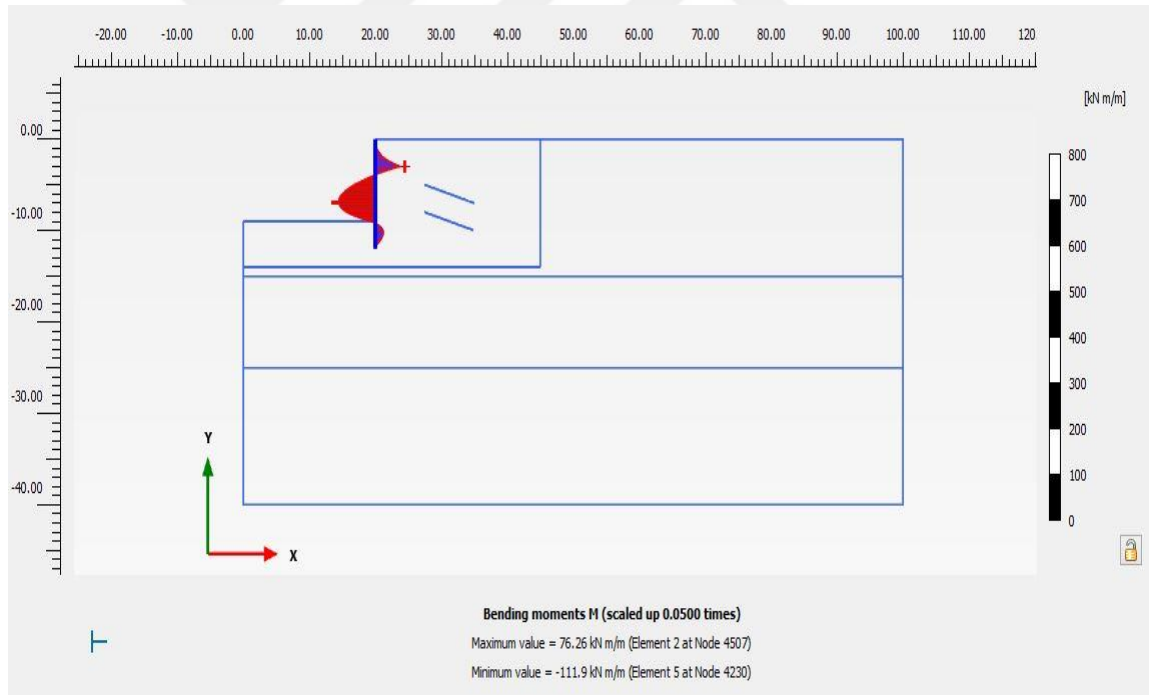
Şekil EK B.21. C30, Ø=30 konsol duvar eğilme momenti analiz sonucu



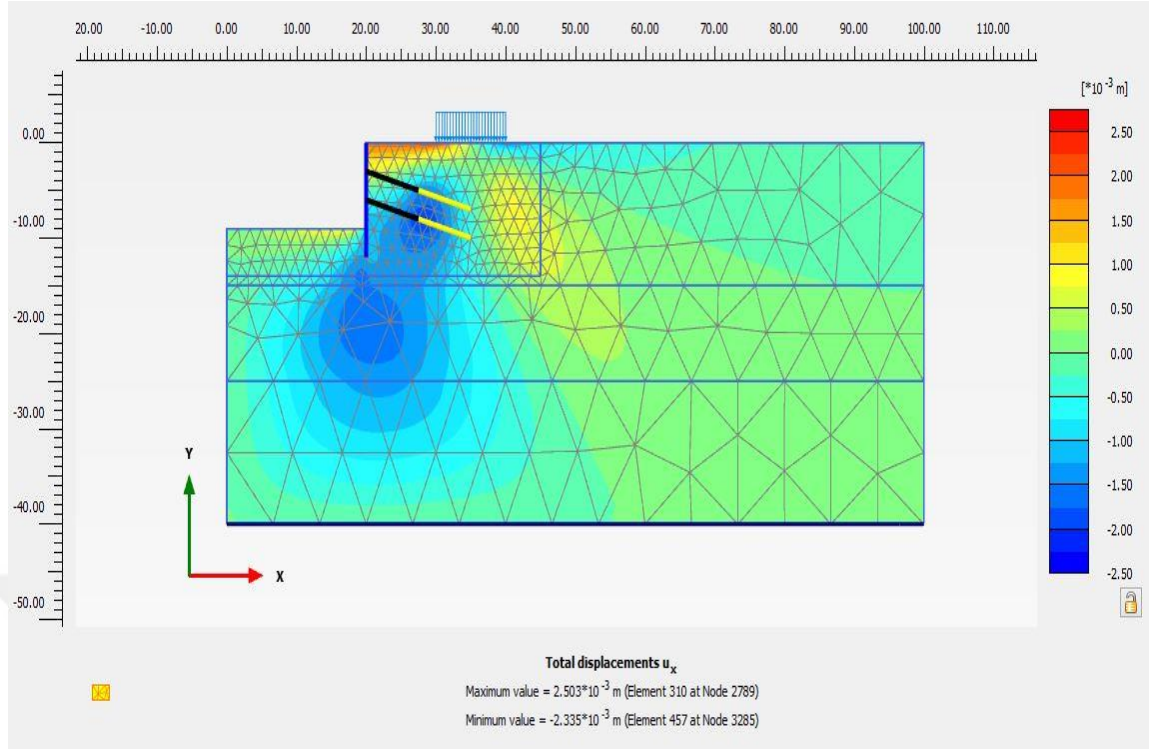
Şekil EK B.22. C=30, Ø=30 tek sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



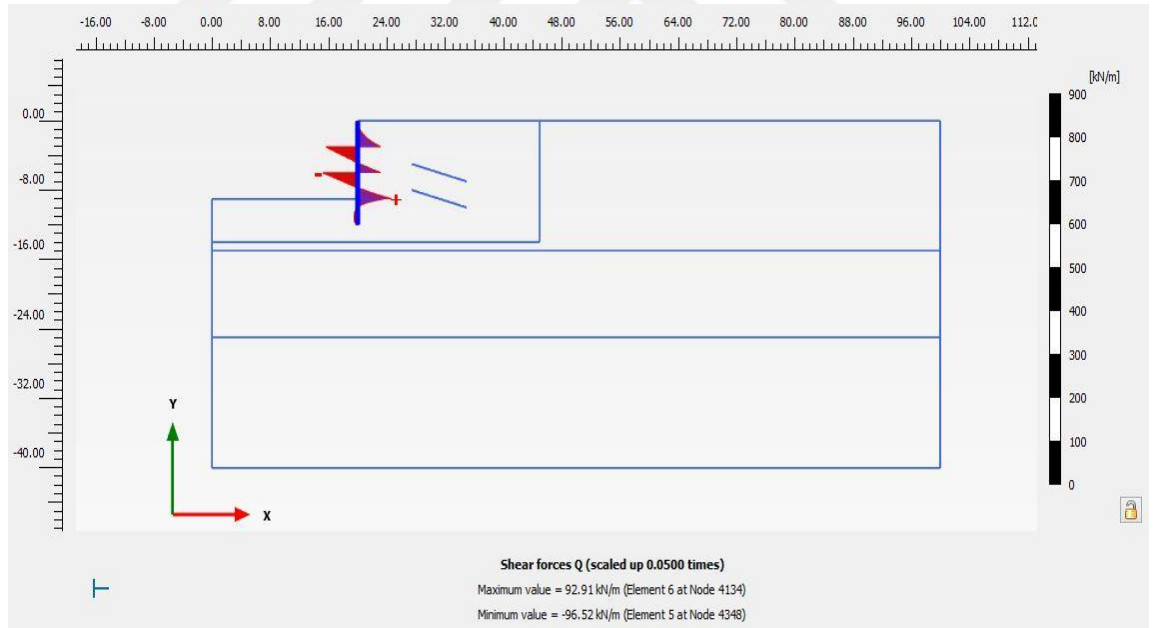
Şekil EK B.23. $C=30$, $\varnothing=30$ tek sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



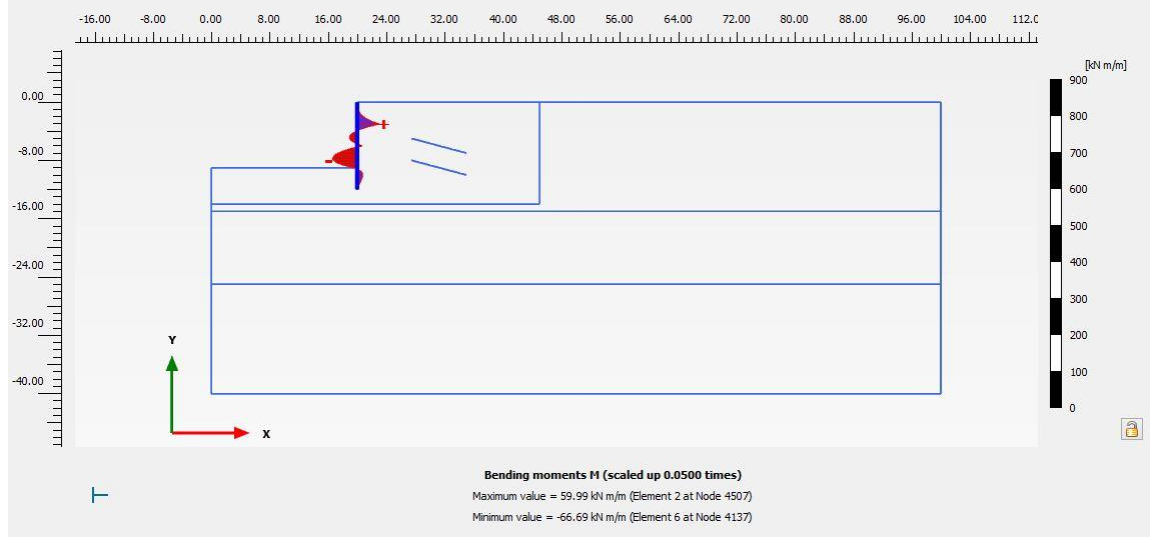
Şekil EK B.24. $C=30$, $\varnothing=30$ tek sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



Şekil EK B.25. C=30, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu

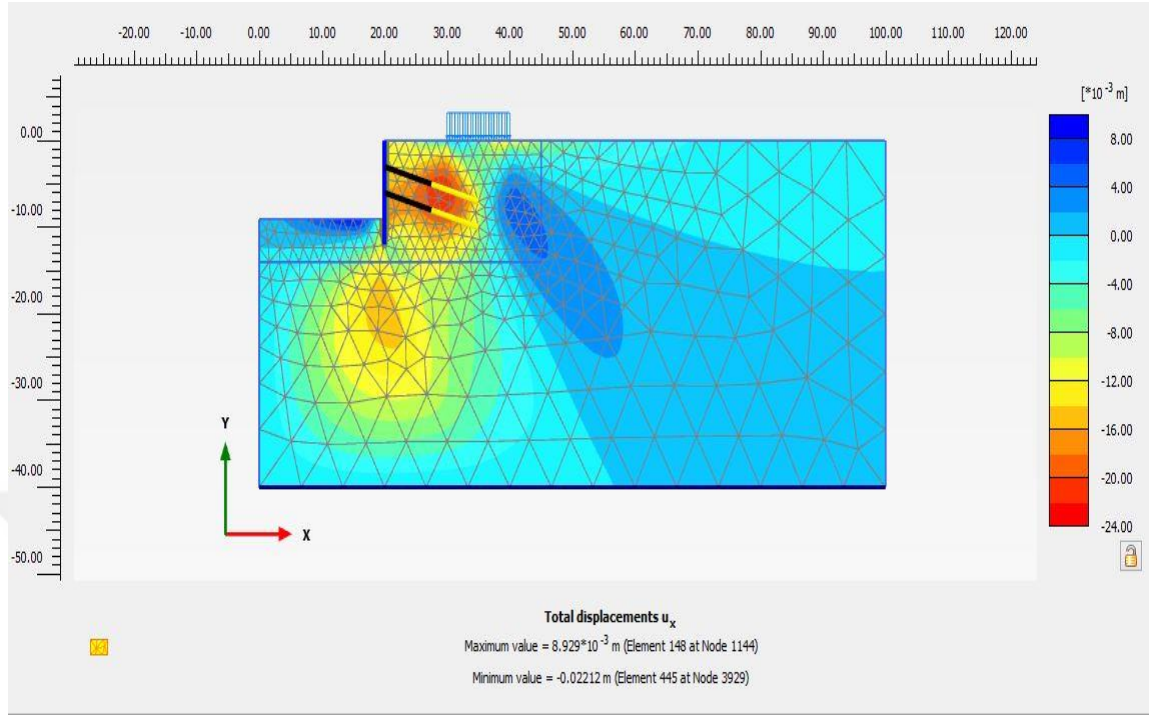


Şekil EK B.26. C=30, Ø=30 çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu

