

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERME KUVVETİNİN KAZI DAVRANIŞI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİ**

ÖZLEM BERİL ERZENOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
GEOTEKNİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. MEHMET BERİLGİN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERME KUVVETİNİN KAZI DAVRANIŞI
ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Özlem Beril ERZENOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 28.04.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Mehmet BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Mehmet BERİLGEN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Recep İYİSAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Havva Nur KILIÇ
Yıldız Teknik Üniversitesi

Günümüzde artan nüfus nedeniyle yapılaşmanın fazlaşması ve buna bağlı olarak boş arazilerin azalmasından dolayı yüksek yapılara ve çok katlı bodrumları olan yapılara talep artmıştır. Bu binaların bodrumlarını ve temellerini inşa etmek için dik ve derin kazı yapmak gerekmektedir. Derin kazı nedeni ile kazı çukurunun duraylılığının sağlanması ve kazı çevresinde oluşacak şekil değiştirmelerin sınırlandırılması ihtiyacı bir iksa sistemi inşasını zorunlu kılmaktadır. Başlangıçta içten destekli iksa sistemleri ile karşılanan bu ihtiyaç, içten destekli sistemlerin kazı çukurunda inşaat faaliyetlerini kısıtlaması vb. nedenlerden ötürü daha gelişmiş destekleme sistemlerinin geliştirilmesi ihtiyacı doğmuştur. Önerilmeli ankrajların geliştirilmesi ve iksa sistemlerinde kullanılması, bu ihtiyacı karşılamakla birlikte, önerilme uygulanan zemin ankrajlarının karmaşık çalışma mekanizması bu iksa sistemlerin davranışını belirlemede aydınlatılması gereken konular bulunmaktadır. Bu konuların başında ankraj önerme kuvvetinin iksa perdesi ve perde arkası zemin yüzünde kazı dolayısı ile oluşacak yer değiştirmeler üzerindeki etkisinin geldiği düşünülerek çalışmada, bu konunun sayısal analizlerle incelenmesi amaçlanmıştır. Tez kapsamında gerçekleştirilen sayısal analizlerde geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Plaxis 2012 yazılımı kullanılmıştır. Yapılan parametrik analizlerden elde edilen sonuçlar grafikler ile sunulmuştur

Tez çalışmam süresince desteği ve ilgisi ile bana her zaman yardımcı olan danışmanım Prof.Dr. Mehmet BERİLGEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim boyunca bilgilerimi ve desteğini benden esirgemeyen Prof. Dr. Ahmet SAĞLAMER'e ve Enar Mühendislik ve Danışmanlık Ltd. Şti. ailesine teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca ilgilerini benden esirgemeyen Doç.Dr. Havvanur KILIÇ, Yrd. Doç. Dr. Saadet BERİLGEN ve yüksek lisans tezim sürecinde birlikte çalıştığım arkadaşlarım, İnş. Yük. Müh. M. Refik KURTOĞLU'na, İnş. Yük. Müh. Selçuk DEMİR'e, İnş. Yük. Müh. Babak ROUZEGARİ'ye, İnş. Yük. Müh. Didem Demir'e ve bana her zaman destek olan aileme ve çok sevgili eşime teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Nisan, 2015

Özlem Beril ERZENOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET.....	xii
ABSTRACT	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	3
1.3 Hipotez.....	4
BÖLÜM 2	
DERİN KAZILAR VE İSTİNAT YAPILARI.....	5
2.1 Giriş.....	5
2.2 Açık Kazılar.....	5
2.3 Destekli Kazılar.....	7
2.3.1 Destekleme Sistemlerinin Seçilmesi.....	7
2.4 İstinat (Dayanma) Yapıları	9
2.4.1 Ağırlık Tipi İstinat Duvarları	10
2.4.2 Betonarme İstinat Duvarları	11
2.4.2.1 Konsol İstinat Duvarları	12
2.4.2.2 Payandalı İstinat Duvarları	12
2.4.3 Prefabrik Sandık (Kafes) Duvarlar	13
2.4.4 Palplanş Perdeler	14
2.4.5 Gabion Duvarlar.....	15

2.4.6	Kazıklı Perdeler	16
2.4.7	Diyafram Duvarlar	17

BÖLÜM 3

ÖNGERME ANKRAJLI DAYANMA YAPILARI	19
3.1 Giriş	19
3.2 Ankraj Elemanları	21
3.2.1 Ankraj Kafası	22
3.2.2 Serbest Ankraj Boyu	22
3.2.3 Ankraj Kökü	23
3.3 Ankrajların Sınıflandırılması	23
3.3.1 A Tipi Ankrajlar	23
3.3.2 B Tipi Ankrajlar	23
3.3.3 C Tipi Ankrajlar	24
3.3.4 D Tipi Ankrajlar	24
3.4 Zemin Ankraj İmalatı	25
3.4.1 Delgi Metotları	25
3.4.2 Tendonların Hazırlanması	26
3.4.3 Tendonların Yerleştirilmesi	27
3.4.4 Enjeksiyon Yapılması	27
3.4.5 Öngerme İşlemi	28
3.5 Çok Sıralı Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı	28
3.5.1 Çok Sıra Destekli Sistemlerde Toprak Basınçları ve Dağılımları	29
3.5.2 Ankraj Taşıma Gücü Tahmini	30
3.5.2.1 Kayada Ankraj Taşıma Gücü Tahmini	31
3.5.2.2 Granüler Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücünün Tahmini	32
3.5.2.3 Kohezyonlu Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü Tahmini	33
3.5.3 Ankrajların Tasarım Kriterleri	33
3.5.3.1 Ankraj Aralığının Belirlenmesi	34
3.5.3.2 Ankraj Serbest Boyu ve Kök Boyunun Belirlenmesi	34
3.5.4 Ankrajlarda Stabilite Tahkikleri	35
3.5.4.1 Çelik Halatta Kopma	36
3.5.4.2 Zeminde Göçme	36
3.5.4.3 Enjeksiyon – Tendon Sıyrılması	36
3.5.4.4 Enjeksiyon – Zemin Sıyrılması	37
3.5.4.5 Derin Kayma ve Toptan Göçme Tahkikleri	37

BÖLÜM 4

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS PROGRAMI	38
4.1 Giriş	38
4.2 Plaxis Programı	39
4.3 Zemin Bünye Modelleri	39
4.3.1 Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness	40
4.4 Plaxis’de kullanılan sonlu eleman tipleri	41

4.4.1	Zemin elemanlar	42
4.4.2	Plak elemanlar	42
4.4.3	Arayüz elemanlar	43
4.4.4	Node to node anchor elemanlar	43
4.4.5	Ankraj kökü	43
BÖLÜM 5		
ÖNGERME ANKRAJLI DAYANMA YAPILARININ SAYISAL ANALİZLERLE İNCELENMESİ 46		
5.1	Giriş	46
5.2	Sayısal Modeller	46
5.3	Malzeme Parametreleri	49
5.4	Sayısal Analizlerin Sonuçları	50
BÖLÜM 6		
SAYISAL ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ 70		
6.1	Giriş	70
6.2	Kazı Etkisi ile Diyafram Perdede Oluşan Yer Değiş-tirmeler	70
6.3	Kazı Etkisi ile Perdede Oluşan Yatay Yer Değiş-tirmelerin Ankraj Öngerme Kuvveti ile İlişkisi	75
6.4	Kazı Etkisi ile Perde Arkası Zemin Yüzünde Oluşan Oturmalar	76
6.5	Ankraj Öngerme Kuvvetinin Kazı Duraylılığına Etkisi	78
BÖLÜM 7		
SONUÇLAR ve ÖNERİLER..... 79		
KAYNAKLAR 81		
EK-A		
M1 Modellerin Plaxis Sonuçları 83		
EK-B		
M2 Modellerin Plaxis Sonuçları 104		
ÖZGEÇMİŞ 137		

SİMGE LİSTESİ

c	Kohezyon
C_c	Sıkışma İndisi
C_s	Şişme İndisi
d_s	Delinen Şaft Çapı
D	Kök Çapı
e	Boşluk Oranı
E	Elastisite Modülü
EA	İmal Edilen Duvarın Ağırlık Modülü
EI	İmal Edilen Duvarın Rijitlik Modülü
E_{50}^{ref}	Drenajlı Üç Eksenli Deneyde Referans Sekant Rijitliği
E_{oed}^{ref}	Başlangıç Ödometre Yüklemesi için Referans Tanjant Rijitliği
E_{ur}^{ref}	Yükleme/Boşaltma Rijitliği
G_o^{ref}	Maksimum Referans Kayma Şekil Değiştirmesi
H_e	Kazı Derinliği
K_a	Terzaghi-Peck Yanal Toprak Basıncı Katsayısı
L_o	Ankraj Kökündeki Enjeksiyon Boyu
M_{sf}	Güvenlik Katsayısı
p'_o	Ankraj Kök Uzunluğu Ortasındaki Düşey Gerilme
P_a	Aktif Toprak Basıncı
P_u	Taşıma Gücü
T_{max}	Çevre Sürtünmesi Uç Direnci
T_{skin}	Maksimum Birim Çevre Sürtünme Kuvveti
T_{rel}	Relatif Birim Çevre Sürtünme Kuvveti
T_{ult}	Ankraj Son Taşıma Gücü
u_x	Diyafram Perdede Oluşan Yatay Yer Değiştirme
u_y	Diyafram Perdede Oluşan Düşey Yer Değiştirme Hareketi
ν	Poisson Oranı
ϕ	İçsel Sürtünme Açısı
σ_v	Düşey Gerilme
σ_h	Yatay Gerilme
ψ	Genleşme Açısı
δ	Enjeksiyon-Kayaç Kesiti Dayanımı
γ	Birim Hacim Ağırlık
$\gamma_{0.7}$	Maksimum Kayma Modülünün %70 ine Karşılık Gelen Kayma Şekil Değiştirmesi

KISALTMA LİSTESİ

AKO	Aşırı Konsolidasyon Oranı
DTH	Darbeli Çekiç
FWHA	Federal Highway Administration
HS	Hardening Small
HSsmall	Hardening Small Model with strain-stiffness
MC	Mohr-Coulomb
NAVFAC	Naval Facilities Engineering Command
SS	Soft Soil
SE	Sonlu Elemanlar
SEY	Sonlu Elemanlar Yöntemi
YTÜ	Yıldız Teknik Üniversitesi

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Şevli kazı metodu.....	6
Şekil 2.2 Kazıdan dolayı oluşan gerilme boşalması [10]	8
Şekil 2.3 İstinat duvarı örnek	9
Şekil 2.4 Ağırlık tipi istinat duvarı çeşitleri	10
Şekil 2.5 Ağırlık tipi istinat duvarı örnek	11
Şekil 2.6 Betonarme istinat duvarı örnek	11
Şekil 2.7 Konsol istinat duvarları örnek [11]	12
Şekil 2.8 Payandalı istinat duvarları örnek.....	13
Şekil 2.9 Şev taşı.....	13
Şekil 2.10 Sandık duvarların uygulanması.....	14
Şekil 2.11 Çelik palplanş kesitleri [12].....	14
Şekil 2.12 Palplanş perdelerin yerleştirilmesi	15
Şekil 2.13 Gabion duvar uygulaması	16
Şekil 2.14 Fore kazık imalat şekilleri [14]	16
Şekil 2.15 Fore kazık imalat safhası [15]	17
Şekil 2.16 Diyafram duvar imalat şekilleri [16]	17
Şekil 3.1 Ankrajların kullanım alanları [17]	20
Şekil 3.2 Geçici ankraj modeli	21
Şekil 3.3 Ankraj kafası detayı [19]	22
Şekil 3.4 Ankraj kök bölgesi detayı [19]	23
Şekil 3.5 Ankraj modelleri	24
Şekil 3.6 Ankraj yapım aşamaları	27
Şekil 3.7 Terzaghi-Peck (1967) tarafından geliştirilen toprak basıncı dağılımı [21].....	29
Şekil 3.8 Navfac (1988) tarafından geliştirilen toprak basıncı dağılımı [22]	30
Şekil 3.9 Granüler zeminlerde ankraj son taşıma gücünün zemin türü, sıklık ve kök boyu ile değişimi (NAVFAC 1988) [22].....	33
Şekil 3.10 Öngermeli ankraj tasarımı	34
Şekil 3.11 Ankrajlı iksa sistemlerinin yenilme durumları (FHWA-IF-99-015, 1999) [17]	35
Şekil 4.1 Zemin elemanlarındaki düğüm ve gerilme noktalarının pozisyonu	42
Şekil 4.2 Arayüz elemanlarının zemin elemanlarına bağlanması	43
Şekil 4.3 Node to node anchors ve embedded pile row elemanlarının kullanımı.....	44
Şekil 4.4 Gömülü kazık elemanlar	45
Şekil 5.1 Ankraj destekli sistemin geometri modeli.....	47
Şekil 5.2 Kazının tamamlandığı durum için sayısal model	48

Şekil 5.3 Sonlu elemanlar ağı	48
Şekil 5.4a M1-40-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]	52
Şekil 5.4b M2-40-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]	52
Şekil 5.5a M1-40-0 modeli için perde yatay yer değiştirmesi [u_x]	53
Şekil 5.5b M2-40-0 modeli için perde yatay yer değiştirmesi [u_x]	54
Şekil 5.6a M1-40-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)	54
Şekil 5.6b M2-40-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)	55
Şekil 5.7a M1-40-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)	55
Şekil 5.7b M2-40-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)	56
Şekil 5.8a M1-40-0 modeli için perdede hesaplanan eğilme momenti (M)	56
Şekil 5.8b M2-40-0 modeli için perdede hesaplanan eğilme momenti (M)	57
Şekil 5.9a M1-40-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	58
Şekil 5.9b M2-40-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	58
Şekil 5.10a M1-40-0 modeli için hesap sonrası ankraj birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin})	59
Şekil 5.10b M2-40-0 modeli için hesap sonrası ankraj birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin})	59
Şekil 5.11a M1-40-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})	60
Şekil 5.11b M2-40-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})	60
Şekil 5.12a M1-100-100 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]	61
Şekil 5.12b M1-100-150 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]	61
Şekil 5.13a M1-100-100 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]	62
Şekil 5.13b M1-100-150 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]	63
Şekil 5.14a M1-100-100 modeli için perde eksenel kuvveti (N)	63
Şekil 5.14b M1-100-150 modeli için perde eksenel kuvveti (N)	64
Şekil 5.15a M1-100-100 modeli için perde kesme kuvveti (Q)	64
Şekil 5.15b M1-100-150 modeli için perde kesme kuvveti (Q)	65
Şekil 5.16a M1-100-100 modeli için perde moment kuvveti (M)	65
Şekil 5.16b M1-100-150 modeli için perde moment kuvveti (M)	66
Şekil 5.17a M1-100-100 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	67
Şekil 5.17b M1-100-150 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)	67
Şekil 5.18a M1-100-100 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})	68
Şekil 5.18b M1-100-150 modeli için hesap sonrası ankraj birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin})	68
Şekil 5.19a M1-100-100 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})	69
Şekil 5.19b M1-100-150 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})	69
Şekil 6.1 Kök uzunluğunun yer değiştirmeler üzerindeki etkisi	72
Şekil 6.2 M1-100-150 ve M2-100-150 modelleri için kök uzunluğunun yer değiştirmeler üzerindeki etkisi	73
Şekil 6.3 6m kök uzunluğunda ankrajlar olması durumunda öngerme kuvvetinin perde ve zemin yüzü yer değiştirmelerine etkisi	74
Şekil 6.4 Ankraj öngerme kuvveti ile kazı etkisinde oluşan perde yatay yer değiştirmeleri ilişkisi	75
Şekil 6.5 M1 modelleri duvar arkası düşey yer değiştirmelerin karşılaştırılması	77
Şekil 6.6 M2 modelleri duvar arkası düşey yer değiştirmelerin karşılaştırılması	77
Şekil 6.7 M1 ve M2 modellerinde ankraj öngerme kuvvetinin kazı duraylılığına etkisi	78

	Sayfa
Çizelge 3.1 Öngermeli çelik halatların karakteristik dayanımları	26
Çizelge 3.2 Bazı kayaçlar için kök sıyrılma değerleri (NAVFAC 1983)	31
Çizelge 3.3 1m Uzunluk için kökte son taşıma gücü (kN/m) (FHWA, 1998)	32
Çizelge 5.1 Model zemin parametreleri.....	49
Çizelge 5.2 Ankraj destekli iksa sistemlerinde kullanılan malzeme parametreleri.....	49
Çizelge 5.3 Kök boyu 6m ankraj destekli iksa sistemlerinin analiz sonuçları	51
Çizelge 5.4 Kök boyu 8m ankraj destekli iksa sistemlerinin analiz sonuçları.....	51
Çizelge 6.1 M1 modelleri için sistem analiz sonuçları	71
Çizelge 6.2 M2 modelleri için sistem analiz sonuçları	71
Çizelge 6.3 Analizlerden bulunan maksimum yatay yer değiştirme - kazı derinliği oranının literatürde önerilen aralıkla karşılaştırılması.....	76

ANKRAJLI İKSA SİSTEMLERİNDE ÖNGERME KUVVETİNİN KAZI DAVRANIŞI ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Özlem Beril ERZENOĞLU

İnşaat Mühendisliği Geoteknik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet BERİNGEN

Günümüzde artan nüfus nedeniyle yapılaşmanın fazlaşması, ekonomik büyüme ve buna bağlı olarak boş arazilerin azalmasından dolayı çok katlı bodrumları olan yüksek yapılara talep artmıştır. Bu binaların bodrumları ve temellerini inşa etmek için dik ve derin kazı yapmak gerekmektedir. Derin kazı nedeni ile kazı çukurunun duraylılığının sağlanması ve kazı çevresinde oluşacak şekil değiştirmelerin sınırlandırılması ihtiyacı bir iksa sistemi inşasını zorunlu kılmaktadır. Başlangıçta içten destekli iksa sistemleri ile karşılanan bu ihtiyaç, içten destekli sistemlerin kazı çukurunda inşaat faaliyetlerini kısıtlaması, geniş kazılarda tasarım güçlüğü vb. nedenlerden ötürü daha gelişmiş destekleme sistemlerinin geliştirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Öngerilmeli ankrajların geliştirilmesi ve iksa sistemlerinde kullanılması bu ihtiyacı karşılamakla birlikte öngerilme uygulanan zemin ankrajları ile desteklenen iksa sistemlerinin karmaşık çalışma mekanizması nedeniyle aydınlatılması gereken konular bulunmaktadır. Bu konuların başında ankraj öngerme kuvvetinin iksa perdesi ve perde arkası zemin yüzünde kazı dolayısı ile oluşacak yer değiştirmeler üzerindeki etkisinin geldiği düşünülerek bu çalışmada, bu konunun sayısal analizlerle incelenmesi amaçlanmıştır. Sayısal analizler geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan Plaxis 2012 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde, iki sıralı ankraj ve diyafram perdeden meydana gelen bir kazı destekleme sisteminde farklı öngerme kuvvetleri ve ankraj kök boyları gözönüne alınmıştır. Bu parametreler ile gerçekleştirilen analizlerden ankraj öngerme

kuvveti ile perdedeki yatay yer deęiřtirmeleri ve perde arkası dūřey yer deęiřtirmelerinin deęiřimi elde olunarak grafikleri çizilmiřtir. Bu grafiklerde yer deęiřtirmeler kazı derinlięi ile, ankraj kuvveti ise Rankine aktif toprak basıncı deęeri ile normalize edilerek gōsterilmiřtir. Gōzōnūne alınan sayısal modelde, duraylılık analizleri de geręekleřtirilerek ankraj kuvvetlerinin destekli kazının duraylılıęı üzerindeki etkisi arařtırılmıřtır. Plaxis sonlu elemanlar yōnlemi ile modellenen sistemde duvar arkasında oluřan yatay (u_x) ve dūřey yer deęiřtirmelerin (u_y) belirlenmiř ve kazı derinlięi (H), ankraj kōk uzunluęu, çevre sūrtünmesi uę direnci (T_{max}), gūvenlik katsayısı (M_{sf}), aktif toprak basınçlarının (P_a) birbirleri ile iliřkileri grafiklerle deęerlendirilmiřtir.