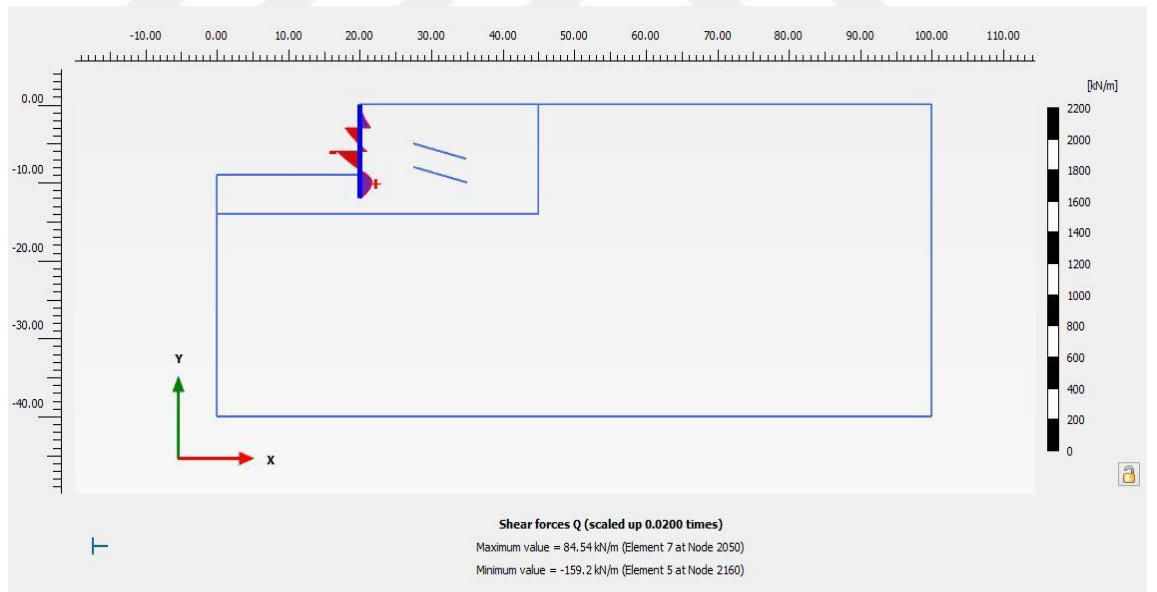


Şekil EK B.27. $C=30$, $\varnothing=30$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu

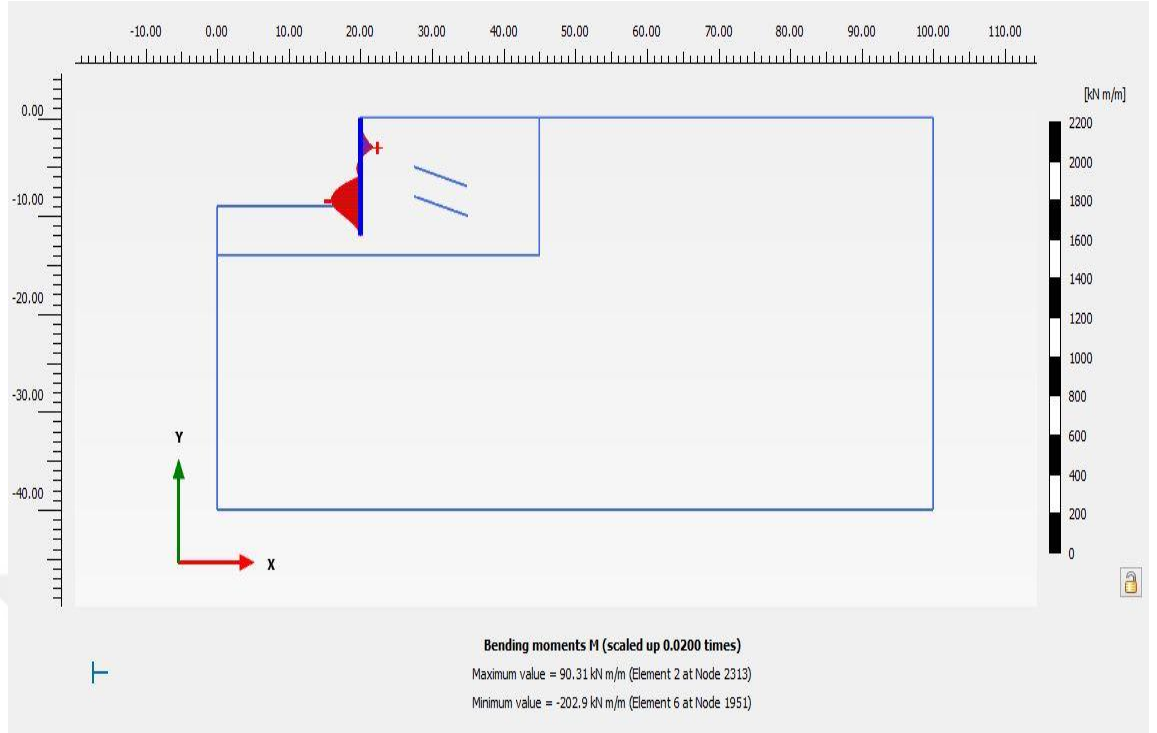
EK C: Elastisite modülü etkisinin araştırılması plaxis analiz sonuçları



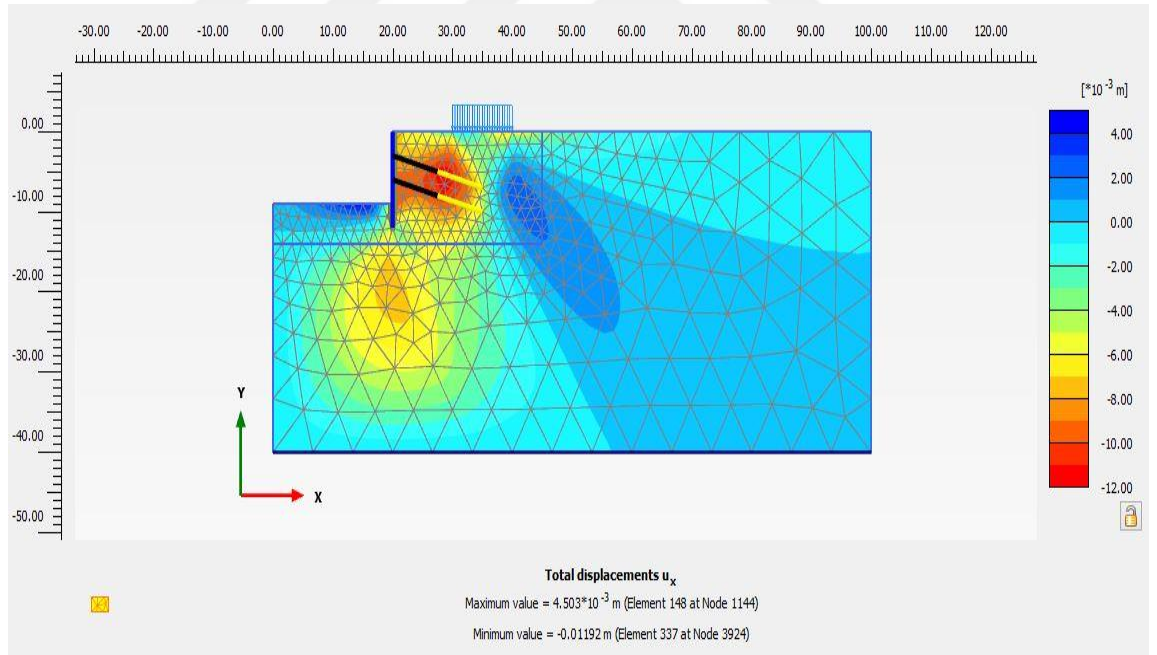
Şekil EK C.1. E=10 Mpa çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



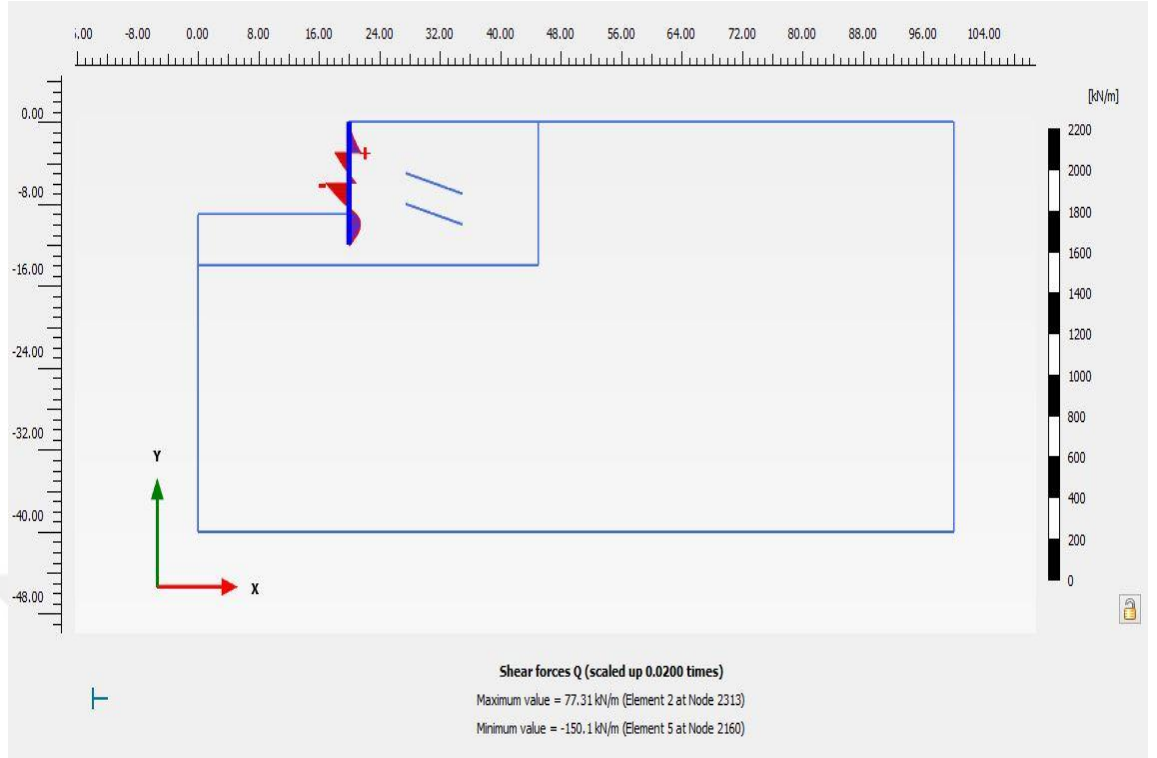
Şekil EK C.2. E=10 Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