Anahtar Kelimeler: Derin kazılar, duvar sehimi, ankrajlı iksa sistemleri, Plaxis HSsmall .

**EFFECT OF PRESTRESSING FORCE OVER EXCAVATION BEHAVIOR IN
ANCHOR SUPPORTING SYSTEMS**

Özlem Beril ERZENOĞLU

Civil Engineering Geotechnical Department

Master of Sciences Thesis

Thesis Adviser: Prof. Dr. Mehmet BERİLGİN

Due to increasing growth of the population, dwelling increase and economic growth as well as dependently reduction of the free land, the demand for high buildings consisting of multi-storey basements increased considerably. In order to build such buildings' basements and groundwork, it is necessary to dig vertical and deep excavations. For the deep excavation, constructing of a support system is found to be compulsory to provide stability for the excavation hole and the limitation of the shape changes in the vicinity.

This demand which was primarily provided with inner support timbering systems, was found necessary to be changed to much developed improved supporting systems due to limitation of the construction activities within the inner supporting systems in excavation holes, also design difficulties in wide excavations and so on. Development of the prestressing anchorages and the conducting supporting systems may meet this requirement and there is a complex mechanism of the supporting systems, supported by ground anchorages which prestressing applications takes places, and are the subjects to enlighten to determine the behavior of the supporting systems. Above all these subjects, shoring wall of the anchorage prestressing power and the effect of the possible place shifts taking place at behind the wall surface because of the excavation, numerical analysis of this subject was aimed to be considered. The numerical analysis was realized by Plaxis 2012 software which is used very commonly in geotechnical engineering. In these analyses, various prestressing powers and anchorage root paints

were considered within an excavation system made by a two lined anchorage and diaphragm wall. In the analyses developed with these parameters, the anchorage prestressing power and horizontal shift in the Wall as well as the vertical shift behind the wall were all evaluated and their graphics were delineated. In these graphics, the ground shifts with the excavation depths, and the anchorage strength with the Rankine active soil pressure were normalized.

In the prospected numerical model, with evaluating stability analysis, the effect of anchorage powers over the stability of the supported excavations was investigated. With the modelled system by Plaxis Finite Elements' method, the horizontal (u_x) and vertical (u_y) displacements behind the wall were determined and the relations of the excavation depth (H), length of anchorage root, peripheral friction point bearing (T_{max}), security coefficient (M_{sf}), active soil pressures (P_a) with each other were evaluated with graphics.

Key words: Deep excavations, Wall deflection, support systems with anchorages, Plaxis HSsmall .

1.1 Literatür Özeti

Derin kazılar gerektiren yapıların inşası boyunca kazı sahalarının çevresinde bulunan bina, yol ve mevcut tesislerde oluşabilecek hasar riskini en aza indirmek, zemin yer değiştirmelerini kabul edilebilir sınırlar ölçüsünde tutmak için göçme, kayma ve şekil değiştirmelere engel olacak bir destekleme sistemi seçilmelidir. Derin kazı çukurlarının güvenli ve ekonomik olarak desteklenebilmesi için istinat duvarı, payanda gibi destekleme sistemlerinin kullanılması yeterli derecede güvenilir ve ekonomik olmadığından dolayı derin kazılarda çok sıra destekli iksa sistemleri geliştirilmiştir.

Günümüzde derin kazıların desteklenmesinde ankrajlı sistemlerin kullanılması sıkça uygulanan bir yöntemdir. Ankrajlı sistemlerin uygulanması çoğu zaman daha ekonomik ve daha verimli sonuçlar alınmasına olanak sağlamıştır. Genelde zemin ankraji, kendisine veya kayaçta destek bulan, zemin kitlelerini veya uygulanan yapısal yükleri tutan bir eleman olarak tanımlanabilir. Özellikle şehirlerde yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde derin kazılar çok sıralı ankrajların kullanımı ile güvenli ve ekonomik olarak gerçekleştirilmektedir [1].

İlk ankraj uygulamaları 1918 yılında Polonya'da yapılmıştır. 1960 yıllarından başlayarak, zemin ankrajları tekniğinin gelişmesi ile birlikte kullanım alanları da yaygınlık kazanmıştır. Değişik biçimlerde uygulanabilen ankrajlı duvarlar, kazı içine doğru ve duvar arkasında klasik iksa sistemlerine oranla, yer değiştirmeleri büyük ölçüde azaltarak çoğu kez gerekli yapı güvenliğini sağlayabilmektedirler. Sonraki yıllarda

teknolojideki ilerlemeler sayesinde ankraj uygulamalarında büyük bir artış olmuştur. Özellikle zemin içerisinde bir delgi kullanılarak açılan deliğe yerleştirilen korozyona karşı korunmalı ve yüksek mukavemetli özel çelikten yapılmış zemin ankrajına uygulanan öngerme ile duvarı dengede tutan uygulamalar son yıllarda oldukça yaygın olarak kullanılmaktadır. Ankrajlı dayanma yapıları, klasik sistemlere oranla daha güvenli ve daha ekonomik olmaktadır. Ancak, ankrajlar sadece ekonomi gereği değil çoğu kez bir yapım çalışması için öngörülen teknik koşulları sağlayabilmek amacıyla kullanılmaktadırlar.

Ankrajlı bir sistemde temel prensip, ankraj çeliğine öngerme uygulanarak yaratılan kuvvetin yapı üzerine aktarılması ve gerideki zemin kütesine taşıtılmasıdır. Ankrajlı sistemlerde hesaplanan ankraj kuvvetleri kontrollü bir şekilde uygulanabilmektedir. Zaman zaman yapılacak ölçüm sonuçlarına göre yeniden öngerme uygulayarak ankraj kuvvetlerini artırmak mümkün olmaktadır [2].

Ankrajlı perde veya diyafram duvar davranışını laboratuarda geliştirilen model deneyler ile inceleyen birçok çalışmaya literatürde rastlanılmaktadır. Bu çalışmalarda ankraj geometrisi, zemin sıklığı, kazı yüksekliği vb. parametrelere karşılık sistemde oluşan yer değiştirme ve deformasyonlar, perde momentleri, ankraj kuvvetleri vb. niceliklerin değişimi incelenmiştir. Hanna ve Kurdi [3] tarafından geliştirilen model deney düzeneği ile çok ankrajlı bir perdede değişik duvar rijitlikleri ve farklı ankraj eğimlerinde, perdede oluşan yer değiştirmeler ve momentler elde olunmuştur. Benzer deney düzeneği Anderson vd., [4] tarafından bir ankrajlı perde sisteminin genel stabilitesini incelemek üzere kullanılmış ve perdede meydana gelen yer değiştirmeler tespit olunmuştur. Erdemgil [2] tarafından geliştirilen üç seviyede ankrajları olan bir perde sisteminde, üç farklı sıklıkta yerleştirilmiş kum zeminde, değişik ankraj kökü geometrileri (çap ve uzunluk) için perde önünde yapılan kazı sonrasında perdede meydana gelen yer değiştirmeler tespit olunmuştur. Costopoulos [5] tarafından tek ankrajlı bir model deney düzeneğinde yapılan çalışmada kum bir zeminde değişik kazı derinliklerine karşın perde duvarda oluşan yanal toprak basıncı, ankraj kuvveti ve perdede oluşan yer değiştirmeler ölçülmüştür.

Öngerme ankrajlı duvarlarda, duvar zemine ankraj çeliği ile beton ve çelikten meydana gelen kompozit bir ankraj kökü sayesinde tutturulduğundan sistemin karmaşık bir mekaniği vardır [6].

Berilgen [7] ankrajlı perdelerde zemin yapı etkileşimini incelediği doktora tezinde, ankraj öngerme kuvveti şiddetinin perde yer değiştirmelerine etkisini ve perde önünde yapılan kazılar neticesinde perdede meydana gelen yer değiştirmeler yanında ankraj kökünün maruz kaldığı yüklemelere karşın gerilme dağılımı değişimini model deneyler ve sayısal analizlerle incelemiştir.

Bu çalışmalar sonucunda değişik öngerme kuvvetlerinde kazı seviyelerine göre yapılan analizler ankraj öngerme kuvveti arttıkça perdede daha az yer değiştirme olacağını ortaya koymuştur [7].

1.2 Tezin Amacı

Bu tez çalışmasında derin kazıların desteklenmesinde kullanılan ankrajlı iksa sistemlerinde ankrajlara uygulanan öngerme kuvvetinin kazının yol açtığı yer değiştirmelere etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç için sayısal analizler ile parametrik bir çalışma gerçekleştirilmiştir. Parametrik çalışmada farklı zemin özelliklerine göre tesis edilen öngerme ankrajlarının değişen özellikleri (rijitlik, kök boyu ve çapı, serbest uzunluk vs) dikkate alınarak kurulacak sayısal modeller ile analizler gerçekleştirilecek ve iksa perdesi ile arkasındaki zemin kütlelerinde oluşacak yer değiştirmeler hesaplanacaktır. Bu analizlerde ayrıca öngerme kuvveti ve ankraj özelliklerinin kazı iksa sisteminin güvenlik seviyesi üzerindeki etkileri de belirlenecektir. Gerçekleştirilecek bu analizler ile ankraj rijitliği, ankraj kök uzunluğu ve öngerme kuvvetinin kazı davranışı ve güvenlik sayısı üzerindeki etkileri çizilecek grafikler ile gösterilecektir.

Bu tez çalışmasında planlanan hedefler gerçekleştirildiğinde derin kazıların desteklenmesi için yapılacak öngerme ankrajlı iksa sistemlerinin tasarımında veya uygulamasında çalışan mühendisler için önemli ipuçlarına ulaşılabileceğine inanılmaktadır.

1.3 Hipotez

Öngermeli ankrajlar derin kazılarda duraylılığı artırmakta ve kazı ortamında şekil değiştirmeleri sınırlayabilmektedir. Öngerilmeli ankrajların kazı ortamındaki bu katkıları sayısal analizler ile araştırılabilir. Bu amaçla homojen bir zemin ortamında iki sıralı öngerilmeli ankrajlara sahip bir kazı için sonlu elemanlar yöntemi ile iki boyutlu elastoplastik zemin davranışı gözönüne alınarak sayısal analizler gerçekleştirilmiştir.

DERİN KAZILAR VE İSTİNAT YAPILARI

2.1 Giriş

Derin kazılar bilimsel tarafı olmakla birlikte tecrübe yanı daha ağır basan bir konudur. Her derin kazı iksa sisteminin rijitliği ne olursa olsun çevresindeki zeminde yer değiştirmelere ve zemin yüzeyinde oturmalara sebep olur [8]. Komşu yapıların hasar görmemesi ve temel inşaatının güvenli bir şekilde yapılabilmesi için bu oturmaların ve yer değiştirmelerin önceden tahmin edilmesi gerekir. Çevrede meydana gelen yer değiştirmeler öncelikle zemin özelliklerine bağlıdır. Kazının boyutları, kazı ve destekleme yöntemleri, malzeme ve işçilik kalitesi, kazının açık kalma süresi, atmosfer tesirleri dikkate alınması gereken diğer faktörlerdir [9].

Temel çukurunun yerleşim alanında açılması sırasında komşu yapılarda taşıma gücünün azalması, oturmalar ya da yanal hareketler şeklinde ortaya çıkabilecek tüm olumsuzluklara karşı güvenli olması gerekmektedir. Bu olumsuzlukların engellenmesi, güvenli şevler oluşturarak sağlanan açık kazılar yapılması veya destek sistemleri kullanılarak oluşturulan kazılardır [1].

2.2 Açık Kazılar

Açık kazılar, emniyetli şevler ile yapılan kazı yöntemleridir. Kazı derinliğinin az olduğu yerlerde şevli kazıların yapılması ekonomik bir çözümdür. Kazının duraylılığını belirleyen faktörler, genel olarak kazının derinliği, eğimi ve yeraltı suyu durumudur.

2.3 Destekli Kazılar

Zemin ve çevre yapılarının durumuna göre kazı sırasında dayanma yapılarına ihtiyaç duyulabilir. Daha çok derin kazılarda ihtiyaç duyulan bu tür dayanma yapılarının yerinde durabilmesi için göğüsleme ve yatay destekler veya payandalar, küçük alanlarda basınç halkaları ve ankrajlar kullanılabilir.

Destekli kazılar her türlü kazı alanı ve derinliğinde yapılabildiğinden oldukça tercih edilmektedir.

2.3.1 Destekleme Sistemlerinin Seçilmesi

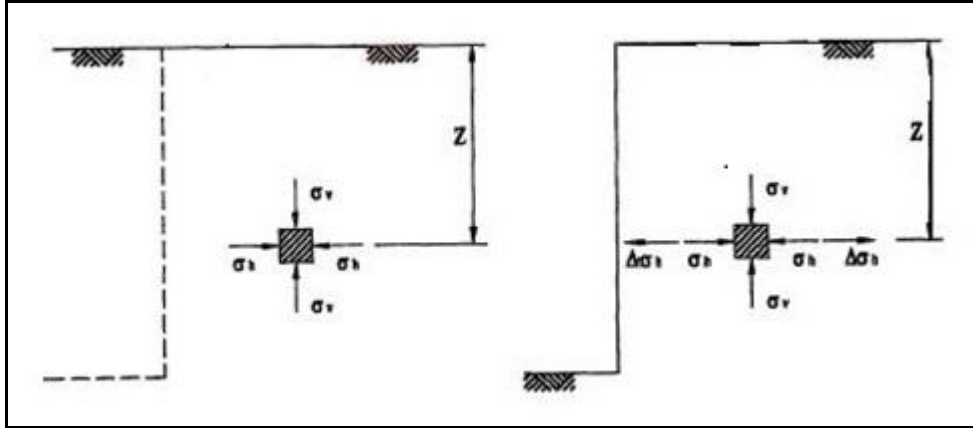
Derin kazının başarı ile tamamlanabilmesi detaylı bir geoteknik araştırma, doğru bir değerlendirme, uygun destekleme sisteminin seçilmesi ve hızlı bir inşa süreci ile mümkündür.

Destekleme sistemine ait elemanların boyutlandırılmasında ve seçilmesinde aşağıda belirtilen hususlar göz önünde bulundurulmalıdır [10].

- Destekleme elemanları burkulmaya ve aşırı deformasyona uğramadan toprak basıncı, su basıncı ve sürşarj etkilerini güvenle taşımalıdır.
- Yatay destekler mümkün olduğu kadar seyrek konularak inşaat makinelerinin temel çukuru içerisinde rahat çalışması sağlanmalıdır.
- Asıl yapıya ait radye temeli ve bodrum katlarını yatay destek olarak kullanmanın mümkün olup olmadığı araştırılmalıdır.
- Zemin yüzeyinde oturma istenmiyorsa destekleme sistemi ankrajlarla geriye bağlanmalı ve ankrajlara öngerme uygulanmalıdır.
- Ankrajlı bir destekleme sistemi seçilmesi halinde yüksek kapasiteli, seyrek ankraj uygulaması yerine düşük kapasiteli, sık ankraj uygulaması yoluna gidilmelidir.

Zeminde açılan bir çukur kazı bölgesinde gerilme boşalmasına yol açacaktır. Zemin kaldırıldığında oluşan yatay yöndeki gerilme azalması, zeminin stabilitesini bozacak kadar büyükse, oluşan bu gerilme kaybı yapılacak destekleme sistemi tarafından karşılanır. Bununla birlikte yapılacak destekleme sistemi düşey yönde oluşan gerilme

kaybını dengeleyemez. Kazı civarındaki zeminlerdeki gerilme değişiminin doğurduğu deformasyonların belirlenmesi, sistemin güvenilir bir şekilde boyutlandırılması ve çevreye verilecek zarar açısından oldukça önemlidir.



Şekil 2.2 Kazıdan dolayı oluşan gerilme boşalması [10]

Destekleme sistemi ya yalnızca düşey desteklerden ya da düşey desteklerin yatay desteklerle birlikte kullanılmasıyla oluşturulur. Bazı durumlarda (zeminin kaya olması) düşey desteklere gerek kalmadan yalnızca yatay destekleme sistemleri kullanılabilir.

Kullanılacak destekleme sistemlerinde aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir [10].