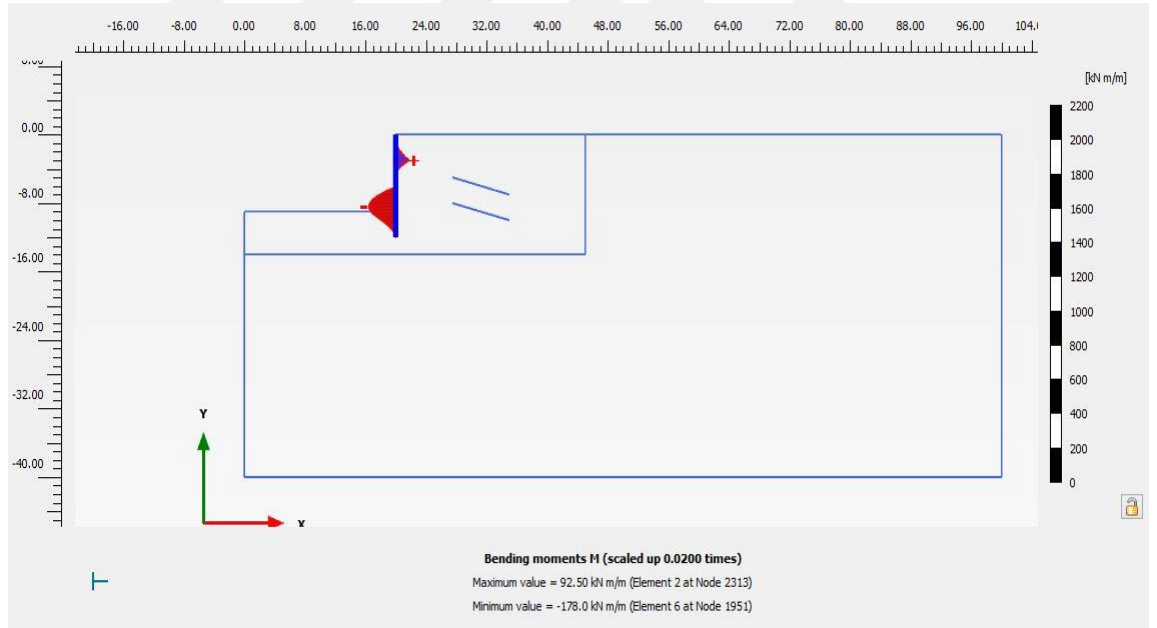
Şekil EK C.3. E=10 Mpa çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



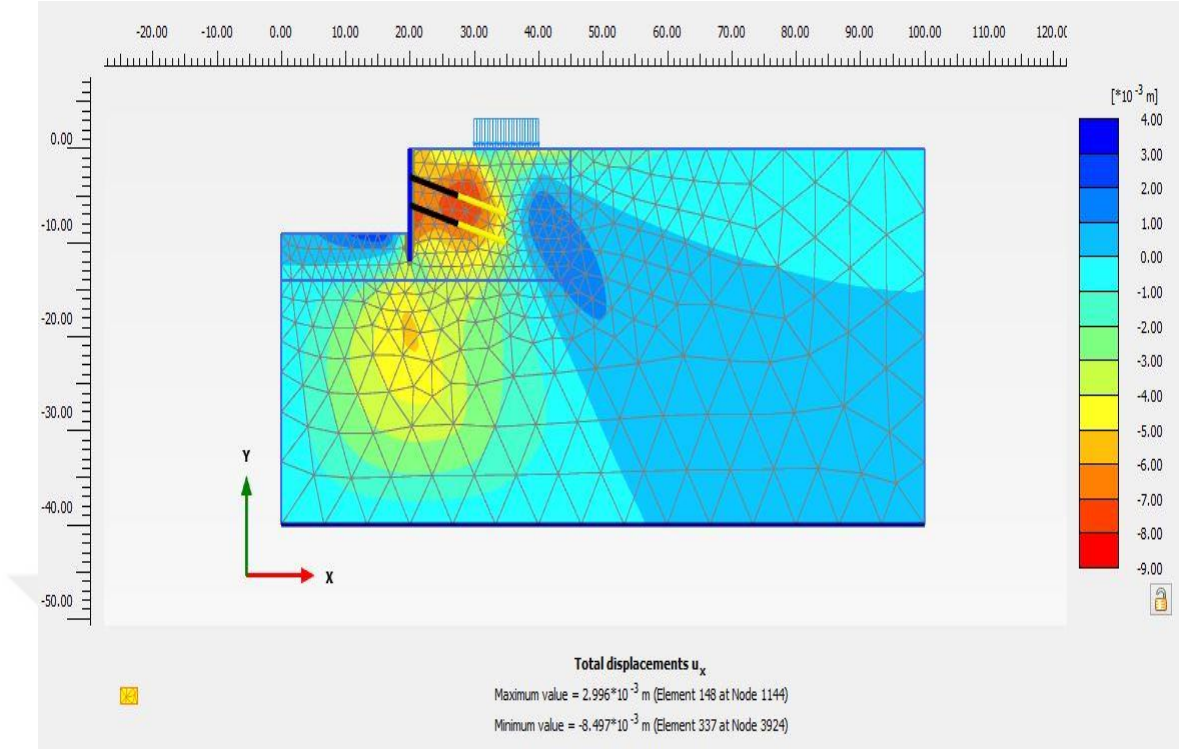
Şekil EK C.4. E=20 Mpa çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



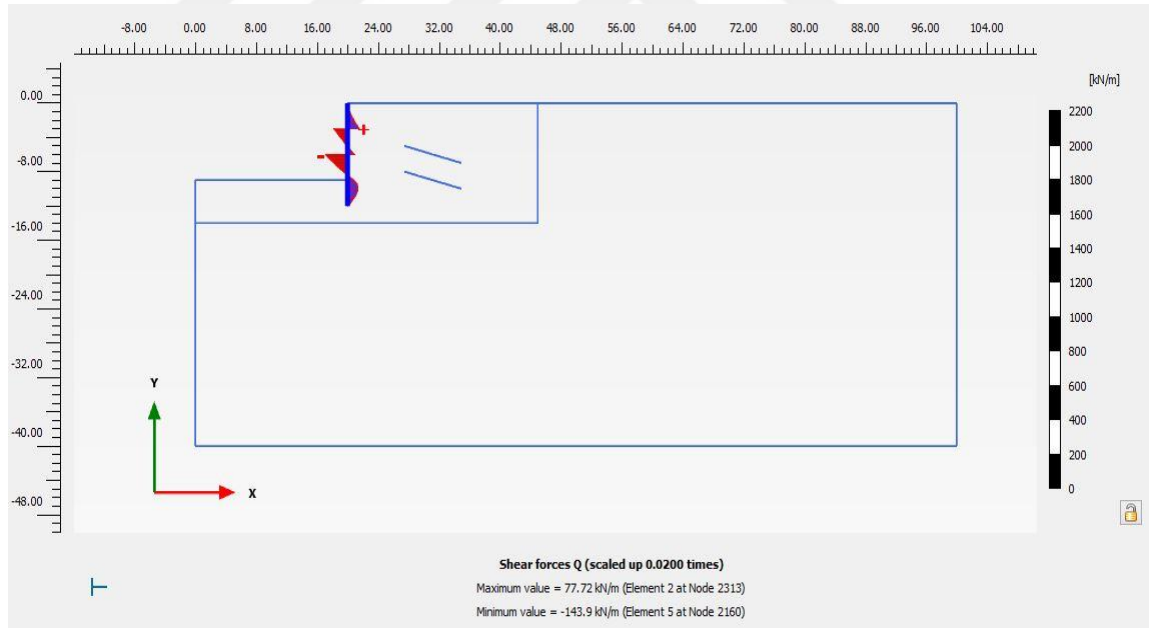
Şekil EK C.5. $E=20$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



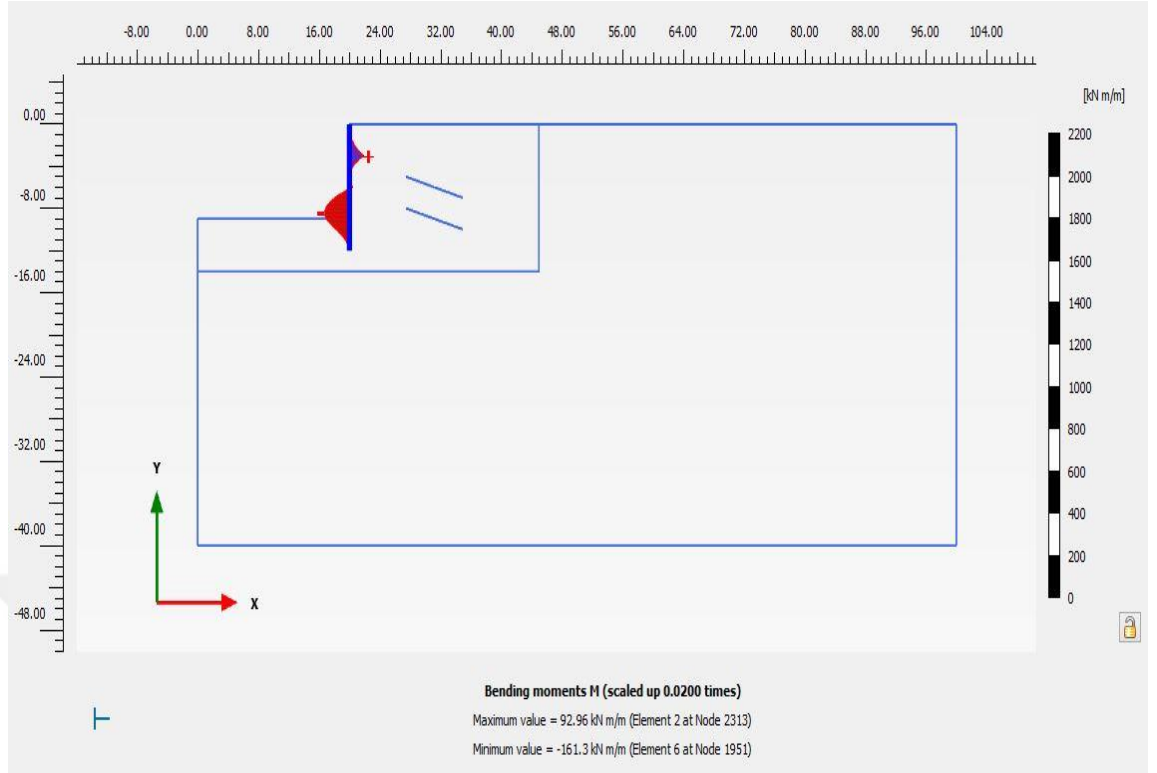
Şekil EK C.6. $E=20$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



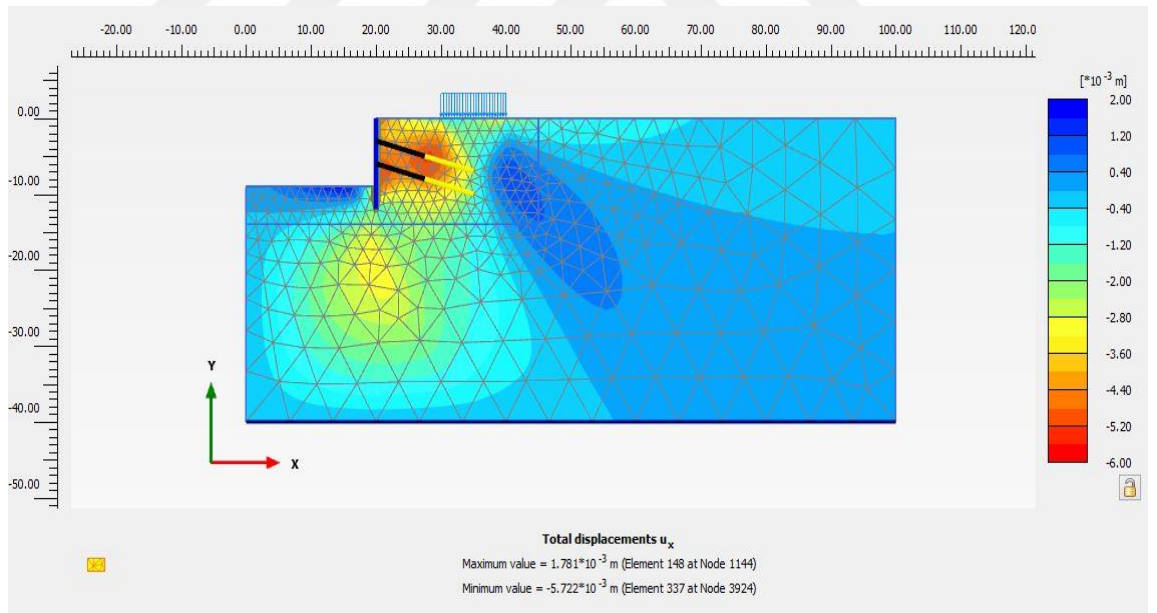
Şekil EK C.7. E=30 Mpa çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



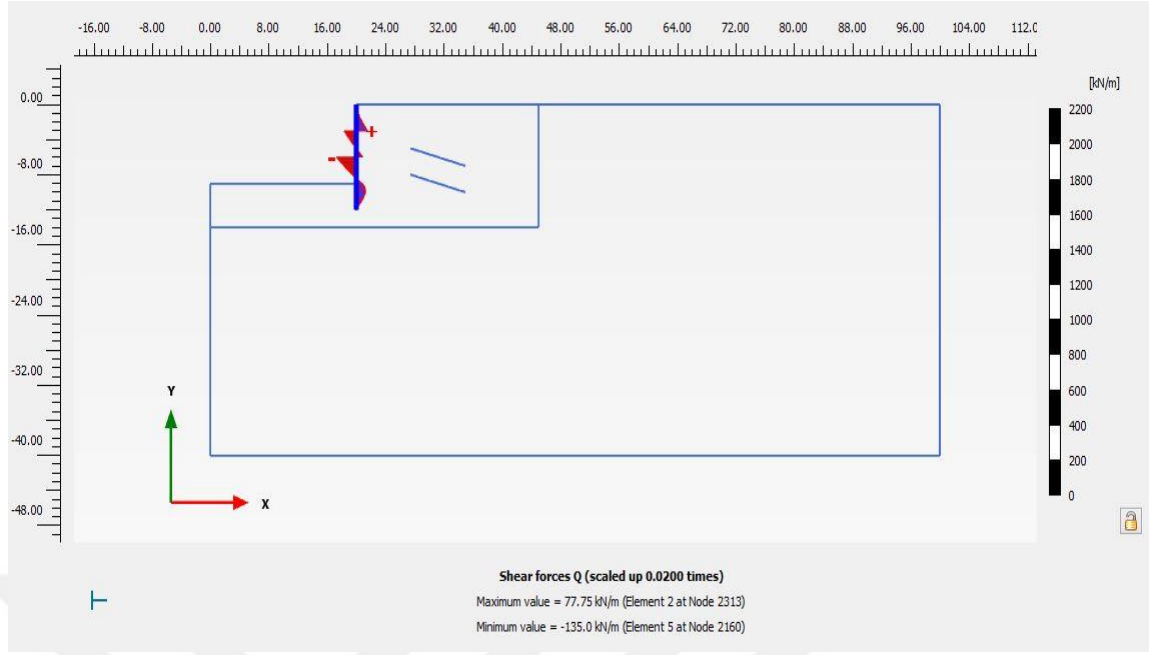
Şekil EK C.8. E=30 Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



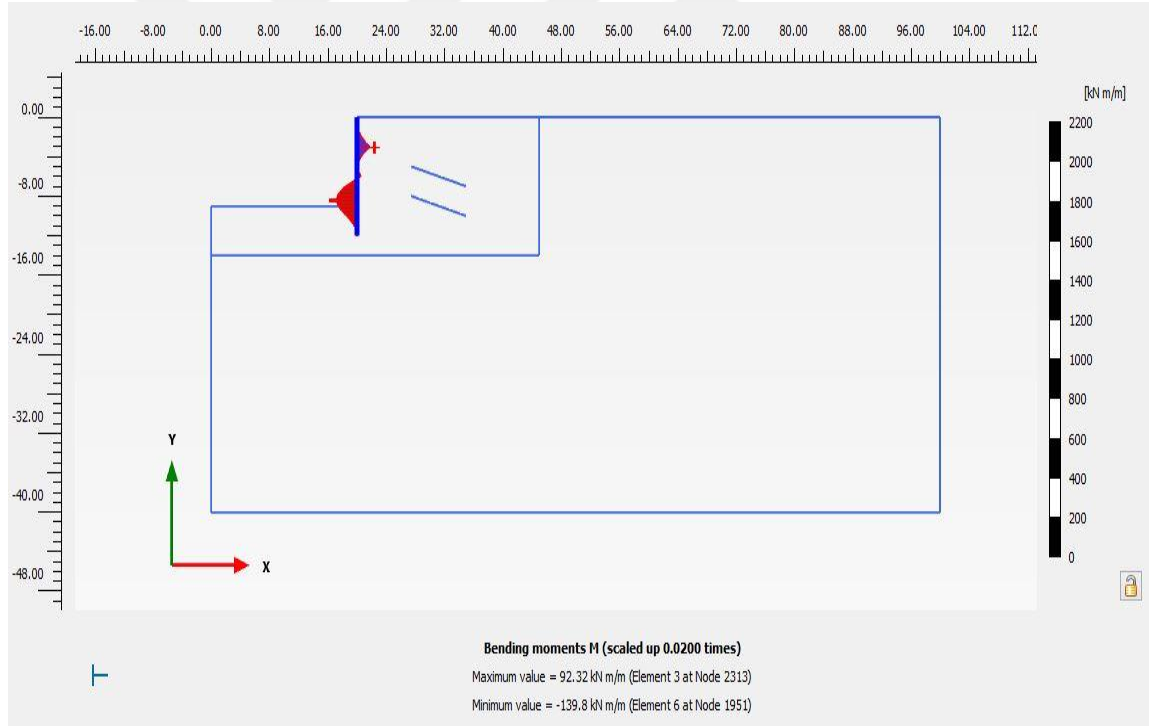
Şekil EK C.9. $E=30$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



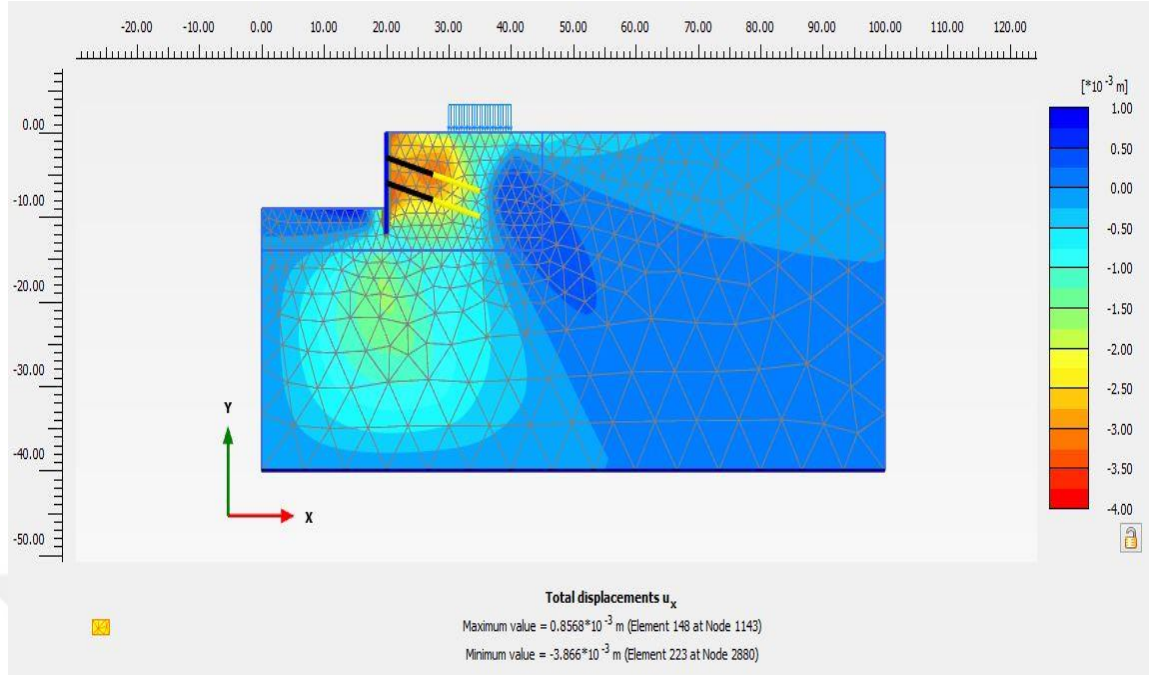
Şekil EK C.10. $E=50$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



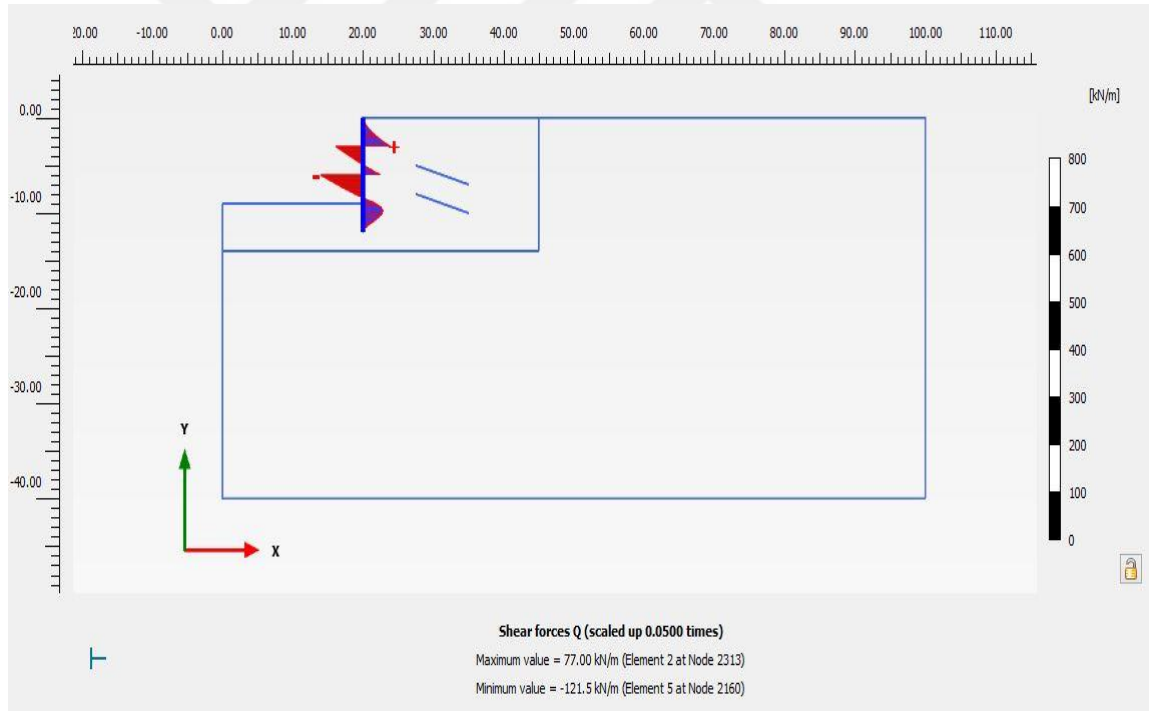
Şekil EK C.11. E=50 Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



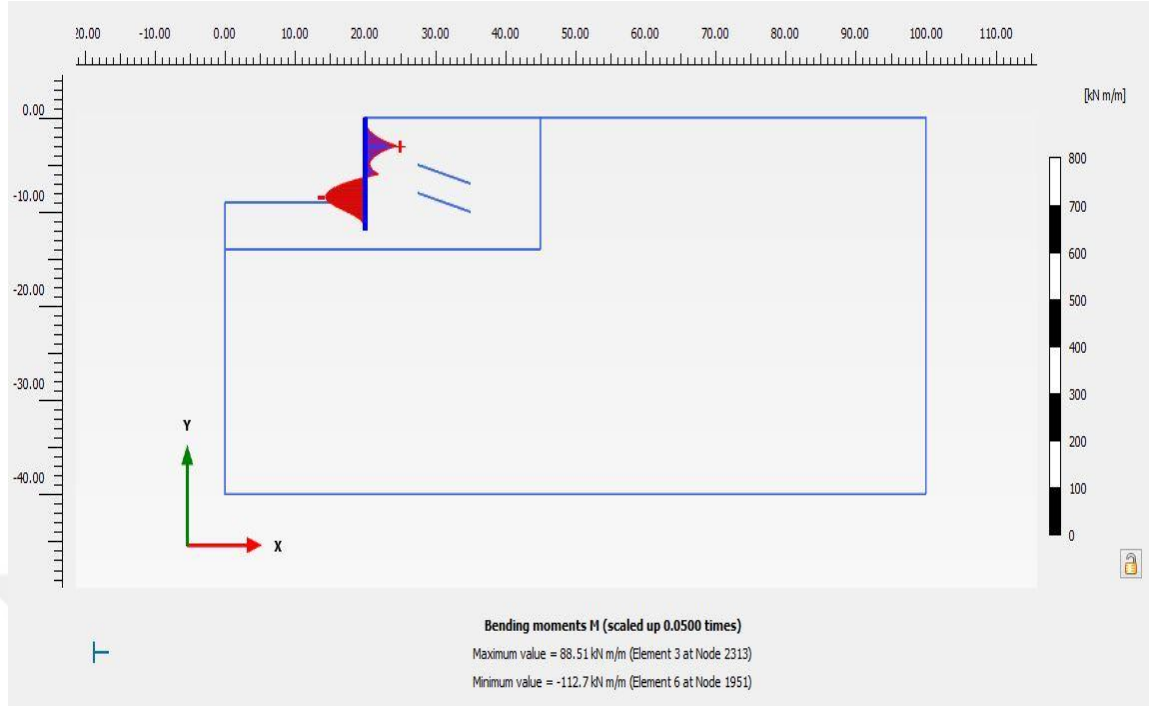
Şekil EK C.12. E=50 Mpa çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