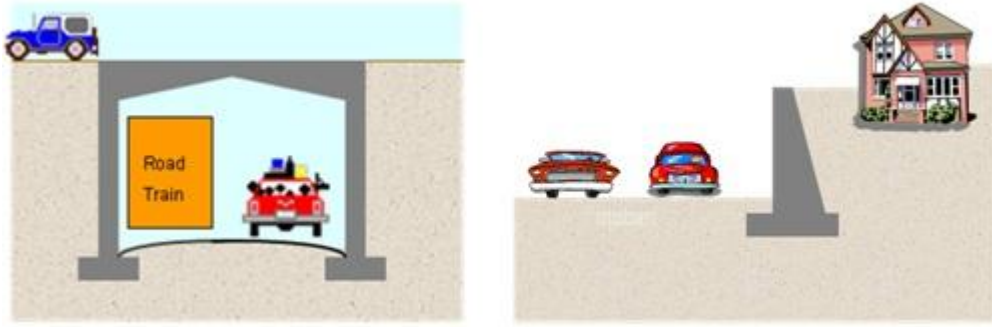
- Derin kazının açık kalacağı süre
- Zemin profili ve zeminlerin karakteristik özellikleri
- Komşu yapıların taşıyıcı sistemleri, temel sistemleri ve temel derinlikleri, komşu yapılarda müsaade edilen oturma ve dönme değerleri
- Destekleme sisteminde ortaya çıkabilecek yatay yerdeğiştirmelerin hesap edilmesi ve destekleme sisteminin boyutlandırılması

Derin kazı olarak adlandırılabilen kazılar 6m'den daha derin olan kazılardır. Ancak bu derinlikten sonraki, toprak basıncı ve buna bağlı hesaplamalar anlam kazanmaktadır. Bunun nedeni zeminin, yüzeye yakın bölgelerde daha az homojen olması ve zemin mukavemetinin mevsimlere göre daha çok değişkenlik göstermesidir.

2.4 İstinat (Dayanma) Yapıları

Yanal zemin basınçları zemindeki yatay gerilmelerin doğrudan bir sonucudur. Geoteknik mühendisliğinde yanal zemin hareketinin önlenmesi problemi sıkça karşılaşılan bir durumdur.

Dayanma yapılarını tasarlamak için bu yapılara etkiyecek olan yanal zemin basıncının büyüklüğünü bilmemiz gerekmektedir. Dayanma yapıları, zemin seviye farklarının korunması, yanal zemin hareketlerinin önlenmesi amacıyla tasarlanırlar.



Şekil 2.3 İstinat duvarı örnek

Dayanma yapılarının amacı, kazı etrafındaki zemin için yatay destek sağlamak ve zeminin hareketini sınırlandırmaktır. Dayanma yapılarının kullanım alanları genellikle şevlerin stabilite durumları, kazılar, dolgular, rıhtım duvarları, köprü kenar ayakları, doklar, erozyon ve oyulmalara karşı korumalardır. Dayanma yapıları geçici veya kalıcı iksa şeklinde yapılır. Geçici iksa sistemi kısa süreli açık kalacak kazılarda uygulanır. Uzun süre açık kalacak veya kazının bir bölümünün kapatılmayacağı kazılarda ise kalıcı iksa düşünülür. Farklı birçok tipe sahip istinat duvarı vardır. Bunları farklı gruplar altında sınıflandırabiliriz. Bu gruplar içerisinde de farklı tipte istinat duvarları bulunabilmektedir. Aşağıda istinat duvarlarının bir sınıflandırılması görülmektedir.

- Ağırlık tipi istinat duvarları
- Betonarme istinat duvarları
- Konsol istinat duvarları
- Prefabrike istinat duvarları
- Öngerilmeli istinat duvarları vb.

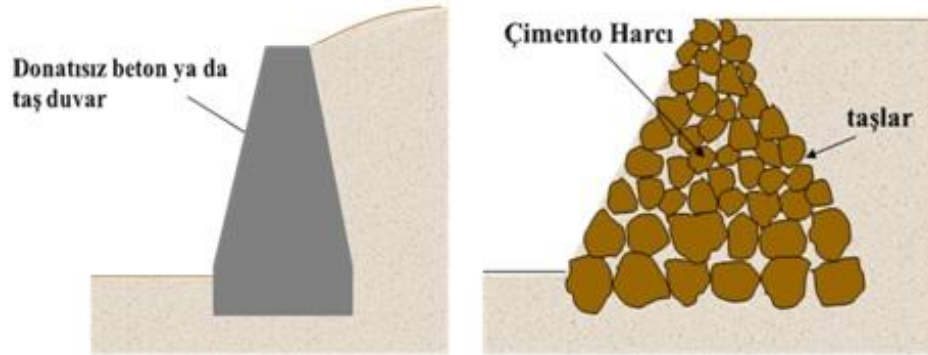
2.4.1 Ağırlık Tipi İstinat Duvarları

Ağırlık tipi istinat duvarları en eski, en yaygın ve tasarımı en kolay yapılabilen duvarlardır. Bu tip duvarların stabilitesini kendi ağırlıkları ve kalınlıkları sağlamaktadır. Bu gruba giren duvarlarda, duvarın yüksekliği arttıkça ağırlığının artırılması gerekmektedir.

Bu tip istinat yapıları arkalarında bulunan dolguya kendi ağırlıkları ile karşı koyarak destek verirler. Genellikle taş, tuğla, donatısız beton vb. den yapılırlar. Taş ve beton çekme dayanımı düşük malzemeler olduğu için bu tip yapılarda çekme gerilmesine izin verilmez. Genellikle 4-5 metreye kadar yapılması önerilen istinat duvarlarıdır.

Ağırlık tipi istinat duvarları kendi içerisinde 2 gruba ayrılabilir. Bunlar taş ve beton ağırlık tipi istinat duvarlarıdır.

Taş ağırlık tipi istinat duvarları harçlı ve harçsız olarak imal edilen istinat duvarlarıdır. Beton ağırlık tipi istinat duvarları beton malzemeden imal edildikleri için ekonomik değildirlir. Ancak çekme gerilmelerinin yoğun olduğu kısımlara çelik donatı koyularak duvar kütlesi azaltılabilir. Donatılandırılan bu tip istinat duvarları, yarı ağırlık istinat duvarı olarak adlandırılır.



Şekil 2.4 Ağırlık tipi istinat duvarı çeşitleri

Ağırlık tipi istinat duvarlarının inşası genel olarak ucuz ve hemen hemen her türlü hava koşullarında inşa edilebilir. Buna ek olarak yapısal hasar görmeden küçük miktarlarda farklı oturmaya göre yapıyı düzenlemeye olanak sağlayacak derecede bir esnekliğe sahiptir. Ağırlık tipi bir istinat duvarı yeterli ağırlık ve genişliğe sahip olmak veya olumsuz bir durumda üzerine uygulanacak dış kuvvetler nedeniyle devrilmeyecek veya

kaymayacak şekilde desteklenmek zorundadır. Başka bir deyişle duvarın yıkılmasına neden olabilecek dış kuvvetler ve duvarın şeklinin bozulmasına yol açabilecek iç kuvvetlere karşı dengeli olması gerekmektedir.



Şekil 2.5 Ağırlık tipi istinat duvarı örnek

2.4.2 Betonarme İstinat Duvarları

Adından da anlaşılacağı üzere donatılandırılmış beton istinat duvarlardır. Dolgu yapılırken katmanlar halinde donatı yerleştirilip ön yüzünde dikey plakalarla bir düşey yüzey elde etmek şeklinde yapılan donatılı duvarlar oldukça yaygın uygulama alanı bulmaktadır.

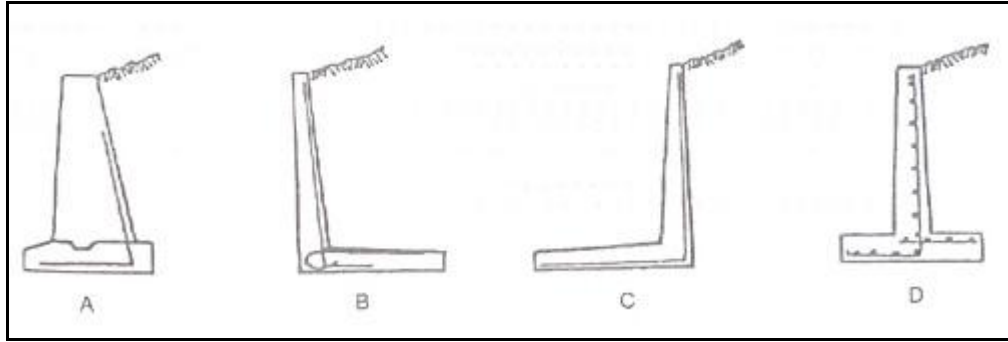
Betonun çekme dayanımı az olduğu için çelik donatı ile güçlendirilir. Böylece daha ekonomik ve yüksek istinat yapılarının imal edilmesine olanak sağlanır.



Şekil 2.6 Betonarme istinat duvarı örnek

2.4.2.1 Konsol İstinat Duvarları

Konsol istinat duvarları oldukça yaygın uygulama alanına sahip olup betonarme olarak imal edilirler. Genellikle düşey bir gövde ve bir taban plağından oluşmaktadır. Gövdenin kalınlığı ağırlık duvarlarına göre daha incedir. Bu duvarlarda emniyet duvara uygun bir şekil verilerek sağlanabilir. 7-8 metreye kadar uygulanması ekonomik sonuçlar verir. Ters T, L ve ters L şeklinde imal edilebilirler. Bu tip duvarlarda denge sağlanmaya çalışılırken dolgunun kendi ağırlığından da faydalanılır.



Şekil 2.7 Konsol istinat duvarları örnek [11]

Ağırlık tipi istinat duvarlarına göre kesitleri daha küçüktür. Kaymaya ve devrilmeye karşı direncin çoğunu arka dolgunun ağırlığından alır.

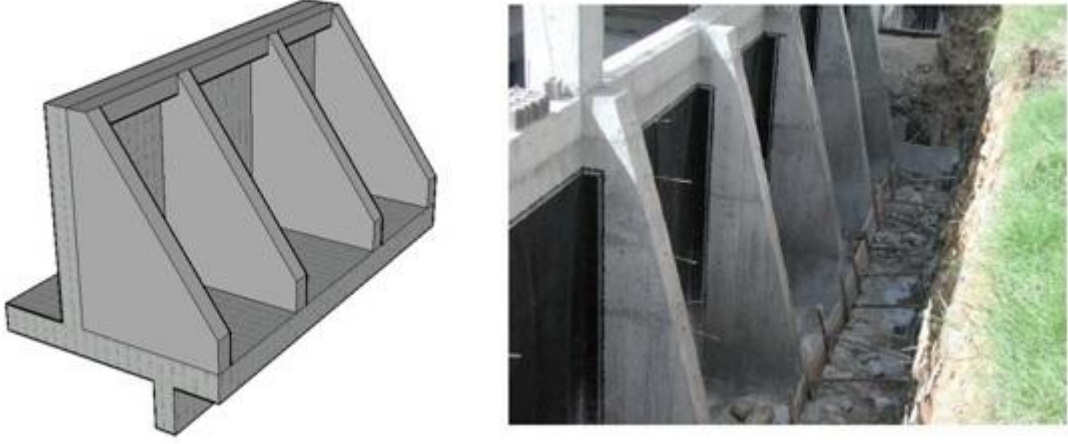
2.4.2.2 Payandalı İstinat Duvarları

Konsol istinat duvarlarında konsolun yüksek olması ve zemin basıncının yüksek olması durumunda taban plağı ile konsolu bağlayan payandalara ihtiyaç vardır. Payandalı duvarda taban ve gövde elemanları konsol duvarlarda olduğu gibidir. Payandalar eğilme momentlerinin ve kesme kuvvetlerinin karşılanmasında büyük rol oynarlar. Payandanın topukta yapılması çekme gerilmesine, ayakta yapılması ise basınca karşı çalışmasına neden olur.

Betonarme nervürlü istinat duvarları olarak da adlandırılırlar. 7-8 metreden daha yüksek yapılmak istenen duvarlarda kullanılması durumunda ekonomik sonuçlar elde edilir.

Payandalar istinat duvarının arkasına ya da önüne koyulabilir. Genellikle yer kaybını önlemek ve estetik kaygılardan ötürü duvar arkasına yerleştirilir. Yapılacak kazının çok

pahalı olması ya da kazı imkanının bulunmaması durumunda kohezyonu yüksek olan zeminlerde payandaların gövdenin ön yüzüne koyulması tercih edilir.



Şekil 2.8 Payandalı istinat duvarları örnek

2.4.3 Prefabrik Sandık (Kafes) Duvarlar

Bir sandık oluşturmak üzere bağlanan prefabrik beton elemanlardan oluşurlar. Elemanlar arasındaki boşluklar sıkıştırılmış zemin ile doludur. Arka dolgudan gelen yanıl yüklerle karşı koymak için gerekli direncin çoğu bu zemin tarafından sağlanır. Drenaja ve bitki yetiştirilmesine olanak sağlar. Genellikle yer seviyesindeki sıkıştırılmış yol dolgularında kullanılırlar. Prefabrike elemanlar genelde 1.8 – 2.4 m uzunluğundadır.



Şekil 2.9 Şev taşı

Bu tip duvarların stabilite hesapları diğer duvarlar gibidir. Bu duvarlar acele destek sağlanması istenen durumlarda oldukça kullanışlıdır. Kendi bünyeleri içinde drenajı temin etmeleri, sökülüp takılabilir olmaları, tamamlanır tamamlanmaz yük taşıyabilir

olmaları, küçük oturmalarından etkilenmemeleri ve bakımlarının kolay olması tercih edilme sebeplerindedir.

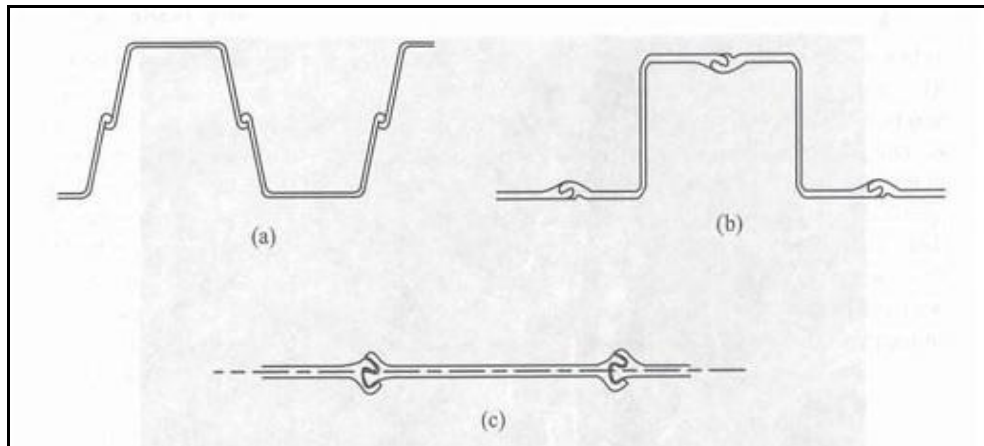


Şekil 2.10 Sandık duvarların uygulanması

2.4.4 Palplanş Perdeler

Bir zemin kütesini tutmak amacıyla hazır kazıkların yan yana, sürekli bir perde oluşturacak şekilde çakılmaları ile oluşturulur. Palplanş perdeler zeminden gelen yatay yüklerin büyük kısmını, düşey yüklerin ise küçük bir kısmını taşıyabildiklerinden düşey yönde oluşturulmuş bir kiriş olarak düşünülebilir.

Ahşap, beton veya çelik olarak imal edilebilen palplanş perdeler birbirlerine kilitlenirler. Genellikle çelikten imal edilen palplanş perdeler kolayca kesilebilir, birbirlerine kaynaklar ile ilave edilebilir, istenilen boyutlarda rahatlıkla kullanılabilirler. Değişik kesitleri olmakla birlikte Z kesitler en çok kullanılan çelik palplanşlardır.



Şekil 2.11 Çelik palplanş kesitleri [12]

Palplanş perdeleri, rıhtım, iskele, batardo, su yapılarında sızıntı uzunluğunun artırılması, toprak kaymalarının önlenmesi, kazı kaplaması vb. işlerde kullanılabilirler [13]. Taşıma gücü düşük zeminlerde taşıma gücü sorunu olmaz. Palplanş perdeler, pratik olarak sızdırmaz veya çok az sızdırır olarak kabul edilebilir.

Palplanşların iksa görevi tamamlandıktan sonra zeminden çıkarılarak tekrar kullanılabilir olması çok büyük avantajdır.

Palplanş perdeler zemine darbe, titreşim veya basınç yardımıyla çakılmaktadır. Uygulama yönteminin seçilmesi esnasında zemin tabakasının özellikleri oldukça önemlidir. Çakılma sırasında oluşturduğu gürültü kirliliği ise dezavantajdır.



Şekil 2.12 Palplanş perdelerin yerleştirilmesi

2.4.5 Gabion Duvarlar

Gabion duvarlar, henüz ülkemizde fazla uygulanmamasına rağmen hızlı, ekonomik ve kesin çözümler sunar. Özellikle iri taş dolgunun rahatlıkla bulunduğu alanlarda oldukça ekonomik ve doğal görünümlü çözümlerin üretilmesi mümkündür.

Tel kafeslerin içine taş doldurulup elde edilen blokların üst üste konulması şeklinde oluşturulan gabion duvarlar karayollarında, acil şev stabilite durumlarında, peyzaj uygulamalarında, su kanalları ve dere yatakları erozyon kontrolünde ve daha çok yamaç-kıyı koruması uygulamalarında kullanılmaktadır.

Gabion duvar içerisindeki iri dolgu sudan etkilenmediği için ve özellikle dere yataklarında gabion dolgusunda kullanılacak iri dolgular rahatlıkla bulunabileceğinden bu tip duvarlar su ile temas noktalarında oldukça başarılı sonuçlar vermektedir.