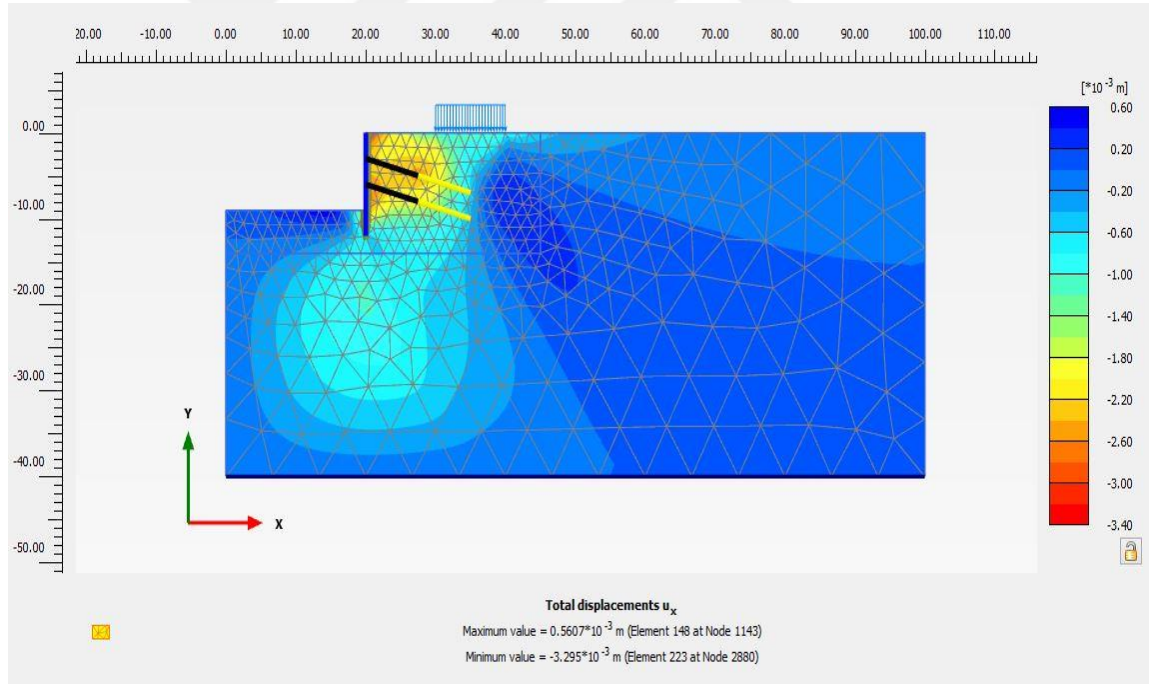
Şekil EK C.13. E=100 Mpa çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



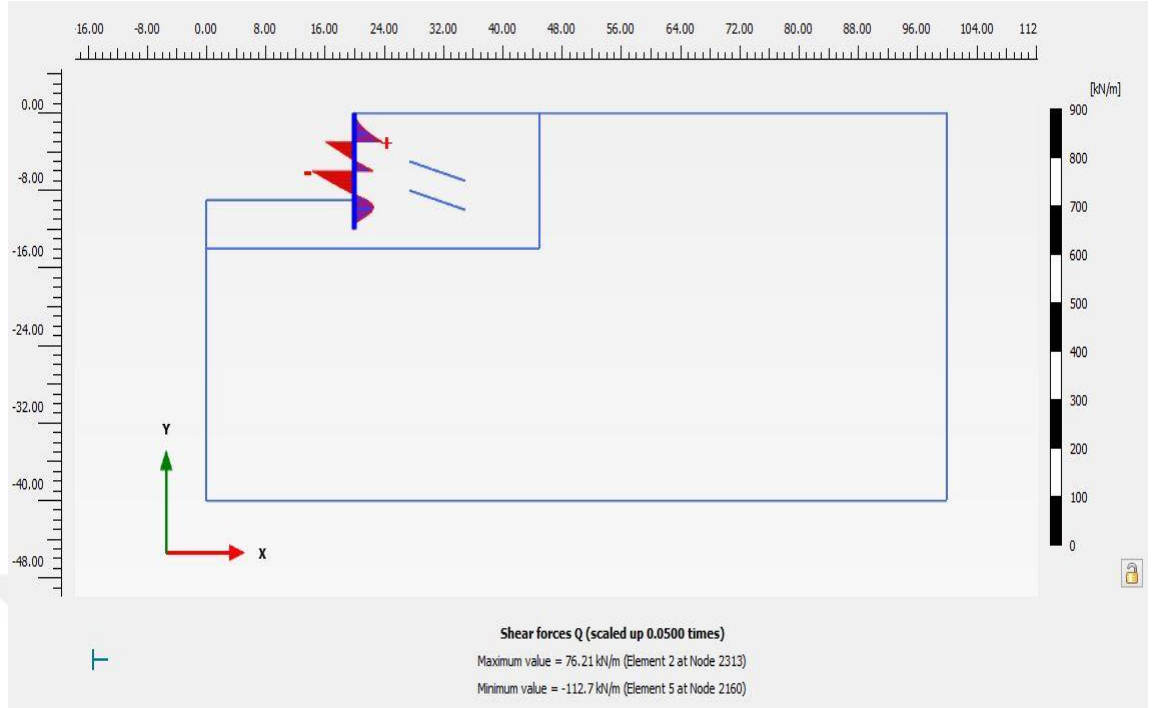
Şekil EK C.14. E=100 Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



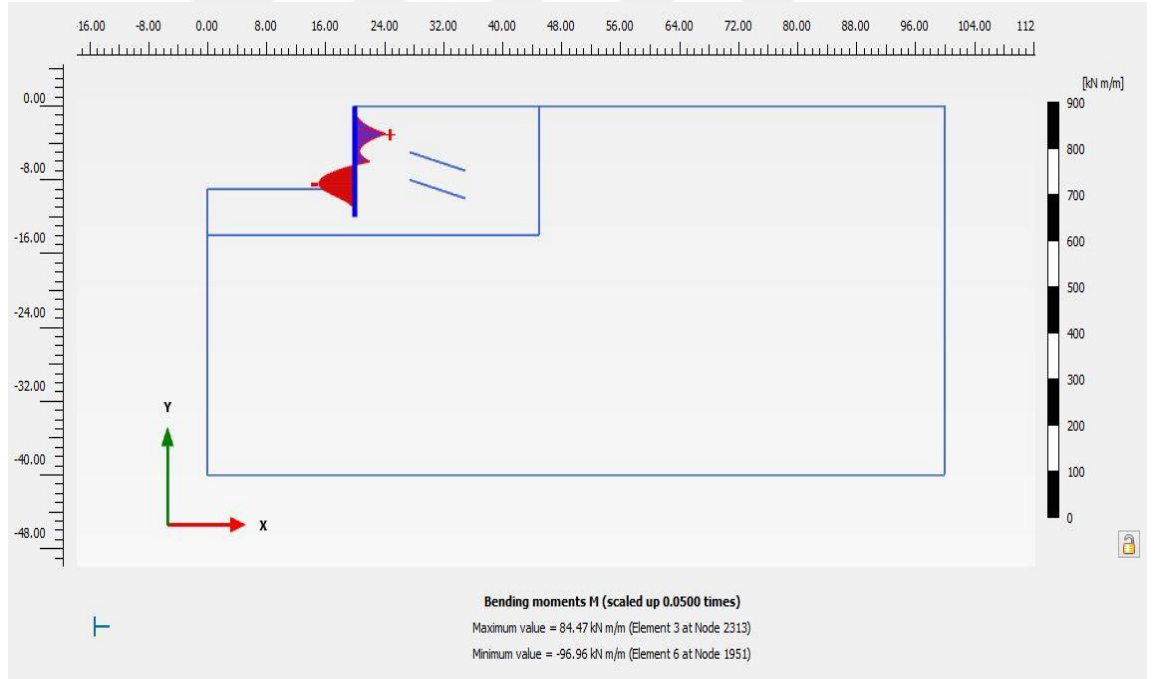
Şekil EK C.15. $E=100 \text{ Mpa}$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



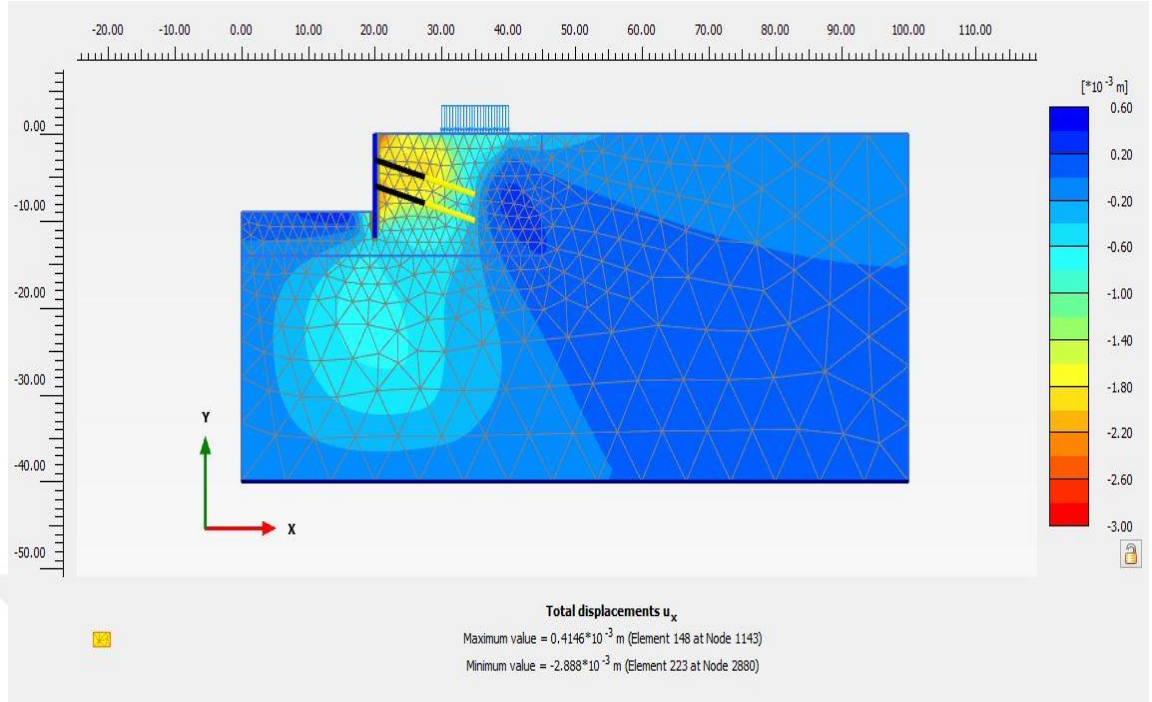
Şekil EK C.16. $E=150 \text{ Mpa}$ çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



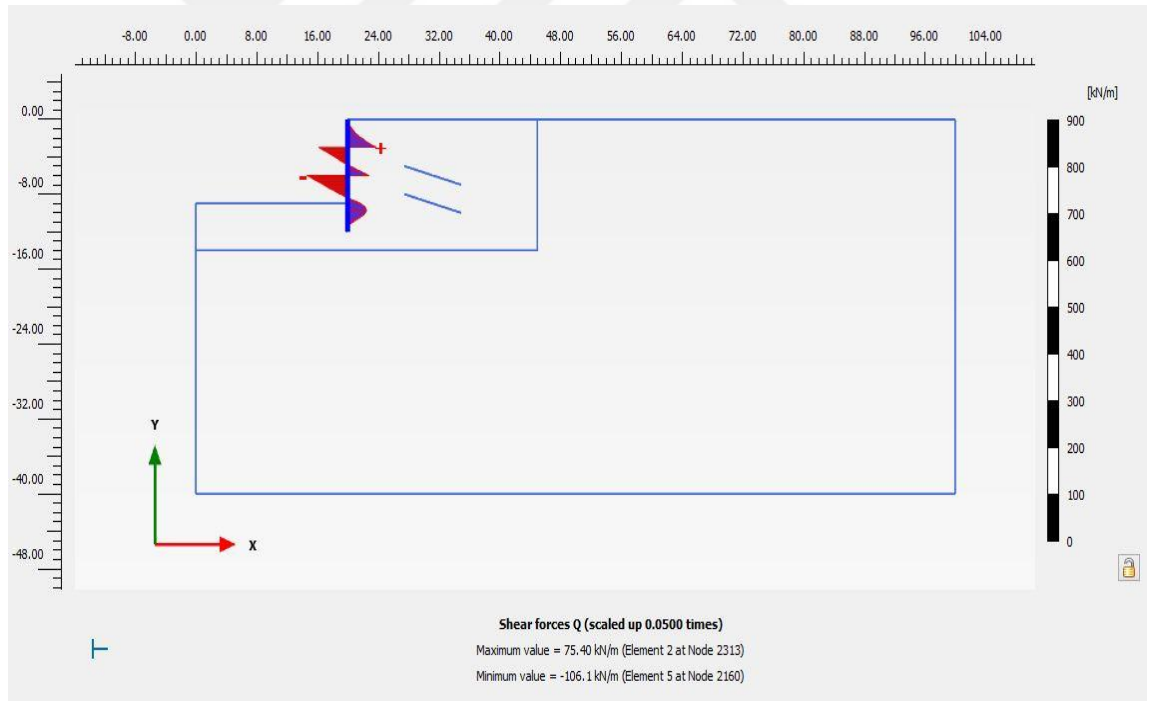
Şekil EK C.17. $E=150$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



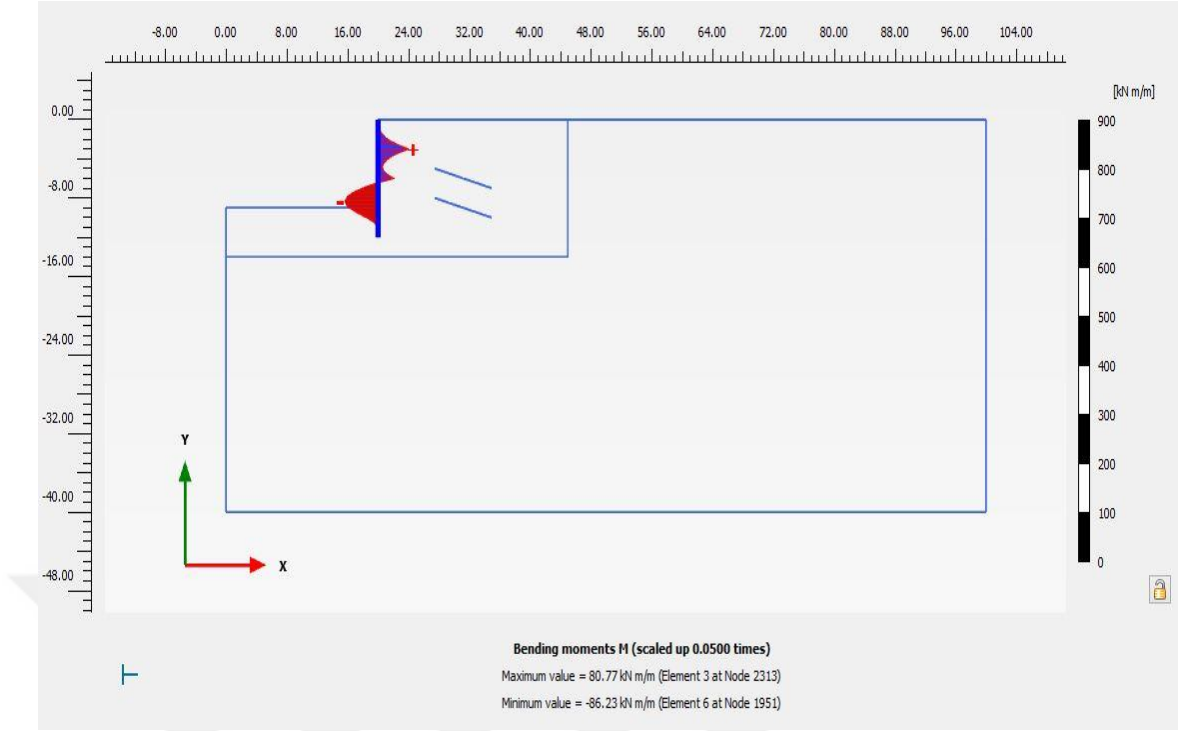
Şekil EK C.18. $E=150$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



Şekil EK C.19. E=200 Mpa çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu

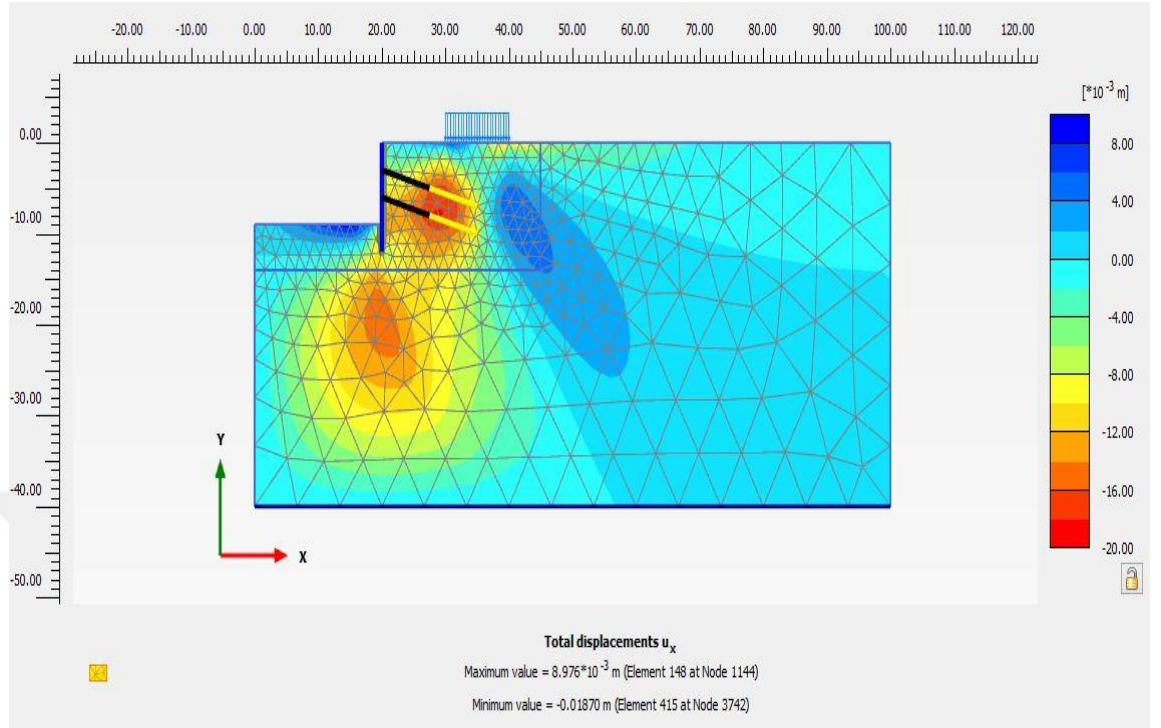


Şekil EK C.20. E=200 Mpa çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu

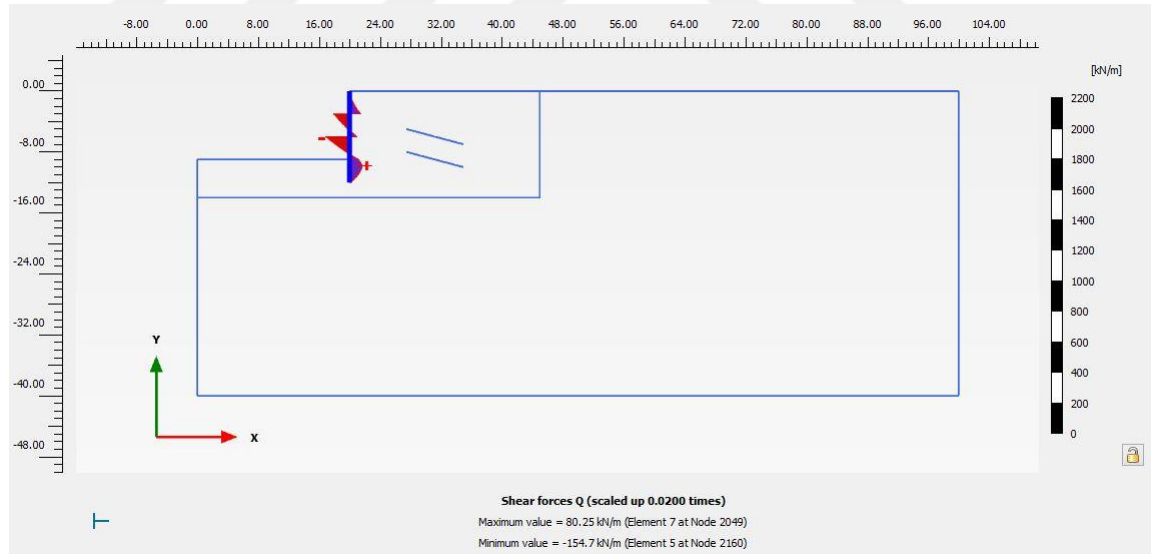


Şekil EK C.21. $E=200$ Mpa çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu

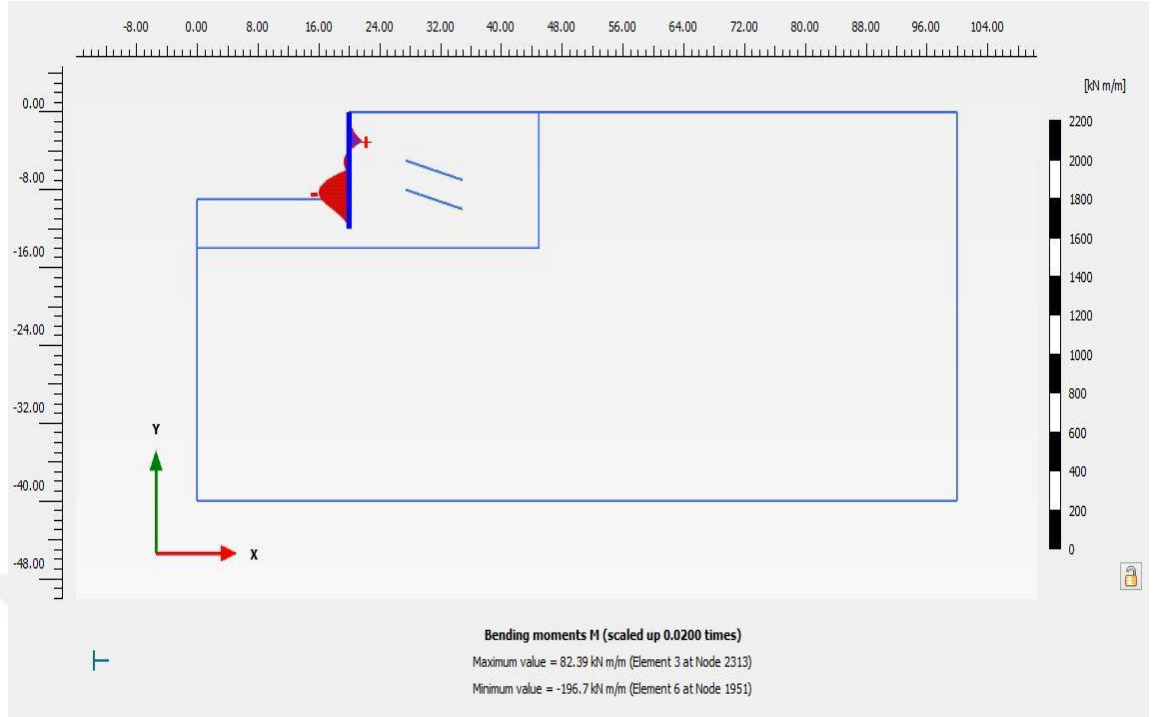
EK D: Yapı zemin etkileşim katsayısı etkisinin araştırılması plaxis analiz sonuçları