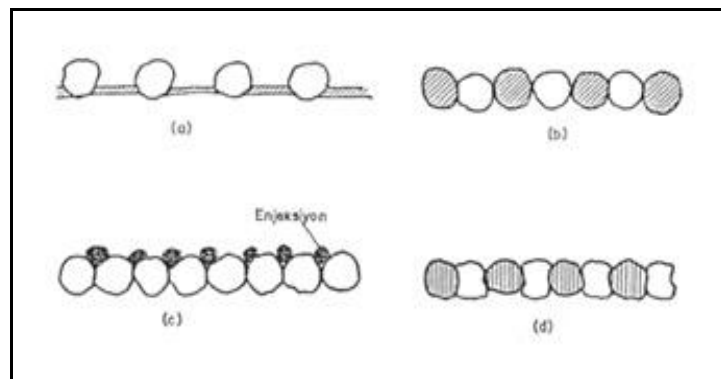


Şekil 2.13 Gabion duvar uygulaması

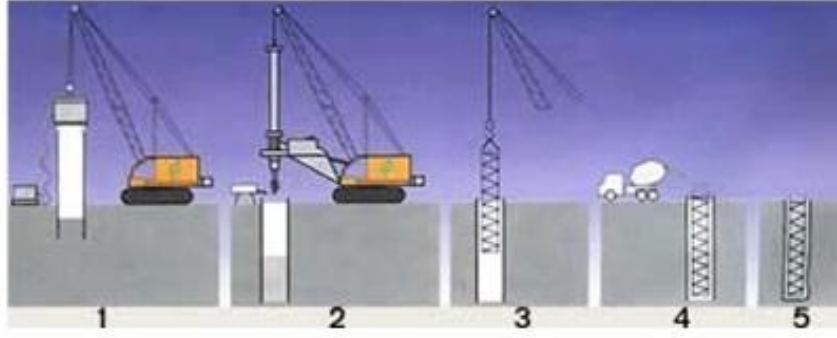
2.4.6 Kazıklı Perdeler

Kazık elemanlar kullanılarak oluşturulan dayanma yapılarıdır. Kazıklar, fore kazık ve çakma kazık olarak imal edilebilirler. Dik eğimli şevlerin stabilitesini, açılan derin çukurların inşaat süresince güvenli olmasını, komşu yapıların güvenliğini sağlamak amacıyla yapılırlar.

Kazıklı perdeler genellikle fore kazık olarak imal edilirler. Kazıkların çapları, toprak basınçlarının büyüklüklerine, şekline ve taşıma kapasitelerine göre değişmektedir. Fore kazıklar projeye göre aralıklı, teğet veya kesişen kazıklar olarak imal edilebilirler.



Şekil 2.14 Fore kazık imalat şekilleri [14]

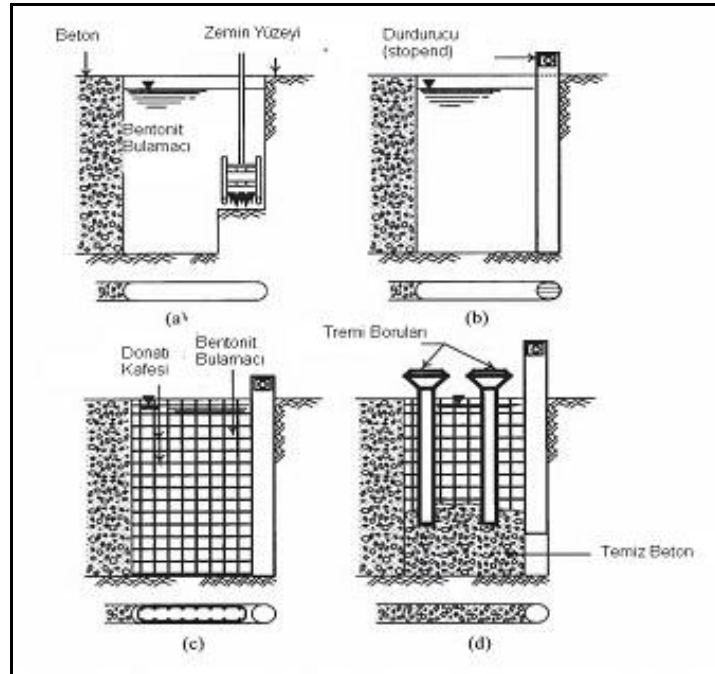


Şekil 2.15 Fore kazık imalat safhası [15]

2.4.7 Diyafram Duvarlar

Son yıllarda oldukça uygulama alanı bulan yöntemlerin başında gelmektedir. Diyafram duvarlar özel teknikler uygulanarak yapılmaktadırlar. Yerinde dökme beton diyafram duvarlar, ön yapımlı beton diyafram duvarlar ve donatılı bentonit çamurlu duvarlardır.

Diyafram duvarın imalat aşamaları; kılavuz duvarının yapılması, diyafram duvar kuyusunun kazılması, kazı esnasında destekleyici süspansiyonunun kuyuya doldurulması, donatı kafesinin yerleştirilmesi ve diyafram duvarın betonlanmasıdır.



Şekil 2.16 Diyafram duvar imalat şekilleri [16]

Diyafam duvarlar kazıların desteklenmesi anlamında çok yönlü sistemlerdir. Çünkü her zemin türü ve hemen hemen her derinlikte kullanılabilirler. Duvar kalınlıklarının fazla olmasından dolayı yapının taşıyıcı perdeleri olarak da kullanılmaktadır.

ÖNGERME ANKRAJLI DAYANMA YAPILARI

3.1 Giriş

Özellikle şehirlerde yerleşimin yoğun olduğu bölgelerde derin kazılar çok sıralı ankrajların kullanımı ile güvenli ve ekonomik olarak gerçekleştirilebilmektedir.

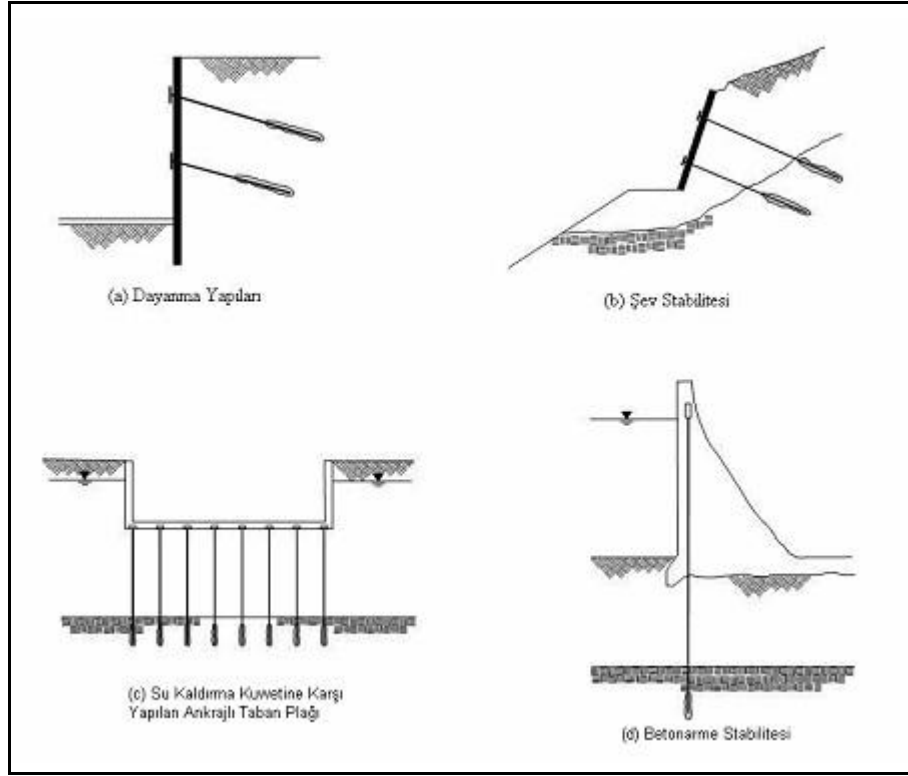
Ankrajlar derin kazıların güvenle açılması ve inşaat sırasında emniyetli olarak durması için, yüksek şev duvarlarının desteklenmesinde kullanılan destek elemanlarıdır. Başka bir deyişle ankrajlar, üzerine uygulanan gerilme (çekme) kuvvetini taşıyıcı zemine ileten yapısal parçalardır.

Ankrajlar pasif veya öngermeli olarak tasarlanabilirler. Pasif ankrajlar kendi başlarına yük taşımazlar. Zemin, ilgili ankraj parçasına doğru hareket ettikçe, yük ankraja iletilir. Pasif ankrajın maksimum yük taşıma gücüne ulaşabilmesi için büyük hareketlere gereksinme olabilir. Büyük hareketleri daha kabul edilebilir düzeye indirmek için zemin ankrajları genellikle yapıya veya zemin yüzeyi levhasına veya bileşenlerine doğru çekilerek öngermeli olarak imal edilirler.

Ankrajlar servis süreleri bakımından geçici ve sürekli olarak ikiye ayrılırlar. Geçici ankrajlar servis süreleri 6 aydan daha az ve servis süreleri 2 yıl civarında olanlar şeklinde ikiye ayrılabilir. Servis ömrü 6 aydan daha az olan geçici ankrajlar, göçmesi çok ciddi sorunlar yaratmayan kısa süreli kazık yükleme deneylerinde reaksiyon olarak kullanılan ankrajlardır. Servis ömrü 2 yıl civarında olan geçici ankrajlar ise göçmesi sonucu oldukça ciddi sorunlar ortaya çıkabilen uyarı olmaksızın toplum güvenliğini etkilemeyen ankrajlardır. Sürekli ankrajlar, kalıcı yapıların ve kazı destekleme

sistemlerinin servis ömrü boyunca güvenliğinin ve stabilitesinin sağlanması amacıyla yapılırlar.

İksa sistemlerinin dengesinin yatay destekler ile sağlanması amacıyla kullanılan ankrajlar arasında zemin akrajlarının kullanımı son yıllarda oldukça artmıştır. Aşağıda ankrajlı sistemlerin bazı kullanım alanları maddelenmiştir.



Şekil 3.1 Ankrajların kullanım alanları [17]

- Düşey yer değiştirmelerin önlenmesinde,
- Yapıların dönmeye karşı güvenceye alınmasında,
- Yapıların kritik yüzeyler boyunca kaymaya karşı emniyetinin sağlanmasında,
- Yer altı yapılarının stabilitelerinin artırılmasında,
- Deney sahası dar olan yerlerde kazık yükleme deneylerinde öngerme sağlayan eleman olarak,
- Barajların yükseltilmesinde,

- Dalgakıran ve iskelelerde gemilerin iskele babalarına verdikleri yükün dağıtılmasında,
- Zeminin ön konsolidasyonunun sağlanmasında,
- Yapıların sismik duraylılığının arttırılmasında kullanılır.

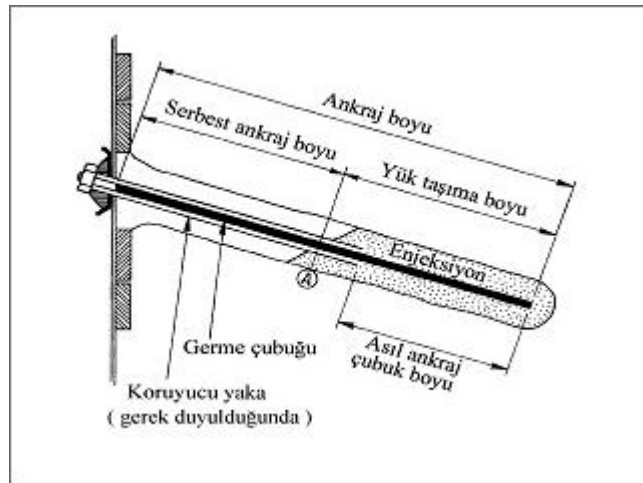
Ankrajlı duvarlarda farklı yapısal elemanlar kullanılabilir. Örneğin püskürtme beton ile fore kazık, yerinde dökme beton perde, destek kazıkları ile birlikte yerinde dökme veya hazır yatay destekli sistemler, püskürtme beton ve ağ veya palplanş duvar olabilir.

Ankraj kullanımının birçok faydası vardır. Bunlardan bazıları aşağıda sıralanmaktadır.

- Yatayda kazı alanı azaltılır.
- Geçici kazı sistemi kalıcı yapının bir parçası gibi kullanılabilir.
- Arka dolgu gerekmemektedir.
- Daha dar kazı yapılarak zeminde örselenme daha az olmaktadır.
- Zemin koşullarında beklenmeyen durumla karşılaşıldığında başka çözüm arayışına olanak tanımaktadır [18].

3.2 Ankraj Elemanları

Zemin ankrajları 3 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar ankraj kafası, serbest ankraj boyu ve ankraj köküdür.

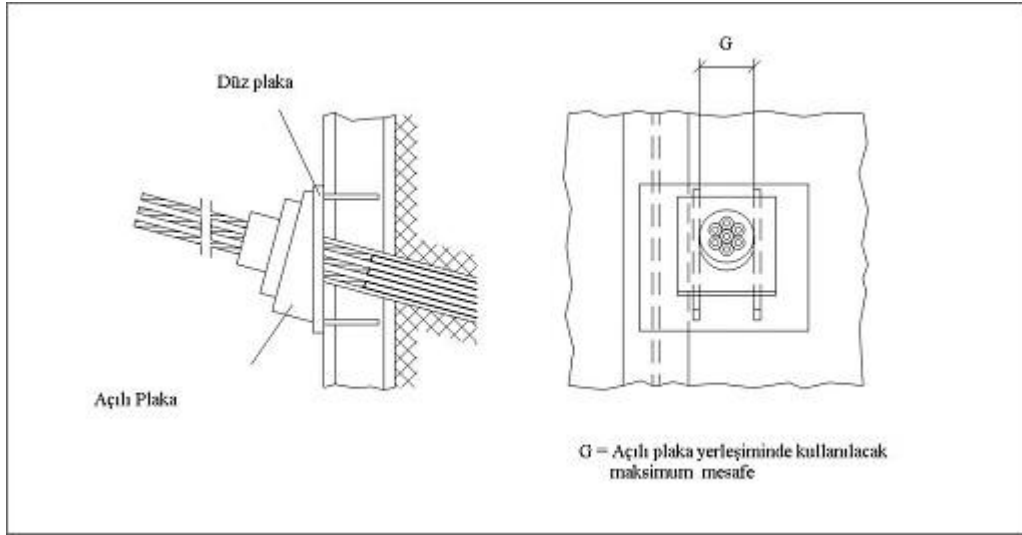


Şekil 3.2 Geçici ankraj modeli

3.2.1 Ankraj Kafası

Başlık plakası ile beraber çalışan bu kısım öngermenin uygulandığı ve servis yüküne gelen ankrajın kilitlenmesinin yapıldığı bölgedir. Öngörme kuvvetinin yüzeye yayılmasını sağlar.

Ankraj kafası, tendonu oluşturan halatların tip ve adetlerine göre boyutlandırılır.



Şekil 3.3 Ankraj kafası detayı [19]

3.2.2 Serbest Ankraj Boyu

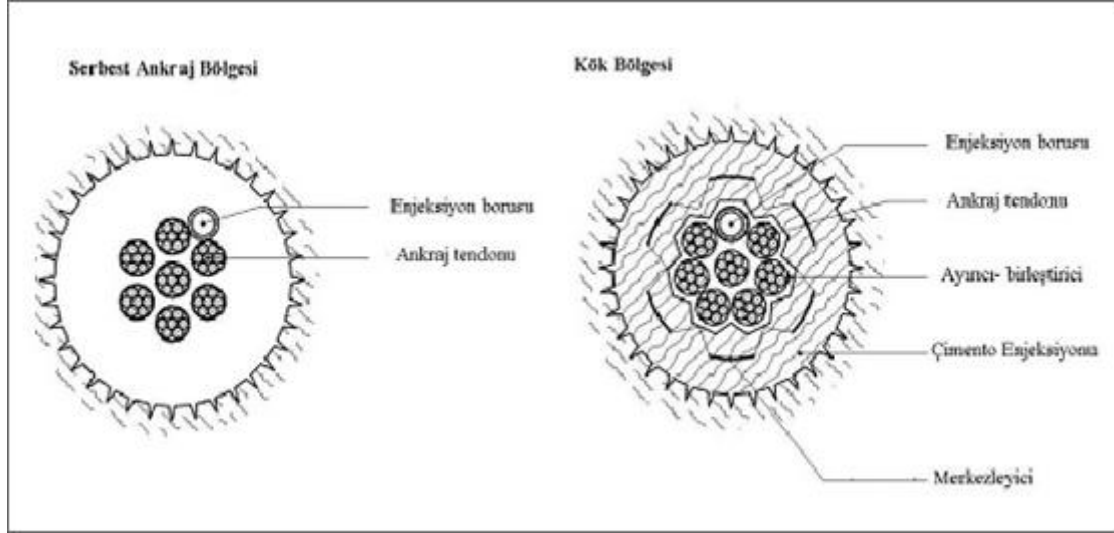
Ankraj gövdesinin başlangıcı ile ankraj kafası arasındaki mesafedir. Başka bir deyişle öngörme kuvvetini kök bölgesine aktaran ve artan gerilmeyle beraber elastik uzama gösteren kısımdır. Serbest ankraj kısmının yapısı ankrajdan beklenen hizmete bağlıdır. Bunlar aşağıda maddelenmiştir [20].

- Ankrajın ömrü (kalıcı veya geçici olarak)
- Korozyon ve mekanik örselenmeye karşı koruma düzeneği
- Çekme kuvvetini her an ölçme olasılığı
- Ankrajın kademeli olarak gerilme gerekliliği
- Zeminin olası enine hareketlerinin karşılanma olasılığıdır.

3.2.3 Ankraj Kökü

Enjeksiyon yapılarak oluşturulan, enjeksiyon-zemin aderansıyla öngerme kuvvetinin sağlam zemine aktarılmasını sağlayan kısımdır. Çimento harcının yüksek basınç altında ankraj deliğine basılarak doldurulması ile kök bölgesi oluşturulur.

Çeliğin ankraj gövdesi içine yerleştirilme şekli zeminin özelliklerine bağlıdır.



Şekil 3.4 Ankraj kök bölgesi detayı [19]

3.3 Ankrajların Sınıflandırılması

Ankrajın taşıma gücü ankrajın geometrisine, kök boyunun çapına, uzunluğuna ve şekline bağlıdır. Ankrajın kök bölgesi çevresinden zemine ilettiği gerilmeler, ankrajın imalat ve enjeksiyon tekniğinden etkilenmektedir. Ankrajlar imalat tekniklerine göre 4 farklı tipe imal edilmektedirler. Şekil 3.5'te ankraj modelleri gösterilmiştir.

3.3.1 A Tipi Ankrajlar

Bu tip ankrajlar genelde kaya veya katı ve sert kohezyonlu zeminlerde kullanılır. Mukavemet, zemin-enjeksiyon yüzeyi arasında oluşan yüzey kayma gerilmelerine bağlıdır. Dayanım, deliğin stabilitesine bağlıdır.

3.3.2 B Tipi Ankrajlar

İyi derecelenmiş kohezyonsuz zeminlerde kullanıldığı gibi, yumuşak çatlaklı kayalarda ve kaba alüvyonlarda da kullanılır.