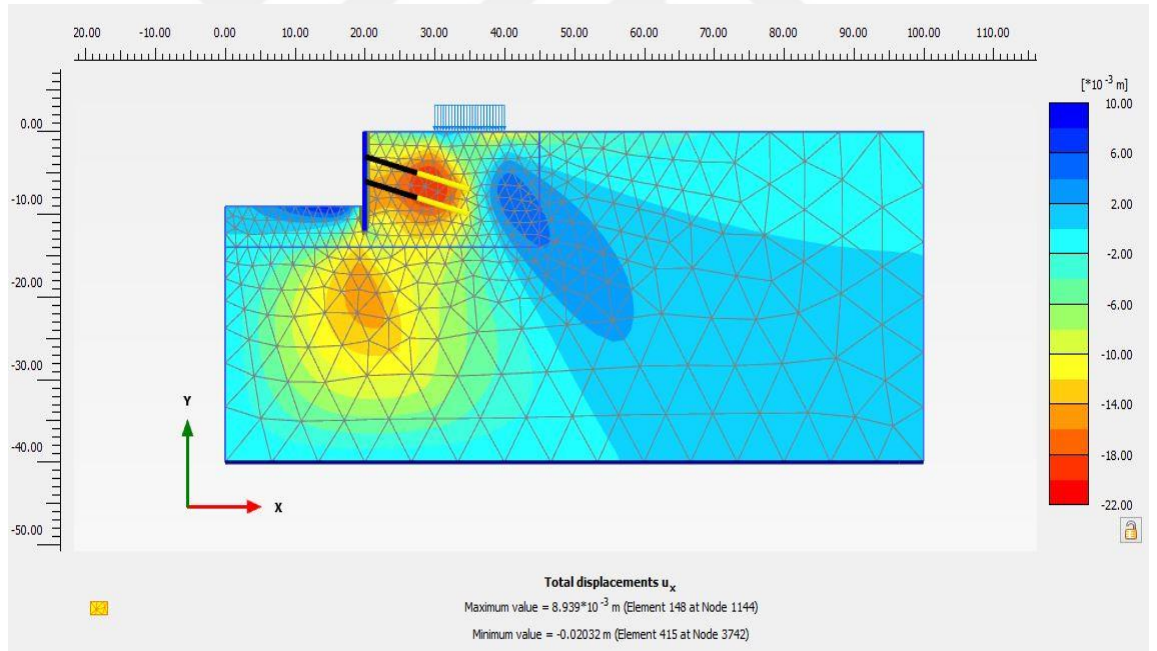
Şekil EK D.1. R_{int} =rijit çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



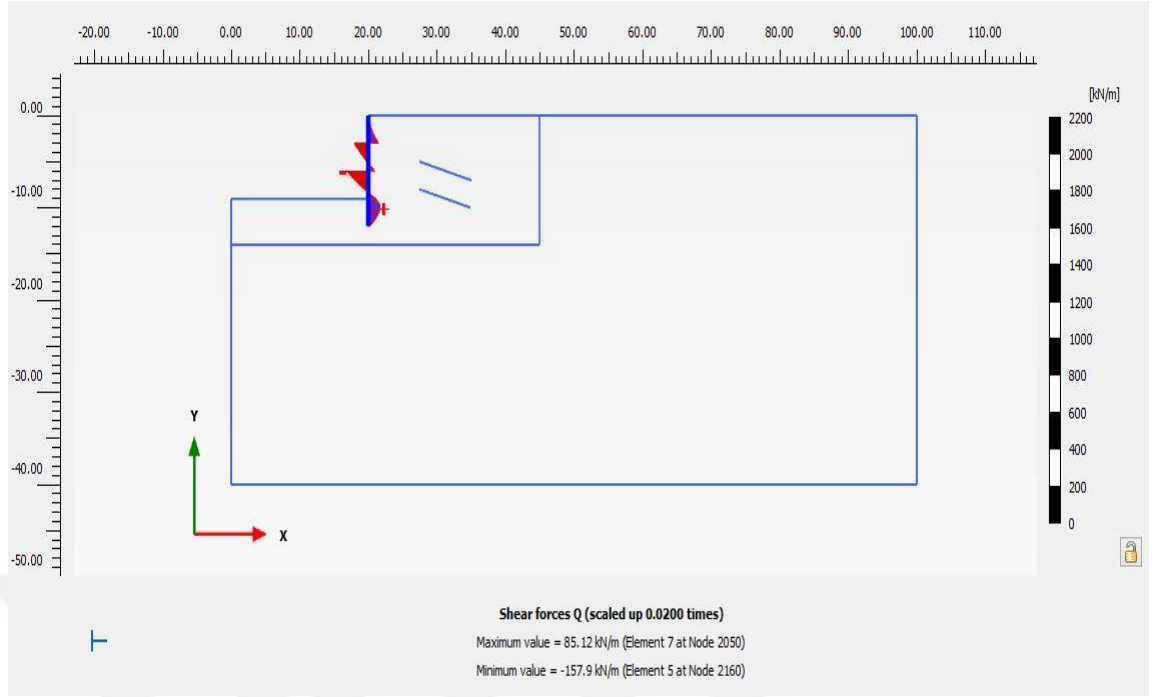
Şekil EK D.2. R_{int} =Rijit çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



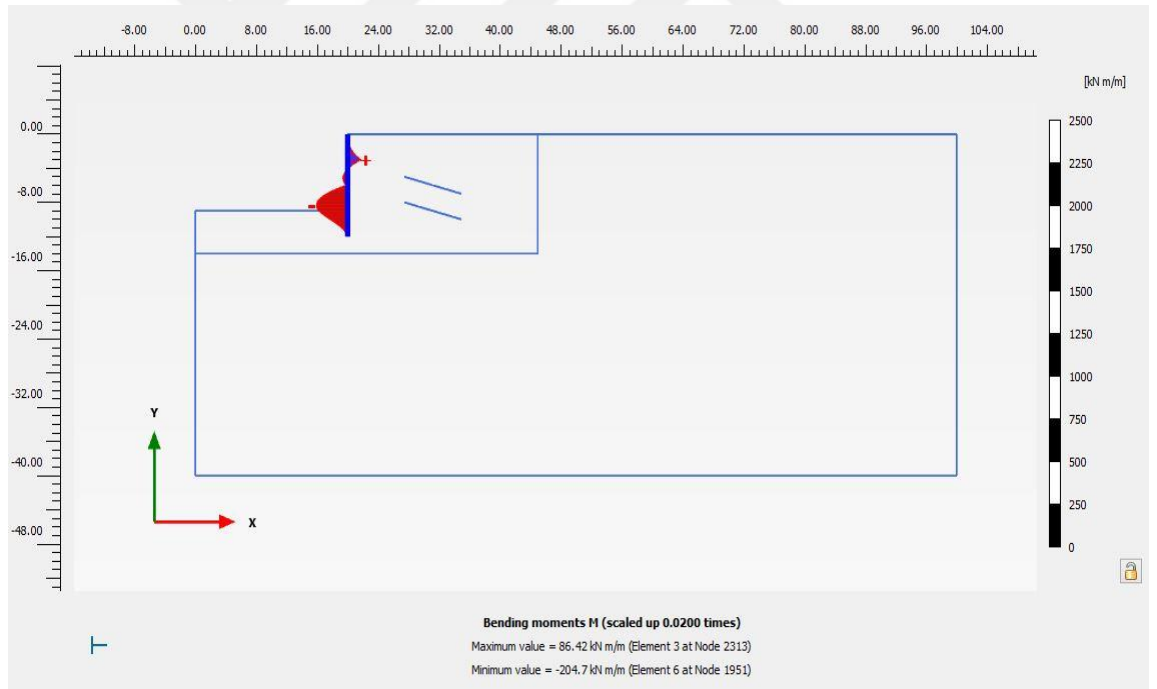
Şekil EK D.3. $R_{int}=R_{ijit}$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



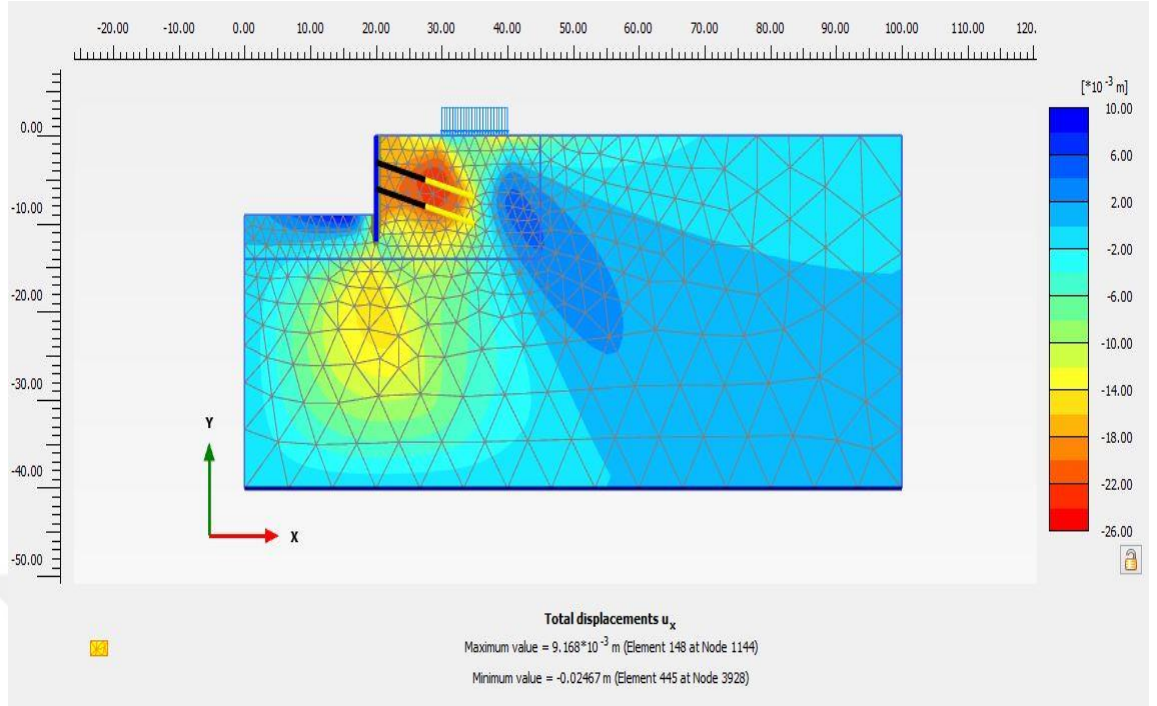
Şekil EK D.4. $R_{int}=0.8$ çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