Kök çevresindeki zeminin kohezyonsuz zeminlerde çimento sızdırmazlığından yararlanarak basınç altında iyice sıkıştırılması ile geniş bir ankraj kökü oluştururlar. Dikkat edilmesi gereken, enjeksiyon basıncının her zaman toplam jeolojik yükten düşük olması gerektiğidir.

3.3.3 C Tipi Ankrajlar

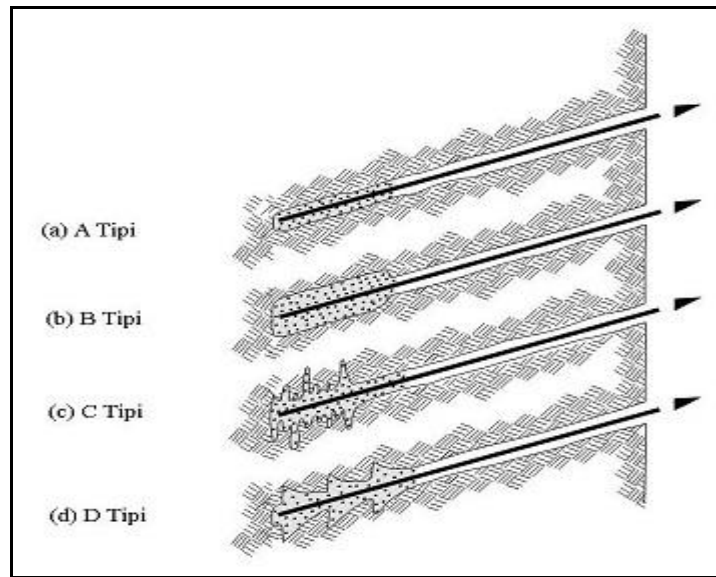
C tipi ankrajlar kohezyonsuz zeminlerde, bazen de kohezyonlu zeminlerde başarılı bir şekilde uygulanır. Üniform bir kayma mukavemetinin ankraj kökü boyunca varolduğu prensibine göre taşıma gücü hesaplanır.

Bu yöntemde ankraj tendonuna bağlı enjeksiyon borularıyla ilk enjeksiyonu takip eden günler ankraj kuyusuna tekrar basınçlı enjeksiyon verilerek önceki enjeksiyon patlatılır. Böylelikle enjeksiyonun zemine doğru kamalanması sağlanır ve enjeksiyon soğanının çapı büyümüş olur.

3.3.4 D Tipi Ankrajlar

Katı kohezyonlu zeminlerde kullanılan bu ankrajlarda, kayma mukavemeti ve uç mukavemeti sıyrılmaya karşı direnci oluşturur.

Mekanik aletlerle ya da patlayıcılarla oluşturulmuş bir dizi kökten oluşan ankrajın enjeksiyonunda Tremie yöntemi uygulanır.



Şekil 3.5 Ankraj modelleri

3.4 Zemin Ankraj İmalatı

Zemin ankrajları, ankraj deliğinin açılması, ankraj demetinin yerleştirilmesi, enjeksiyon yapılması ve öngerme kuvveti uygulanması ile imal edilir. İksa yüzeyinde, zemin koşullarına göre anolar halinde kazı tekniği uygulanır ve makinenin delgi yapabilmesi için projede belirtilen boyda, çapta ve eğimde delik açılır. Delme işlemi özellikle kök bölgesinde hızla yapılır. Burada geçilen zemin formasyonlarına dikkat edilerek zeminin örselenmesi en aza indirilir. Delgi işlemini takiben sahada hazırlanan ankraj demeti, kuyu içerisine kirlenmesine izin verilmeden yerleştirilir. Basınçlı enjeksiyon dışarı taşırılarak ankraj kök bölgesi temiz ve yeterli mukavemette oluşturulacaktır. Ankrajın yüklerini zemine aktaracağı çelik veya betonarme iksa yüzeyi imal edilir. Ankraja öngerme uygulanır.

3.4.1 Delgi Metotları

Delgi yöntemi, kullanılacak makine ve ekipman, malzemelerin cinsi ve miktarı, zemin ve kaya özelliklerine göre değişir. Kohezyonlu zeminlerde sondaj sıvısı ile yapılan delginin gücünde meydana getirdiği azalma dikkate alınacaktır. Delgi yapılacak zeminin teknik bilgilerinin toplanıp araştırılması sonucu aşağıdaki delgi yöntemlerinden hangisinin kullanılacağına uzman ekip tarafından karar verilir.

- Burgu (auger) kullanılarak delgi (hava gerekebilir).
- Kaya matkabı (rock bit) ile delgi (hava veya su gereklidir).
- Üstten vurmali çekiç (top hammer) ile delgi (hava gereklidir).
- İçten vurmali çekiç (down the hole hammer) ile delgi (hava veya köpük gereklidir, bu metot kaya delinmelerinde kullanılır).
- Odex ile delgi (aşırı yüklenmiş zeminlerde uygulanabilir, üstten vurmali çekiç ve DTH çekiç versiyonları mevcuttur).
- Sondaj kılavuzu borusu (muhafaza borusu) ile delgi (bu sistemde muhafaza borusu delik çeperlerindeki olası bir çökmeyi engellediği gibi ayrıca da matkap ucunun ilerlemesini kolaylaştırır. Kılavuz zarf borunun dönüş istikameti, döner matkap ucunun dönüş istikametinin tersinedir).

Ankraj için açılmış olan sondaj deliklerinde kök kısmının ayrıca büyütülmesi ve düzenlenmesi işlemi daha sonra uygulanan bir delgi işlemidir. Bu metot killi zonlarda zemine aktarılan ankraj gerilme kuvvetini pekiştirmek için kullanılır.

3.4.2 Tendonların Hazırlanması

Daha büyük öngerme kuvvetleri uygulamak amacıyla belli bir sayıda telin bir araya getirilip bükülmesinden elde edilen çelik halatlar hem bükülebilme özelliğine sahiptir hem de tellerin mekanik özelliklerinden tam olarak yararlanmayı sağlar.

Zemin ankrajlarında kullanılan çelik halatlar 7 telden oluşmaktadırlar. Aşağıdaki çizelgede öngermeli çelik halat malzemeleri için dayanımları verilmiştir.

Çizelge 3.1 Öngermeli çelik halatların karakteristik dayanımları

Çelik Cinsi	Çap (mm)	Spesifik Dayanım (kN)	Alan (mm ²)
Alaşımsız Çelik			
Tel	7.0	60.4	38.5
7 Telli Örgü Tel	12.9	186	100
	15.2	232	139
	15.7	265	150
7 Telli Süper Tendon	12.7	209	112
	15.2	300	165
	18.0	380	223
Düşük Alaşımlı Çelik Çubuk			
1030/835	26.5	568	552
	32	830	804
	36	1048	1018
	40	1300	1257
	25	600	491
	32	990	804
	36	1252	1018
Paslanmaz Çelik			
Tel	7	44.3	38.5
Çubuk	25	491	491
	32	804	804
	40	1257	1257

3.4.3 Tendonların Yerleştirilmesi

Ankrajların uygulanmasında ikinci işlem tendonun açılan deliğe yerleştirilmesidir. Deliğe yerleştirilen ankraj tendonu çubuk, tel veya halat olmaktadır. Yerleştirme işleminde ankrajın verimli çalışması için tendonun delik merkezinde yer almasına dikkat edilmelidir. Çok halatlı sistemlerde halatların birbirine dolaşması önlenmelidir. Germe esnasında ankraj kafasının dönmesine ve halatlara farklı yükler gelerek kopmamları için, birbirlerine her metrede telle bağlanır ve betonun içinde kalan kısımları tek bir hortumun içinden geçirilir.

3.4.4 Enjeksiyon Yapılması

Ankraj tendonu deliğe yerleştirildikten sonra enjeksiyon işlemine geçilir. Bu enjeksiyon işlemi ile ankraj kökü oluşturulmaktadır. Enjeksiyon ankraj kökleri için yeterli derecede bir tutunma dayanımı sağlamalıdır.

Belirli oranlarda hazırlanan çimento su karışımı şerbeti basınç altında ankrajın kök kısmına püskürtülmektedir. Bu işlem bir enjeksiyon makinesi yardımı ile ankraj tendonu ile birlikte deliğe yerleştirilen hortumlar vasıtasıyla yapılmaktadır. Enjeksiyon basıncı çimento şerbeti zemin boşluklarından kaçmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Enjeksiyon sırasında çimento şerbeti önceden kestirilen miktarı geçtiği takdirde enjeksiyon durdurulmalıdır. 24 saat beklenmeli ve delik yeniden açılmalıdır. Enjeksiyon tekrarlanarak ankraj kökü oluşturulmalıdır. Enjeksiyon basıncı ile kök kısmında oluşturulan beton kütleinin çapı ayarlanmaktadır [7].



Şekil 3.6 Ankraj yapım aşamaları

3.4.5 Öngerme İşlemi

Öngerme işlemi ankraj köküne enjekte edilen çimento şerbetinin gerekli mukavemeti kazanmasından sonra yapılabilir. Yaklaşık olarak en az 6 gün sonra germe işlemi yapılabilir. Eğer katkı maddesi kullanıldıysa bu süre öne çekilebilir. Ankraja öngerme verme işlemi için direkt çekme en uygun yöntemdir.

Kuşak kirişi betonu döküldükten ve dayanım kazandıktan sonra, çelik plaka ve başlık halatların üzerine yerleştirilir. Germe krikosu yardımı ile öngerme işlemi tamamlanır.

3.5 Çok Sıralı Ankrajlı İksa Sistemlerinin Tasarımı

Ankrajlar iksa sistemlerinde yatay destek elemanı olarak kullanılmaktadır. Çok sıralı ankrajların yatay destek elemanları olarak kullanılması durumunda derin kazılarda oluşan toprak basınçları sonucunda bölgede daha az yatay hareketlenme gözlenmiştir.

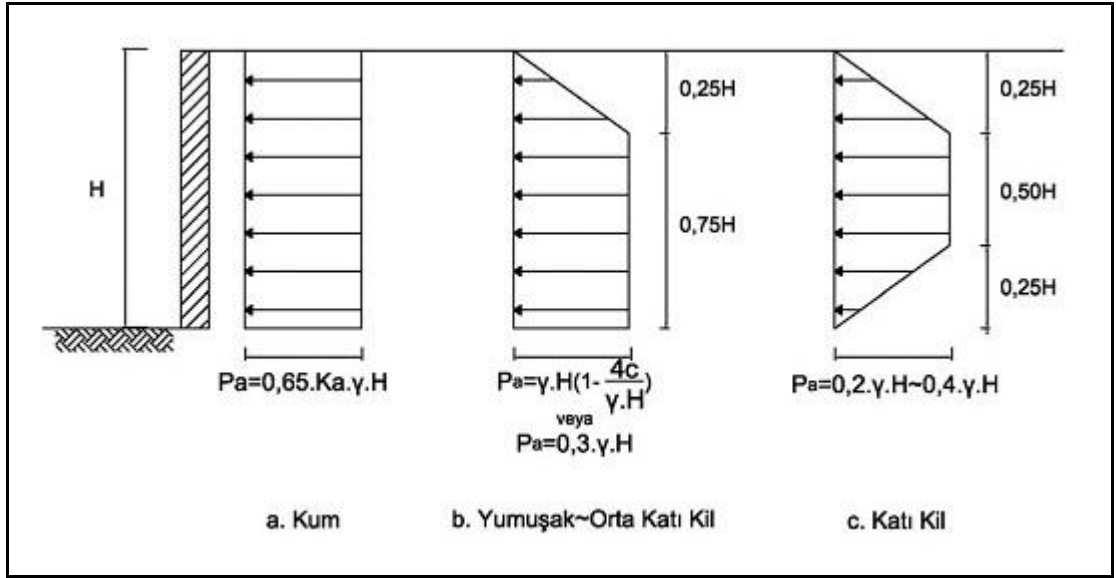
Çok sıralı ankrajlı iksa sistemlerinin tasarımında aşağıdaki yollar izlenmektedir [19].

- İksa sistemine etkiyen toprak basınçlarının belirlenmesi
- Düşeyde ankraj aralıklarının seçimi
- Seçilen ankraj aralıkları için sistemin belirlenen toprak basıncı dağılımı altında sürekli kiriş olarak çözümü
- Söz konusu yük altında oluşan ankraj kuvvetlerinin ve maksimum momentlerinin belirlenmesi
- Ankraj yatay aralıklarının ve eğiminin seçimi
- İksa sisteminin düşey elemanının boyutlandırılması
- Ankraj serbest ve kök boylarının hesaplanması
- Kök boyunun seçimi ve toplam ankraj boyunun hesabı
- Ankraj stabilite tahkikleri
- Yatay destek elemanlarının boyutlandırılması

Ankraj kullanımının artmasıyla zemin ile ankraj arasındaki etkileşimin araştırılması önem kazanmıştır. Ankrajlar için çeşitli taşıma gücü bağlantıları oluşturulmuştur. Bu bağlantılar laboratuvar deneylerinden elde edilen formüller veya analitik bağıntılardan oluşmaktadır.

3.5.1 Çok Sıra Destekli Sistemlerde Toprak Basınçları ve Dağılımları

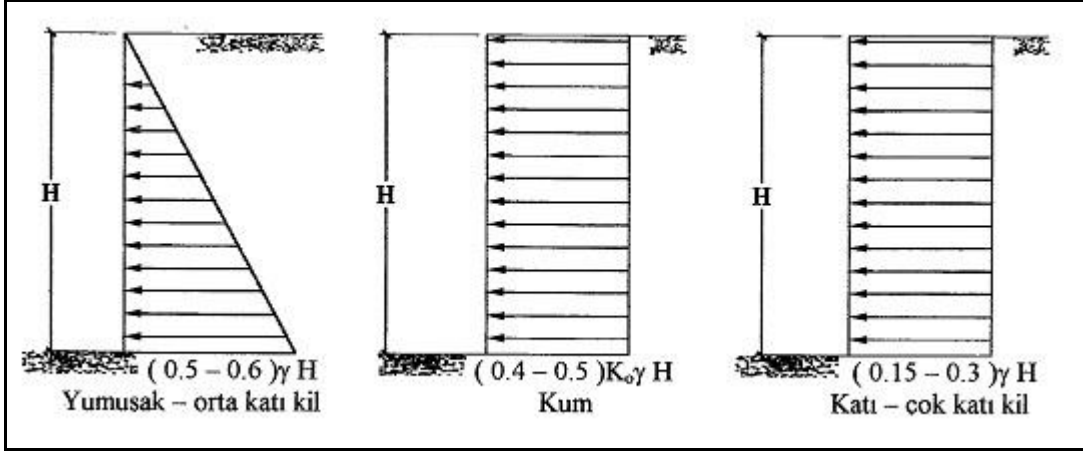
Kazı ve öngörme sırasında ön tarafa veya arka tarafa doğru oluşabilecek toprak basınçları değeri ve dağılımını kestirmek oldukça güçtür. Bu yüzden çeşitli araştırmacılar tarafından toprak basıncı diyagramları geliştirilmiştir.



Şekil 3.7 Terzaghi-Peck (1967) tarafından geliştirilen toprak basıncı dağılımı [21]

Kum için önerilen K_a , Rankine yanal toprak basıncı katsayısıdır. Yumuşak ve orta katı kil için kullanılan c ise zeminin kohezyonudur.

Yukarıdaki toprak basıncı diyagramları, kazı tabanının altında kalan kısım için geçerli değildir. Bunun için kazı derinliği 6m den fazla olmalıdır. Bu diyagramlar kısa süreli yükleme durumu için geçerlidir [17].



Şekil 3.8 Navfac (1988) tarafından geliştirilen toprak basıncı dağılımı [22]

Bu gerilme dağılımları içten destekli duvarlar için belirlenmiştir. Ankraj uygulamalarında gerilmelerin daha yüksek olduğu tahmin edilmektedir.

Gerçek toprak basınçları incelendiğinde Şekil 3.7'de gösterilen Terzaghi-Peck (1969) tarafından önerilen yanal basınçların kullanılması daha uygun olmaktadır.

3.5.2 Ankraj Taşıma Gücü Tahmini

Ankrajlar korozyona karşı korumalı ve yüksek mukavemetli özel çeliklerden yapılmış halatlardan oluşmaktadır. Daha önce de belirttiğimiz gibi üzerine uygulanan gerilmeyi kuvvetini elverişli zemine ileten yapı elemanlarıdır.

Ankrajlar için çeşitli taşıma gücü formülleri geliştirilmiştir. Zemin ankrajlarının taşıma gücünün hesaplanması için zemin, enjeksiyon ara yüzeyinin durumunun tam olarak bilinmesi gerekmektedir. Taşıma gücünü etkileyen başlıca faktörler şunlardır.

- Ankraj çevresindeki zeminin geoteknik özellikleri
- Ankraj üzerinde bulunan jeolojik yük
- Ankraj kökünün boyutu ve şekli
- Beton enjeksiyon basıncı
- Ankrajda gerilme-şekil değiştirme bağıntısı
- Sondaj metodu ve ekipmanları

Ankraj taşıma gücü birçok parametreye bağlı olduğundan hesapla bulunan değerler gerçekçi olmayabilir. Daha doğru sonuçlar elde edilmesi için ankraj yükleme deneyinin yapılması gerekmektedir.

3.5.2.1 Kayada Ankraj Taşıma Gücü Tahmini

Kayada ankrajlarda tasarım üniform çevre sürtünmesi değeri üzerine kurulmuştur. A tipi ve D tipi ankrajlar kayalarda kullanılmaktadır. Kök kısmının taşıma gücü formülü;

$$P_u = \pi \cdot d_s \cdot L_o \cdot \delta \quad (3.1)$$

Bağıntısıyla verilir. Burada;

L_o : Ankraj kökündeki enjeksiyon boyu

d_s : Delinen shaft çapı

δ : Enjeksiyon – kayaç kesiti dayanımı

Aşağıda bazı kayaçlar için kök sıyrılma değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 Bazı kayaçlar için kök sıyrılma değerleri (NAVFAC 1983)

Kayaç Tipi (sağlam, bozulmamış)	Ankraj Kökünde Son Kayaç-Enjeksiyon Gerilmesi (δ) (kPa)
Granit ve Bazalt	1725-3100
Kireçtaşı	2070-2760
Dolomit Kireçtaşı	1380-2070
Yumuşak Kireçtaşı	1035-1520
Kayrak ve Sert Şeyl	830-1380
Yumuşak Şeyl	205-830
Kumtaşı	830-1035
Tebeşir	205-1035
Marn (sert, gevşek, fisürlü)	170-250

Çizelge 3.3 1m Uzunluk için kökte son taşıma gücü (kN/m) (FHWA, 1998)

Zemin Cinsi		Son Taşıma Gücü (kN)	Zemin Cinsi	Son Taşıma Gücü (kN)
Kum-Çakıl	Gevşek	145	LL, PI, LI kısıtlamalarıyla (katı)	30
	Orta Sıkı	220	Silt-Kil karışımları veya İnce Mikalı Kum veya Silt karışımları (çok katı)	60
	Sıkı	290		
Kum	Gevşek	100	Granit veya Bazalt	730
	Orta Sıkı	145	Dolomit Kireçtaşı	580
	Sıkı	190	Yumuşak Kireçtaşı	440
Kum-Silt	Gevşek	70	Kumtaşı	440
	Orta Sıkı	100	Sleyt ve Sert Şeyl	365
	Sıkı	130	Yumuşak Şeyl	145

3.5.2.2 Granüler Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücünün Tahmini

Kumlu zeminlerde genellikle B ve C tipi ankrajlar uygulanmaktadır. Granüler zeminlerde kök, yüksek veya düşük basınçlı enjeksiyon şeklinde uygulanabilir.

Ankraj kökünün yüksek basınçlı enjeksiyonla oluşturulduğu durumlarda;

$$T_{ult} = 1,5 \cdot (L_k \cdot \text{tg}\phi) \cdot \pi \cdot D \cdot p'_o \quad (3.2)$$

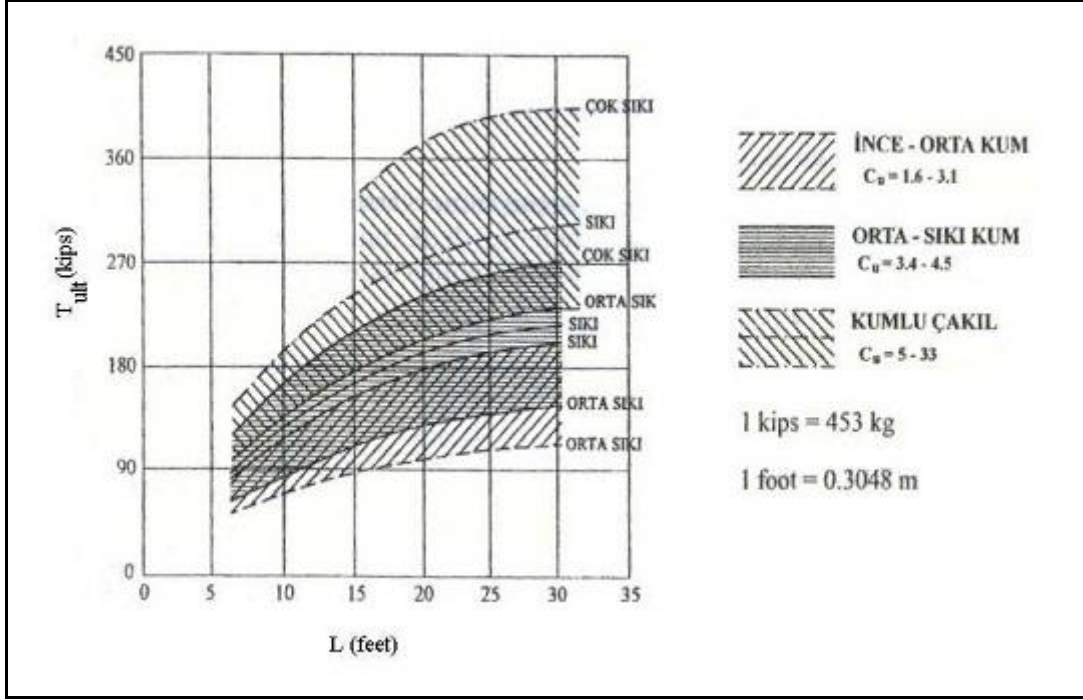
bağıntısı kullanılabilir. Burada;

D: Kök çapı

ϕ : İçsel sürtünme açısı

p'_o : Ankraj kök uzunluğunun ortasındaki düşey gerilme

Bu bağıntı zeminin sıkılığına ve ankraj kök uzunluğuna bağlıdır. Aşağıdaki şekilden elde edilecek değerler bağıntıdan elde edilecek T_{ult} değerini aşmaması gerekmektedir.



Şekil 3.9 Granüler zeminlerde ankraj son taşıma gücünün zemin türü, sıklık ve kök boyu ile değişimi (NAVFAC 1988) [22]

3.5.2.3 Kohezyonlu Zeminlerde Ankraj Taşıma Gücü Tahmini

Killi zeminlerde ankrajların yük taşıma kapasiteleri düşüktür. Bu tip zeminlerde,

- Ankraj köklerinde çan tipi bir bölge yaratılarak,
- Yüksek basınçlı enjeksiyon kullanılarak,
- Burgu ile açılan deliklerde çimento enjeksiyonu ve çakıl enjeksiyonu kullanılarak yük taşıma kapasitesi artırılabilir.

Kohezyonlu zeminlerde başka bir önemli konu da delme, genişletme ve enjeksiyon işlemlerinin süresidir. Suyun yumuşatma etkisinden etkilenmeyecek kadar kısa olmalıdır. Bu sürede yaşanacak gecikmeler ankraj taşıma gücünü olumsuz etkiler. Böylelikle büyük öngerme kayıpları yaşanır [23].

3.5.3 Ankrajların Tasarım Kriterleri

Ankrajların tasarımında yapılması gereken hesap adımları arasında düşeyde ankraj aralıklarının seçimi, seçilen ankraj aralıkları için sistemin belirlenen toprak basıncı dağılımı altında sürekli kiriş olarak çözümü, sistemde söz konusu yük altında oluşan

ankraj kuvvetlerinin ve maksimum momentlerin belirlenmesi, yatayda ankraj aralıklarının seçimi, ankrajların serbest boylarının ve kök boylarının hesabı bulunmaktadır.

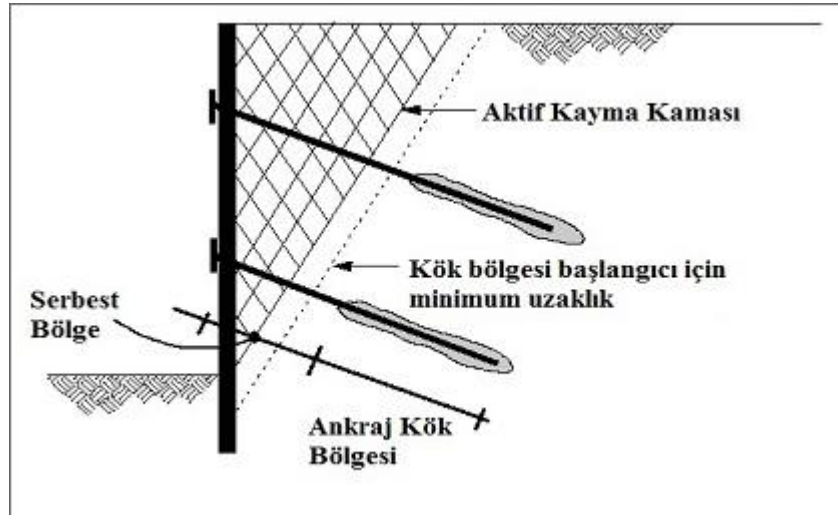
3.5.3.1 Ankraj Aralığının Belirlenmesi

Ankrajların boyutlandırılmasından önce iksa sisteminin analizinden ankraj kuvvetleri elde edilir. Her sıra ankrajın güvenli taşıma gücü bulunur. Sonrasında ankrajın taşıyabileceği maksimum kuvvet hesaplanır. Ankraj yatay ve düşey aralıkları, ankraj kök çapının 4-5 katı veya en az 1.5m aralıklı olarak yerleştirilmelidir.

Sahada uygun imalat ve enjeksiyonun yapılması için ankraj yatay doğrultudan 15° eğimli düzenlenmesi gerekmektedir. Ankrajlara yer altı yapılarını ve yapı temellerinin olumsuz etkilemeyecek şekilde eğim verilmesi gereklidir. Daha büyük açılarda ankraj kuvvetinin düşey bileşeni değerlendirilmelidir.

3.5.3.2 Ankraj Serbest Boyu ve Kök Boyunun Belirlenmesi

Ankrajların serbest boyu hesaplanırken; kökün duraylılık analizlerine göre bulunacak aktif kayma kaması dışında kalması sağlanmalıdır. Kök Rankine aktif yüzeyinden $1/5 H$ (min 1.5m) kadar uzakta ve ona paralel bir yüzeyin dışında kalmalıdır. Duvar yüzünden köke kadar eğik serbest boyu en az 4.5m olmalıdır.



Şekil 3.10 Öngermeli ankraj tasarımı

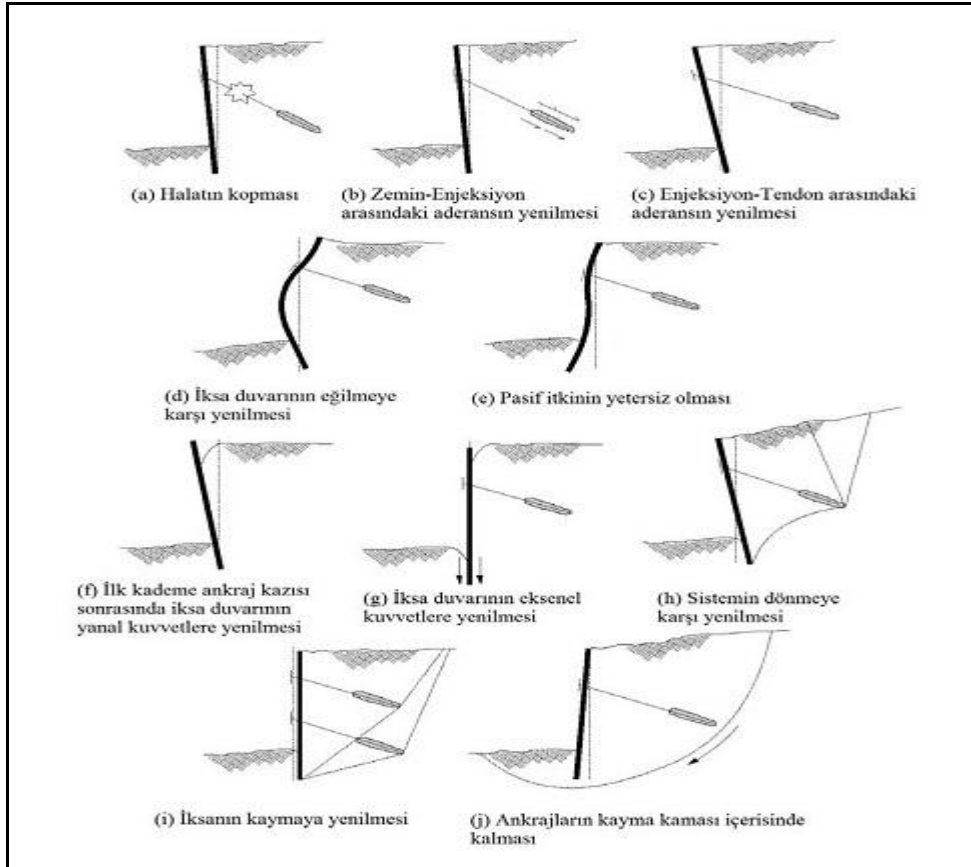
Ankraj kök uzunluğu ise kaya zeminlerde 3-10m arasında olabilir. Kök boyunca kayanın niteliğinde ani bir düşüş, ciddi miktarlarda yük taşıma gücünü düşürebilir. Kohezyonsuz ve kohezyonlu zeminlerde yapılan ankrajların kök boyları da 3-10m arası olabilir.

Ankraj kökleri arasında etkileşimi sınırlamak için ankraj köklerinin merkezden merkeze olan uzaklıkları, D ankraj kökünün en büyük çapı olmak üzere $4D$ 'den az olmamalıdır. Uygulamada min aralık 1.5m ile 2m arasında değişmektedir.

Bir ankrajın kök kısmı ile komşu temel ya da yer altı yapısı arasındaki uzaklık 3m den az olmalıdır. Üstünde yüzeysel temel bulunması halinde ankraj kök kısmının derinliği 5m ya da daha fazla olmalıdır.

3.5.4 Ankrajlarda Stabilité Tahkikleri

Ankrajların güvenli taşıma gücü hesabı için kullanım sürelerinin bilinmesi gerekmektedir. Güvenli taşıma gücünü belirlerken aşağıdaki durumlar dikkate alınmalıdır.



Şekil 3.11 Ankrajlı iksa sistemlerinin yenilme durumları (FHWA-IF-99-015, 1999) [17]

Ankrajlı sistemin güvenli olarak yükü taşıyıp taşıyamayacağını saptamak için Şekil 3.11' de verilen durumları birbirleriyle bağlantılı bir şekilde sorgulayıp, yükün yapım yöntemindeki değişikliklerden nasıl etkilendiğini kavramak gerekmektedir.

Anrajlı sistemde duvar boyutları, serbest ankraj uzunluğu, ankraj kökü genel stabiliteyi sağlayacak şekilde belirlenmelidir. Bu parametreler hesaplandıktan sonra stabilite tahkikleri yapılmalıdır.

3.5.4.1 Çelik Halatta Kopma

Ankraj yüklemesi sonucu halatlara gelen yük yapısal taşıma gücünü aştığında çelik halatlarda kopma gözlenebilir. Bu yüzden kopmaya karşı bir güvenlik sayısına gerek vardır. Ankraja gelecek yük halat kopma yükünün 0.6 katını, ankraj deneylerinde ise 0.8 katını geçmemelidir.

3.5.4.2 Zeminde Göçme

Ankrajların taşıdığı yükün, kök bölgesi ile zemin kütlesi arasında oluşan sürtünme kuvvetini yenmesi sonucu kök çevresinde zemin kitlesinin kopması söz konusu olabilir.

Sığ ankraj köklerinde, kök önünde bir bölgede kabarma ile başlayan ve pasif göçme ile sonuçlanan bir hareket görülebilir. Pratik olarak 5m den daha derinde kökü olan ankrajlarda bu tür göçme çok az görülür.

3.5.4.3 Enjeksiyon – Tendon Sıyrılması

Araştırmalar enjeksiyon–tendon sıyrılmasının enjeksiyon basınç dayanımı ile doğrudan ilgili olmadığını göstermektedir. Diğer yandan tendonun enjeksiyon içerisindeki uzunluğunun artırılması sıyrılma yükünün aynı oranda artacağını göstermemektedir.

Adezyon, sürtünme ve mekanik kilitleme ile tanımlanan üç ayrı bileşenin tendonun enjeksiyondan sıyrılmasını sağladığı bilinmektedir.

3.5.4.4 Enjeksiyon – Zemin Sıyırılması

Ankraj köküne yük iki biçimde aktarılabilir. İlk olarak tendon enjeksiyon içine gömülüdür ve yük uygulanınca enjeksiyon-zemin ara yüzeyinde kayma ve normal gerilmeler oluşmaya başlar. Bu gerilmeler kökün üst ucundan alt tarafa doğru giderek gelişir. Yani enjeksiyonda çekme gerilmesi ve çatlak oluşabilir.

Granüler zeminlerde kök basıncı artırılarak ankraj deliğinin çapı artırılabilir. Kohezyonlu zeminlerde genişletilmiş çan şeklinde bir uygulama yapılabilir.

3.5.4.5 Derin Kayma ve Toptan Göçme Tahkikleri

Ankrajlı sistemlerde duvar ile zeminin birlikte dengede olabilmesi için ankraj kökünün sağlam bir kayaya oturması gerekmektedir. Eğer zemin elverişsiz ise kök zemin kayma kamasının dışına yerleştirilmelidir. Genellikle Coulomb kayma yüzeyi tercih edilmektedir.

Eğer ankrajlı sistemde perde ile ankraj dengesi sağlanamaz ise iki durumda göçme meydana gelebilir. Bunlardan birincisi kayma yüzeyi boyunca oluşan sistemin kayması, ikincisi ise ankraj uçlarından perde ucuna doğru bir kayma düzlemi meydana gelmesi ve ankrajların boşalması sonucu perdenin devrilmesidir.

Ankrajlı bir perdenin derin kayma tahkiklerini yaparken Kranz yöntemi tek sıralı ankrajlı perdelerde uygulanabilir bir yöntem geliştirilmiştir. Bu metotta sistemin dengede olabilmesi için sisteme etkiyen kuvvetlerin, ankraj kuvveti doğrultusundaki bileşkeleri toplamı hesaptaki ankraj kuvvetinin en az 1.5 katı fazlası olması gerekmektedir. Aksi takdirde ankraj boyunun uzatılması ve tekrar hesap yapılması gerekmektedir. Kranz'ın tek sıralı ankrajlı perdeler için geliştirmiş olduğu stabilite tahkiki metodu, Ostermayer ve Panke tarafından geliştirilerek çok sıralı ankrajlı perdeler için kullanılmıştır.

Toptan göçme tahkikleri yapılırken ankrajlı perde ile zemin bir bütün olarak kabul edilir. Toptan göçmede zemin kütesinin sillindirik kayma daireleri ile yapılan tahkik metotlarından en bilinenleri Fellenius, Krey ve Bishop metotlarıdır. Bu metotlarda kayma daireleri küçük dilimlere ayrılır ve her biri için ayrı ayrı hesaplar yapılır. Ankrajın kayma dairesini kesmesi durumunda ankrajlar hesaba dahil edilmezler.

SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE PLAXIS PROGRAMI

4.1 Giriş

Sonlu elemanlar yöntemi (SEY) bir sınır değer problemin yaklaşık çözümünü elde etmek için kullanılan sayısal bir yöntemdir. SEY karmaşık şekillerde, farklı malzeme özelliklerine sahip sistemlerin çözülmesine imkan sağlar.

Diferansiyel denklemler çözüm bölgesinde farklı noktalarda elde edilen büyüklükleri içeren cebrik denklem takımlarına dönüştürülerek yaklaşık olarak ifade edilirler. SE denklemleri yaklaşık çözümlerde hatayı minimize edecek şekilde formüle edilir ve çözülür [24].