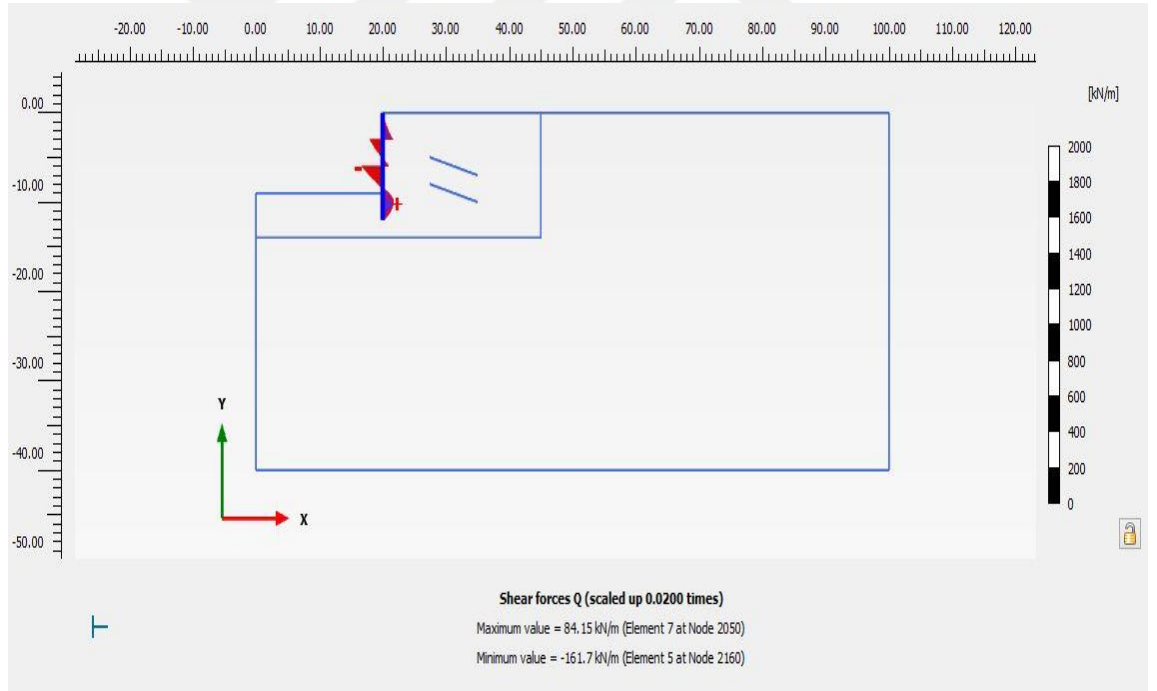
Şekil EK D.5. $R_{int}=0.8$ çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



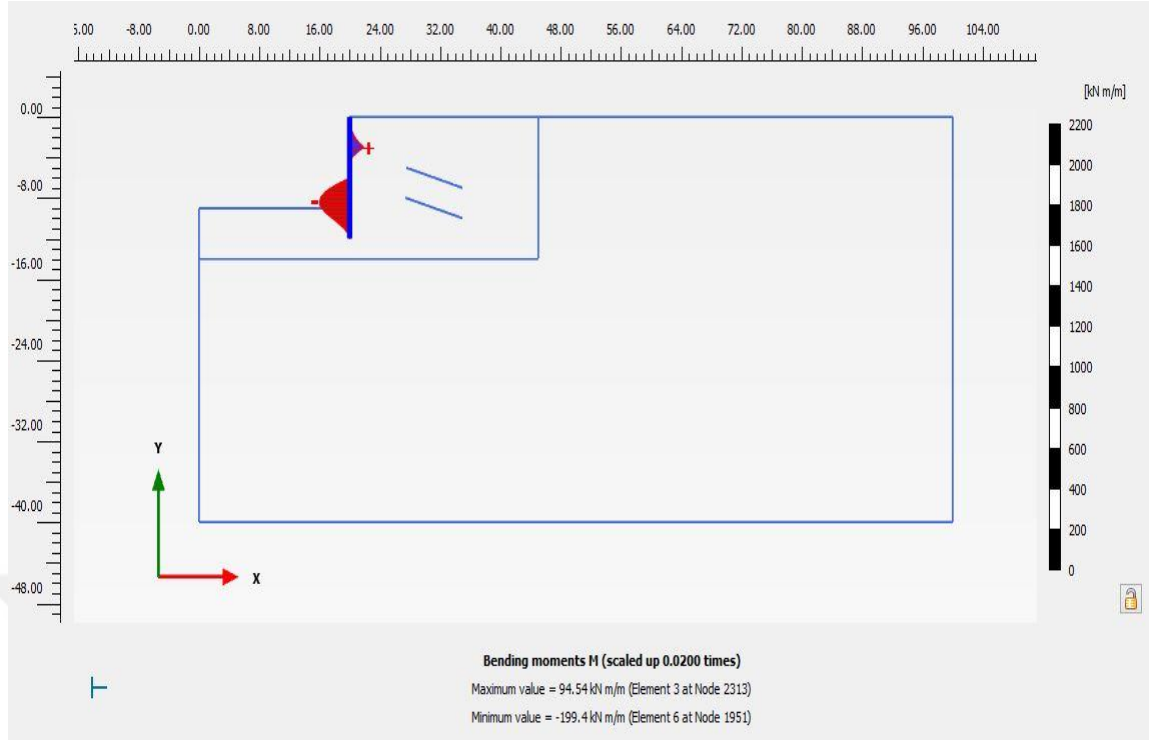
Şekil EK D.6. $R_{int}=0.8$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



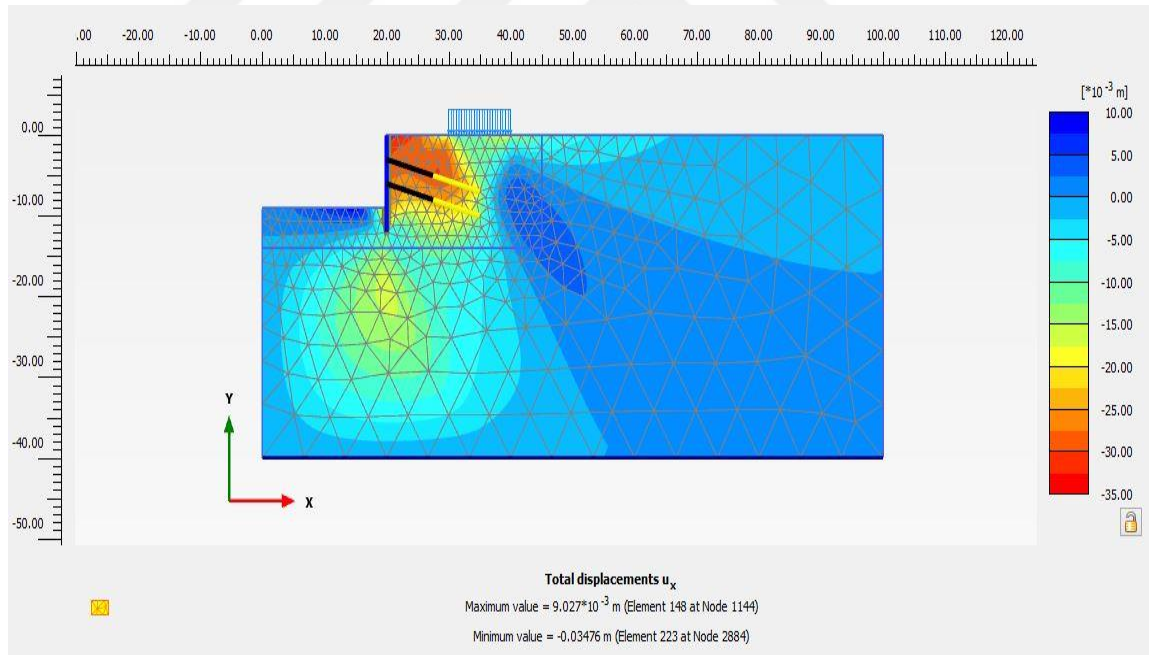
Şekil EK D.7. $R_{int}=0.6$ çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



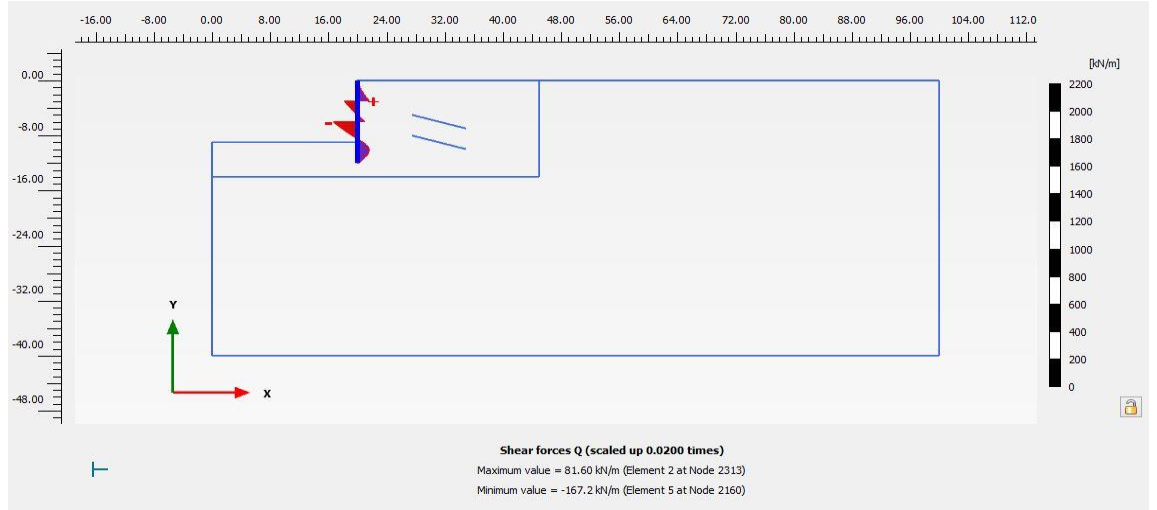
Şekil EK D.8. $R_{int}=0.6$ çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



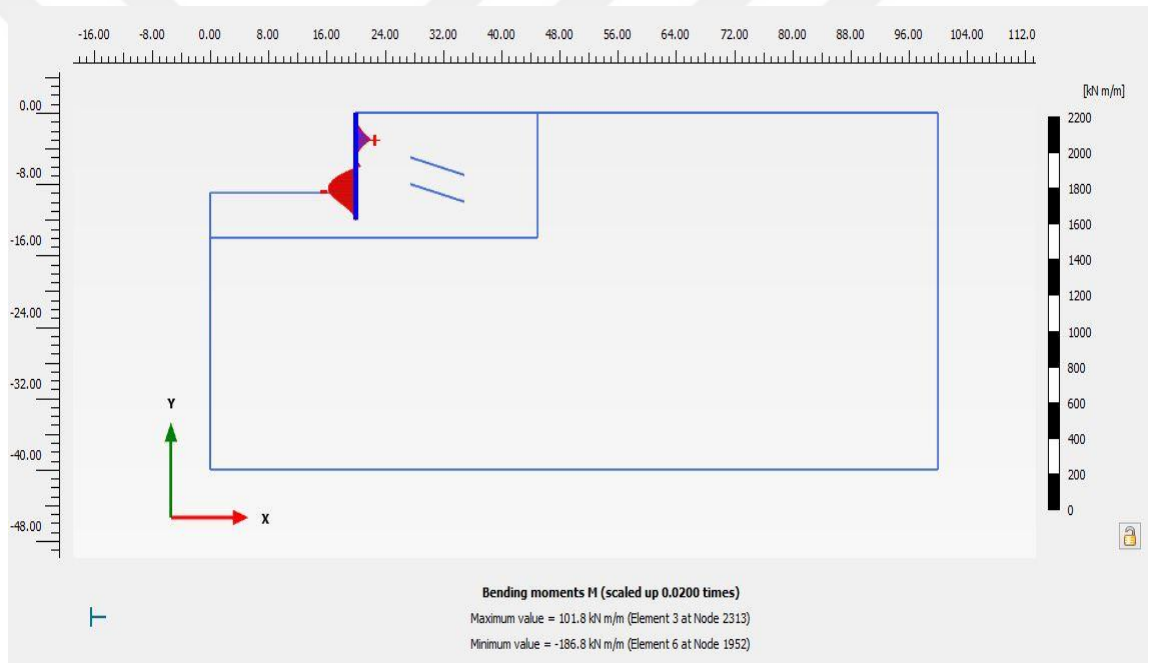
Şekil EK D.9. $R_{int}=0.6$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu



Şekil EK D.10. $R_{int}=0.4$ çift sıra ankrajlı duvar yatay deplasman analiz sonucu



Şekil EK D.11. $R_{int}=0.4$ çift sıra ankrajlı duvar kesme kuvveti analiz sonucu



Şekil EK D.12. $R_{int}=0.4$ çift sıra ankrajlı duvar eğilme momenti analiz sonucu

ÖZGEÇMİŞ

Fatih Büyükgökçe, 1993 yılında Silifke’de doğdu. İlk ve ortaöğrenimini Silifke’de tamamladı. 2011 yılında Sakarya Üniversitesi İnşaat Mühendisliği bölümüne başladı ve bu bölümden 2015 yılında mezun oldu. Bir yıl kadar özel sektörde inşaat mühendisi olarak çalıştıktan sonra 2016 yılında Sakarya Üniversitesi’nde geoteknik alanında yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans eğitimini tamamlamakla birlikte özel sektörde geoteknik mühendisi olarak çalışmalarına devam etmektedir.