İlk olarak 1950'li yılların başında inşaat mühendisliğinde kullanılan bu yöntem bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem kullanılırken bilgisayara ihtiyaç duyulmaktadır. Yöntemde esas olan bilgisayara girilen verilerin doğruluğudur. Çünkü elde edilen sonuç verilerin doğruluğuna bağlı olarak değişmektedir. Buradan da anlaşılacağı üzere yanlış veriler yanlış sonuçları doğurmaktadır.

Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan problemlerde yaygın biçimde kullanılan yöntemin, belli aşamalar takip edilerek sonuca ulaştığı görülmektedir. Öncelikle problemin belirlenmesi gerekmektedir. Problemin türüne göre analiz sonuçları olarak gerilmeler, yer ve şekil değiştirmeler, boşluk suyu basınçları ve zemin suyu akım miktarı hızı ve akım potansiyeli gibi bilinmeyenler elde edilebilir [25].

Yapı ve zemin etkileşiminin göz önüne alındığı SEY’de karmaşık kazı geometrilerinin tüm yapım aşamaları tek tek modellenebilmektedir. Bu yöntemde iki boyutlu ve üç boyutlu çözümler yapılmaktadır.

Sonuç olarak, modellenen sistemde meydana gelen deformasyonların hesaplanmasında büyük kolaylık sağlamaktadır.

4.2 Plaxis Programı

Plaxis programı geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizi için geliştirilmiş bir sonlu elemanlar programıdır. Program, grafik bilgi girişine olanak sağlamasının yanında analizlerin gerçekleştirildiği hesap programı ve analiz sonuçlarını grafik olarak sergileyebilen çıkış programına sahiptir. Böylece sonuçlar hem grafik hem de tablolar halinde görüntülenebilmektedir.

Plaxis programı 1987 yılında Delft Teknik Üniversitesinde Hollanda Kamu işleri ve Su Yönetimi Bakanlığı girişimi ile geliştirilmeye başlanmıştır. Plaxis’in ortaya çıkışındaki amaç üç boyutlu SEY ile akarsu dolgularını analiz edecek kolay kullanımlı bir program geliştirilmesidir. Daha sonra program geoteknik alanındaki birçok problemde kullanılmak üzere geliştirilmiştir.

Plaxis ile analiz edilmek istenilen problemin ilk olarak sayısal modelinin oluşturmak gerekmektedir. Sayısal modeli elde etmek için noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşan bir grafik model oluşturulur.

4.3 Zemin Bünye Modelleri

Sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizlerde bünye bağıntılarına gerek duyulmaktadır. Bünye bağıntıları zemin türüne göre modellenen, ortamı ifade eden matematiksel eşitliklerdir. Gerilme-şekil değiştirme probleminin analizinde malzemenin elastik davranışını ifade etmek için Hook Yasası kullanılırken, zemin suyu problemlerinin analizinde Darcy Yasası kullanılmaktadır.

Zemin malzemesinin yük altındaki gerilme şekil değiştirme davranışı doğrusal olmayan davranış göstermekte olduğundan bünye davranışını ifade etmek için Hook Yasası’ndan

daha karmaşık bünye bağıntılarına ihtiyaç vardır. Zemin malzemesinin çok küçük gerilme seviyelerinde plastik (kalıcı) şekil değiştirmeye maruz kaldığı bilindiğinden zemin malzemesinin yük altında şekil değiştirme davranışını gerçeğe yakın modellemek için elasto-plastik bünye modellerinin kullanılması gerekmektedir. Mohr-Cloumb, Cam-Clay, Soft-soil, Hardening Soil modelleri bunlardan bazılarıdır.

Mohr-Cloumb (MC) modeli basit ve açık bir modeldir. Çoğu pratik problemlere uygulanabilir. Zemin ve kaya davranışının ilk sırada modellenmesini sağlar. Her aşamada sabit ortalama rijitlik kullanılır. Böylelikle hesaplamalar daha hızlı bir şekilde gerçekleşir. MC modelinde elastik davranışı modellemek için E (Elastisite Modülü) ve ν (Poisson Oranı), plastik davranışı modellemek için c (Kohezyon), ϕ (Kayma Mukavemeti Açısı) ve ψ (Genleşme Açısı) kullanılır. Bu parametreler zeminin başlangıç koşullarının belirlenmesinde önemli bir rol oynar.

Soft-soil (SS) modeli, Cam clay modelinden sonra geliştirilmiştir. Killi zeminlerde kullanılmaktadır. Bu model aşırı konsolidasyon oranı $AKO < 2$ olan yumuşak zeminlerin davranışını daha iyi modelleyebilmek için geliştirilmiş izotropik, elasto-plastik, şekil değiştirme pekleşmeli bir modeldir.

Modeli tanımlamak için yedi zemin parametresine ihtiyaç vardır. Bunlar MC modelinde olduğu gibi c (Kohezyon), ϕ (Kayma Mukavemeti Açısı), ψ (Genleşme Açısı) ve diğerleri C_c (Sıkışma İndisi), C_s (Şişme İndisi) ve e (Boşluk Oranı)'dır.

Bu tez çalışması analizlerinde Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness (HSsmall) modeli kullanılmıştır. Bu model aşağıda daha detaylı anlatılmıştır.

4.3.1 Hardening Soil Model with Small-Strain Stiffness

Elasto-plastik bünye modellerinin kullanıldığı Hardening Soil modeline dayanır. HS modeline göre çok daha kapsamlı sonuçlar vermektedir.

En küçük gerilme seviyesinden büyük gerilme seviyelerine kadar hassasiyetle analiz yapılmaktadır. HS modelinde olduğu gibi elasto-plastik zemin davranışını tanımlamaktadır.

HSsmall model zeminin gerilmeye bağılı davranışını modellemektedir. Modelde üç farklı elastisite modülü kullanılmaktadır.

Kullanılan parametreler;

E_{50}^{ref} = Drenajlı üç eksenli deneyde referans sekant rijitliği

E_{oed}^{ref} = Başlangıç ödometre yüklemesi için referans tanjant rijitliği

E_{ur}^{ref} = Yükleme/boşaltma rijitliği

MC modelinde kullanılan c (Kohezyon), ϕ (Kayma Mukavemeti Açısı) ve ψ (Genleşme Açısı) parametreleri bu modelde de zemin tanımlanmasında kullanılmaktadır.

HSsmall modeli ile yapılan analizlerde gerçeğe daha yakın sonuçlar elde edilmektedir. HS modelindeki parametrelerden farklı olarak analizde iki farklı değer kullanılmaktadır.

Bunlar;

$\gamma_{0.7}$ = Maksimum Kayma Modülünün %70'ine Karşılık Gelen Kayma Şekil Değiştirmesi

G_o^{ref} = Maksimum Referans Kayma Şekil Değiştirmesi

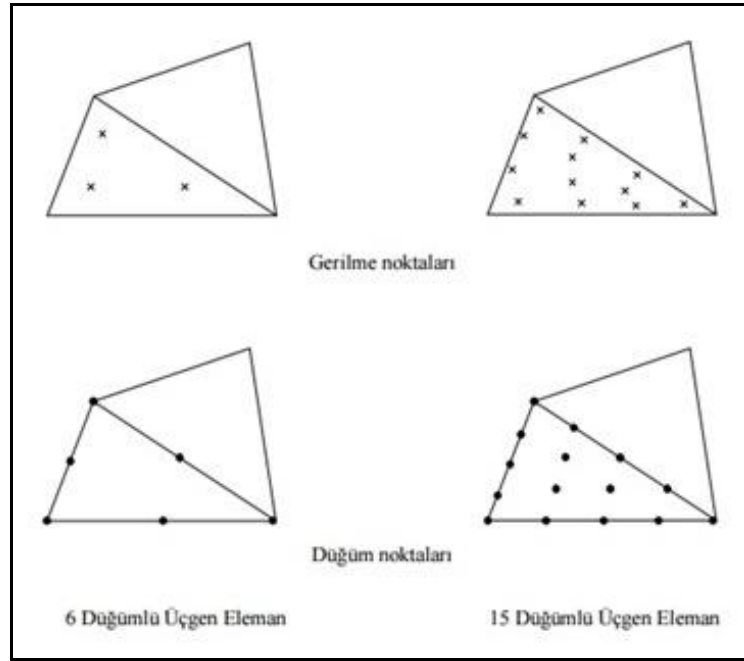
Karmaşık kazıların modellenmesinde kullanılır. Hem yumuşak hem de katı zeminlerde kullanılabilir. MC ve HS modellerine göre daha gelişmiştir. Modelde plastisite teorisi kullanılış, zeminin genleşmesi dikkate alınmış ve akma davranışı bir akma başlığı ile tanımlanmıştır.

4.4 Plaxis'de kullanılan sonlu eleman tipleri

Plaxis ile analiz edilmek istenilen bir problemin ilk olarak sayısal modelini oluşturmak gerekmektedir. Sayısal model, genellikle yarı sonsuz olan çözüm bölgesinin sonlu elemanlara ayrılmış durumunu ifade eder. Sayısal modeli elde etmek için noktalardan, çizgilerden ve hücrelerden oluşan bir grafik model oluşturulur. Grafik model oluşturmak için Plaxis input modul olarak adlandırılan bir ara yüz programdan yararlanılır. Sayısal model, farklı zemin tabakalarını, yapısal elemanları, inşa aşamalarını ve ortamdaki tüm yükleri ve sınır koşullarını kapsamalıdır. Yarı sonsuz problemlerde modelin sınırları sonuçları etkilemeyecek boyutlarda seçilmelidir [27].

4.4.1 Zemin elemanlar

Sonlu elemanlar ağının oluşturulması sırasında, zemin ortam iki boyutlu üçgen elemanlara ayrılır. Programda, 6 ve 15 düğüm noktalı iki farklı üçgen eleman bulunmaktadır. Aynı sonlu elemanlar ağında, 15 düğüm noktalı elemanlar, 6-düğüm noktalı elemanlara göre daha hassas çözüm yapabilmektedirler. Sonlu elemanlar analizinde, yer değiştirmeler düğüm noktalarında, gerilmeler ise düğümler yerine her bir Gauss-noktasında (veya gerilme noktasında) hesaplanmaktadır.



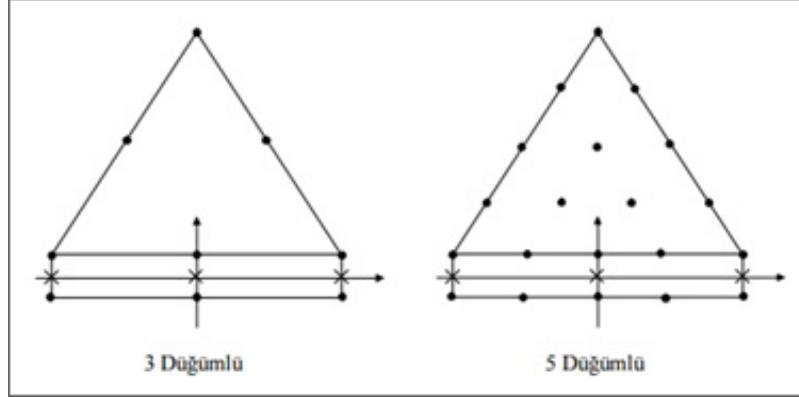
Şekil 4.1 Zemin elemanlarındaki düğüm ve gerilme noktalarının pozisyonu

4.4.2 Plak elemanlar

Programda; duvar, plak ve temel gibi yapı elemanları 3 ve 5 düğüm noktasına sahip iki farklı kiriş eleman kullanılarak tanımlanır. Analizlerde eğer 6 düğümlü zemin elemanı kullanılıyorsa, 3 düğümlü kiriş eleman, 15 düğümlü zemin elemanı kullanılıyorsa, 5 düğümlü kiriş eleman kullanılmaktadır. Kiriş elemanı önceden tanımlanan eğilme momenti veya maksimum aksenal kuvvete ulaştığında plastik hale gelmektedir. Kiriş elemanların malzeme özelliği olarak programa eğilme rijitliği (EI) ve aksenal rijitlik (EA) değerleri girilmektedir.

4.4.3 Arayüz elemanlar

Yapı ile zemin veya donatı ile zemin arasındaki etkileşimi modellemek için arayüz elemanlar kullanılır. Arayüz elemanlarının, zemin elemanlarına nasıl bağlandığı Şekil 4.1'de görülmektedir. Ara yüzey elemanları, 6 düğüm noktalı zemin elemanları kullanıldığı durumda 3 düğümlü, 15 düğüm noktalı zemin elemanları kullanıldığı durumda ise, 5 düğümlü olarak tanımlanır.



Şekil 4.2 Arayüz elemanlarının zemin elemanlarına bağlanması

Yapı ile zemin veya donatı ile zemin arasındaki etkileşim, ara yüzey elemanı için uygun bir mukavemet azaltma faktörü (R_{inter}) seçilerek modellenmektedir. Bu faktör, ara yüzey mukavemeti (çeper sürtünmesi ve adhezyon) ve zemin mukavemeti (sürtünme açısı ve kohezyon) ile ilişkilidir.

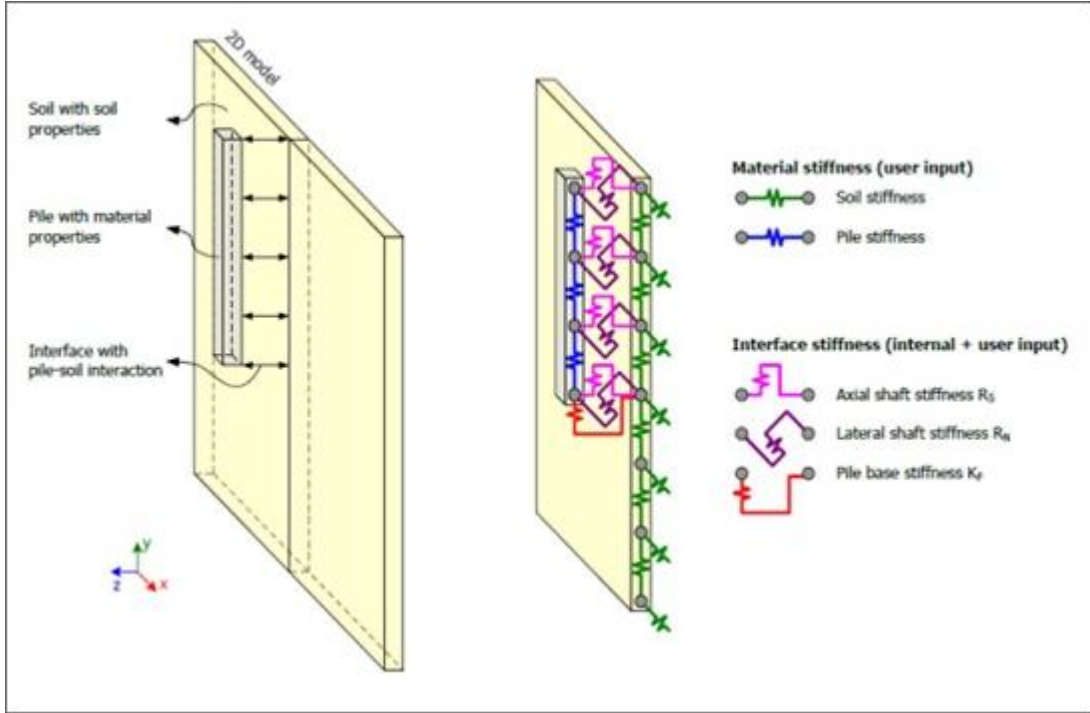
4.4.4 Node to node anchor elemanlar

Plaxis'te derin kazı modellemelerinde kullanılan zemin ankrajları serbest boy ve enjeksiyonlanmış kök bölgesinin birleşiminden oluşmaktadır.

Ankraj serbest boy bölgesi node to node anchor kullanılarak modellenir. Perdeden aldığı yükü direkt kök bölgesine iletir. Başka bir deyişle ankraj kökünü perde ile birleştiren serbest boyu ifade eder. Çevre zemin ile etkileşimi yoktur.

4.4.5 Ankraj kökü

Plaxis'te Ankraj kök bölgesi aşağıdaki opsiyonlardan biri ile modellenebilir.



Şekil 4.4 Gömülü kazık elemanlar

ÖNGERME ANKRAJLI DAYANMA YAPILARININ SAYISAL ANALİZLERLE İNCELENMESİ

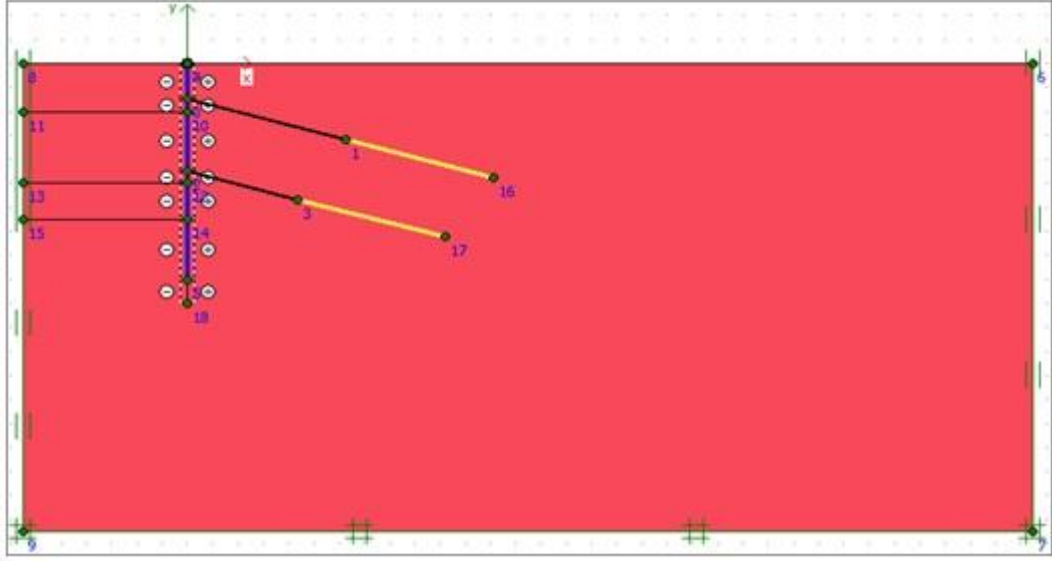
5.1 Giriş

Bu tez çalışmasında, kazılarda ortaya çıkan zemin hareketlerinin incelenmesi için bir diyafram duvar ve iki sıra öngermeli ankrajlar ile desteklenmiş bir derin kazının sonlu elemanlar yöntemi ile parametrik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizlerde değişken parametre olarak ankraj kök uzunluğu, öngerme kuvveti ve ankraj taşıma gücü göz önüne alınmıştır. Analizler Plaxis 2012 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Sayısal analizlerde homojen bir zemin ortamı gözönüne alınmış olup perde arkasındaki yüzey oturmalarının mesafe ile değişimini gerçeğine daha uygun bulabilmek için bünye davranışı için Hardening Small Strain (HSS) model kullanılmıştır. Gerçekleştirilen analizlerin ayrıntıları aşağıda sunulmuştur.

5.2 Sayısal Modeller

Sayısal modellerde ankraj kök uzunluğu 6m ve 8m olarak gözönüne alınmıştır. Buna göre kök uzunluğu 6m olan model M1, kök uzunluğu 8m olan is M2 olarak isimlendirilmiştir. Her bir modelde ankrajlara üç farklı öngerme kuvveti (0, 100kN ve 150kN) ve dört farklı çevre sürtünmesi uygulanmıştır (40 kN/m, 60 kN/m, 100 kN/m ve 150 kN/m). Her durumda kazı derinliği ve zemin parametreleri sabittir. Sayısal analizlerde zemin ortamı için drenajlı malzeme davranışı gözönüne alınmış olup

malzeme parametreleri Çizelge 5.1’de gösterildiği gibi tanımlanmıştır. Analizleri gerçekleştirilen sayısal modelin geometrisi Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Ankrāj destekli sistemin geometri modeli

Şekil 5.1’de görüldüğü gibi üç kazı kademesi ve iki sıra öngermeli ankrāj mevcuttur. Ankrājlar 15° ’lık açı ile yerleştirilerek, aralıkları 2m olarak girilmiştir. Ankrāj kökleri olası göçme yüzeyinin arkasında kalacak şekilde oluşturulmuştur. Sayısal modellerde ankrājlara hesaplanan taşıma kapasitelerine göre öngörme kuvvetleri uygulanmıştır.

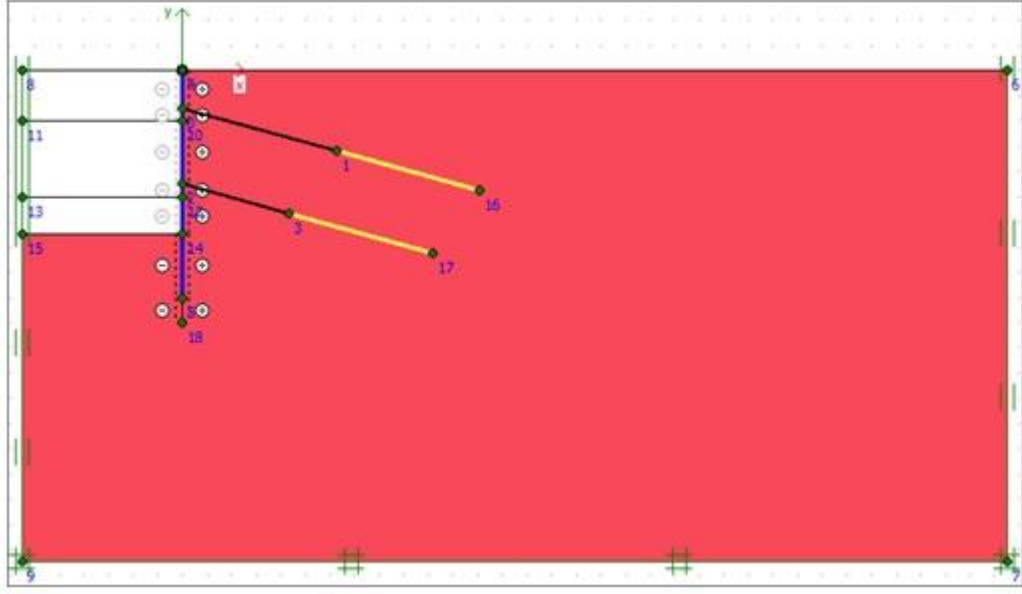
Sayısal analizler, arazide böylesi bir destekli kazı için izlenecek aşamalara göre gerçekleştirilmiş olup hesap adımları sırası ile

I. Diyafram perde inşası ve birinci kademe kazı

II. İlk sıra ankrāj imalatı yapılarak öngörme uygulanması ve II. kademe kazı yapılması

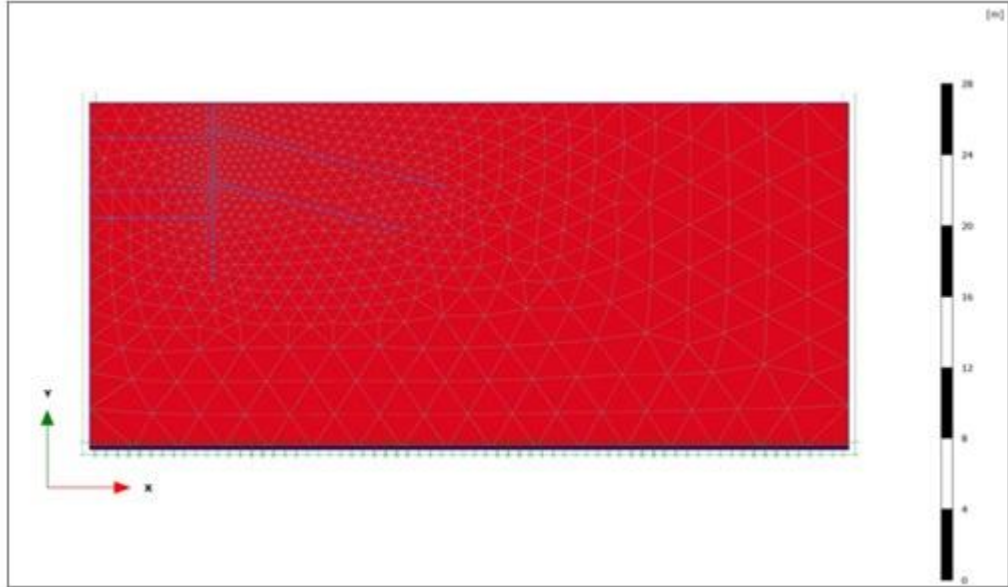
III. İkinci sıra ankrāj imalatı yapılarak öngörme uygulanması ve III. kademe kazı yapılması

Kazının tamamlandığı durum için gözönüne alınan destekli kazı modeli Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2 Kazının tamamlandığı durum için sayısal model

Sayısal analizlerde düzlem şekil değiştirme idealizasyonunu gözönüne alan 15 düğüm noktalı üçgen elemanlar kullanılmıştır. Sonlu elemanlar ağı Plaxis programı tarafından otomatik olarak oluşturulmakta olup Şekil 5.3'te gösterildiği gibi kazı bölgesinde inceltilmiştir.



Şekil 5.3 Sonlu elemanlar ağı

Sayısal modellerde duvar ile zemin arasındaki zemin-yapı etkileşimini gözönüne almak için ara yüzey elemanlar yerleştirilmiştir.

5.3 Malzeme Parametreleri

Analizlerde malzeme modeli için Hardening Small Strain Soil Model kullanılmış olup modeller için drenajlı durumun geçerli olduğu varsayılmıştır. Çizelge 5.1’de kazının gerçekleştiği zemin ortamının malzeme parametreleri verilmiştir. H=6.5 m için kazı derinliği için modellenen ankraj destekli iksa sisteminde kullanılan diyafram perde ve ankraja ait malzeme özellikleri ise Çizelge 5.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.1 Model zemin parametreleri

Geoteknik Parametreler	Sembol	Birim	Analizler	
			M1	M2
Suya Doymun Birim Hacim Ağırlık	γ_{sat}	kN/m ³	18	18
Doymamış Birim Hacim Ağırlık	γ_{unsat}	kN/m ³	18	18
Kohezyon	c'	kN/m ²	10	10
Kayma Mukavemeti Açısı	ϕ'	°	30	30
Genleşme Açısı	ψ	°	0	0
Poisson Oranı	ν'	-	0,2	0,2
Drenajlı Üç Eksenli Deneyde Referans Sekant Rijitliği	E_{50}^{ref}	kN/m ²	2x10 ⁴	2 x10 ⁴
Başlangıç Ödometre Yükleme için Referans Tanjant Rijitliği	E_{oed}^{ref}	kN/m ²	2 x10 ⁴	2 x10 ⁴
Yükleme -Boşaltma Rijitliği	E_{ur}^{ref}	kN/m ²	2 x10 ⁴	2 x10 ⁴
Maksimum Kayma Modülünün %70’ine Karşılık Gelen Kayma Şekil Değişirmesi	$\gamma_{0,7}$	-	3.10 ⁻⁴	3.10 ⁻⁴
Maksimum Referans Kayma Şekil Değişirmesi	G_o^{ref}	kN/m ²	10 ⁵	10 ⁵

Çizelge 5.2 Ankraj destekli iksa sistemlerinde kullanılan malzeme parametreleri

Malzeme	E (kPa)	EA (kN/m)	EI (kN m ² /m)	d (m)	ν
Ankraj Kökü	190E6	-	-	0,13	-
Ankraj	-	90630	-	-	-
D.Perde	-	7000000	71458	0,35	0

H=6.5 m için kazı derinliği için modellenen ankrajlı iksa sisteminde diyafram perde plak eleman, serbest ankraj bölgesindeki ankraj halatları “node to node anchor eleman”, ankraj kökleri ise son birkaç yıldır kullanılmaya başlanılan “gömülü kazık eleman” kullanılarak modellenmiştir. Gömülü kazıkların bir çevre sürtünme kuvveti olarak $T_{max}=40$ kN/m, 60 kN/m, 100 kN/m, 150 kN/m değerleri kullanılmış olup Çizelge 5.2’de verilen d(m) değeri ankraj için kök, duvar için ise kalınlıktır. E elastisite modülü, EA imal edilen duvarın ağırlık modülü ve ankraj rijitliği, EI imal edilen duvarın rijitlik modülü, ν Poisson oranı olarak tanımlanır.

5.4 Sayısal Analizlerin Sonuçları

Çalışma kapsamında drenajlı malzeme davranışı gösteren homojen bir zemin ortamı için farklı ankraj kök uzunluğu, birim sürtünme direnci ve öngerme kuvvetine göre gerçekleştirilen analizler Çizelge 5.3’te özetlenmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi ankraj kök uzunluğu, birim sürtünme direnci ve öngerme kuvvetine adlandırılan modellerin çözüm durumu ve maksimum perde ve perde arkası yüzey yer değiştirmeleri yer almaktadır. Diğer modellerin analiz sonuçları Ekler kısmında verilmiştir. Çizelge 5.3 ve Çizelge 5.4’te yapılan bütün analizlerin sonuçları özetlenmiştir. Daha sonrasında M1-40-0 ve M2-40-0 modelleri seçilerek kök etkisi analiz sonuçları ile M1-100-100 ve M1-100-150 modelleri seçilerek öngerme kuvveti etkisi analiz sonuçları aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 5.3 Kök boyu 6m ankraj destekli iksa sistemlerinin analiz sonuçları

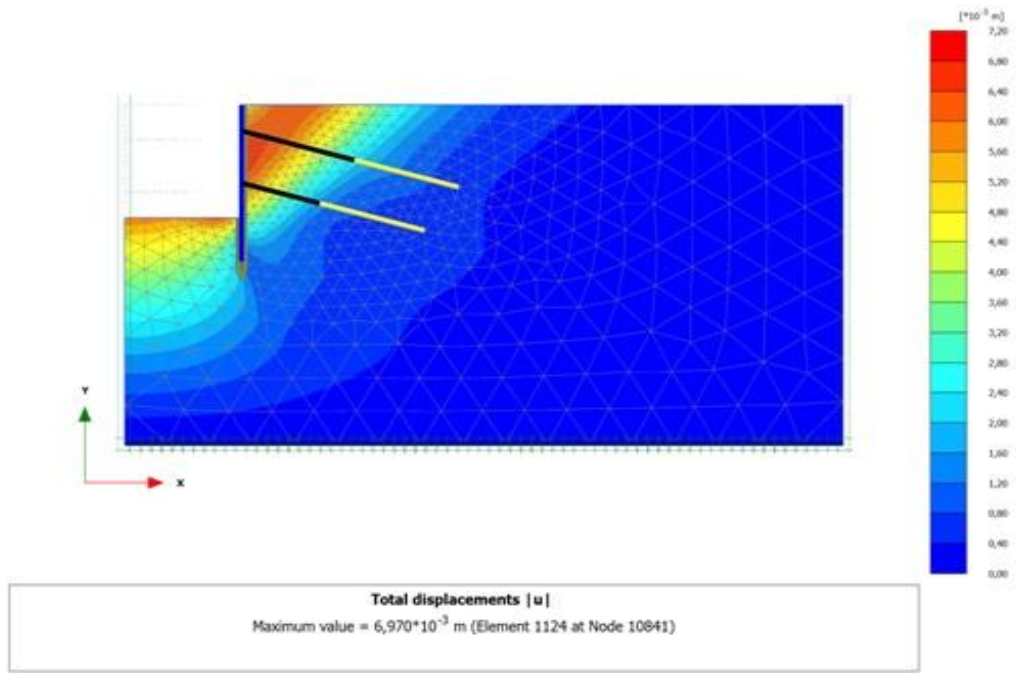
Model	Çevre Sürtünmesi Uç Direnci Tmax (kN/m)	Öngerme Kuvveti A (kN)	Ankraj Kök Boy (m)	Çözüm	Perde Yatay Yer Değiştirme max ux (m)	Perde Arkası Düşey Yer Değiştirme max uy (m)
M1-40-0	40	0	6	✓	-0,00019	-0,00439
M1-40-100	40	100	6	X	-	-
M1-40-150	40	150	6	X	-	-
M1-60-0	60	0	6	✓	-0,00019	-0,00430
M1-60-100	60	100	6	X	-	-
M1-60-150	60	150	6	X	-	-
M1-100-0	100	0	6	✓	-0,00017	-0,00440
M1-100-100	100	100	6	✓	0,00251	0,00119
M1-100-150	100	150	6	✓	0,00659	-0,00135
M1-150-0	150	0	6	✓	-0,00018	-0,00441
M1-150-100	150	100	6	✓	0,00251	0,00120
M1-150-150	150	150	6	✓	0,00657	-0,00133

Çizelge 5.4 Kök boyu 8m ankraj destekli iksa sistemlerinin analiz sonuçları

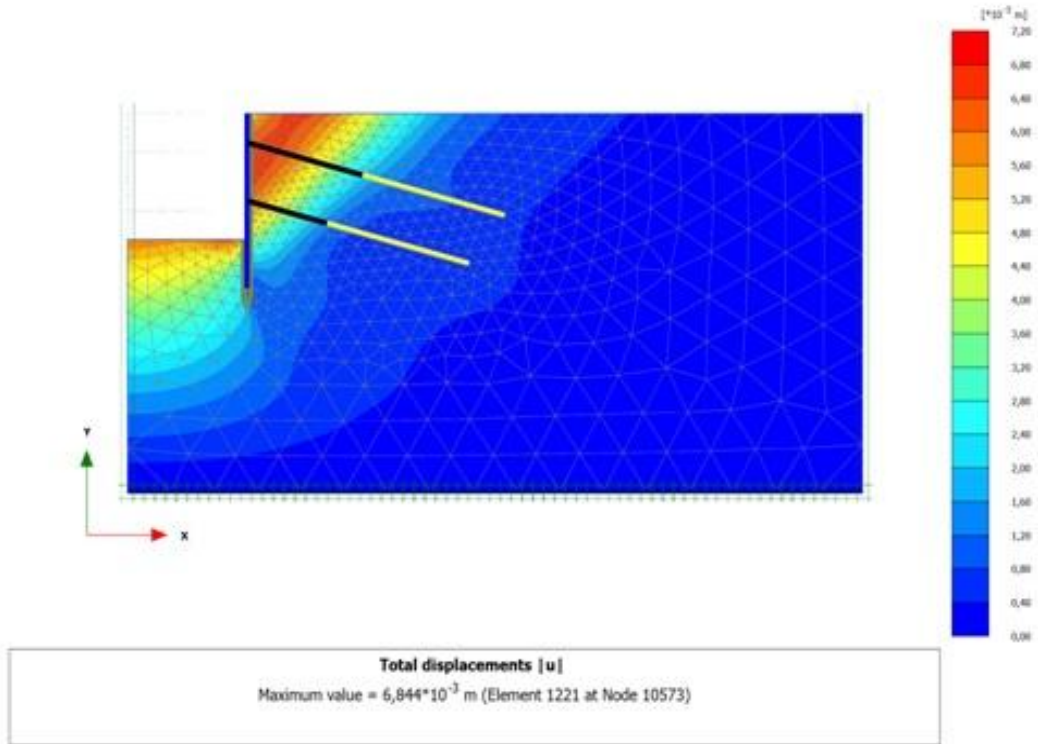
Model	Çevre Sürtünmesi Uç Direnci Tmax (kN/m)	Öngerme Kuvveti A (kN)	Ankraj Kök Boy (m)	Çözüm	Perde Yatay Yer Değiştirme max ux (m)	Perde Arkası Düşey Yer Değiştirme max uy (m)
M2-40-0	40	0	8	✓	-0,00022	-0,00454
M2-40-100	40	100	8	X	-	-
M2-40-150	40	150	8	X	-	-
M2-60-0	60	0	8	✓	-0,00022	-0,00451
M2-60-100	60	100	8	✓	0,00244	0,00102
M2-60-150	60	150	8	X	-	-
M2-100-0	100	0	8	✓	-0,00021	-0,00449
M2-100-100	100	100	8	✓	0,00257	0,00105
M2-100-150	100	150	8	✓	0,00676	0,00137
M2-150-0	150	0	8	✓	-0,00022	-0,00448
M2-150-100	150	100	8	✓	0,00263	0,00105
M2-150-150	150	150	8	✓	0,00689	0,00143

Analiz sonuçlarına göre her iki kök boyunda nihai kazı kotuna ulaşıldığında (6.5 m), çevre sürtünmesi uç direnci 40kN/m ve öngerme kuvvetinin olmadığı (A= 0kN) durum için hesaplanan sistemin toplam yer değiştirmesi Şekil 5.4a ve Şekil 5.4b’de verilmiştir.

M1-40-0 modelindeki toplam maksimum yer değiştirme 7mm olurken M2-40-0 modelinde toplam yer değiştirme 6.8mm olmuştur.

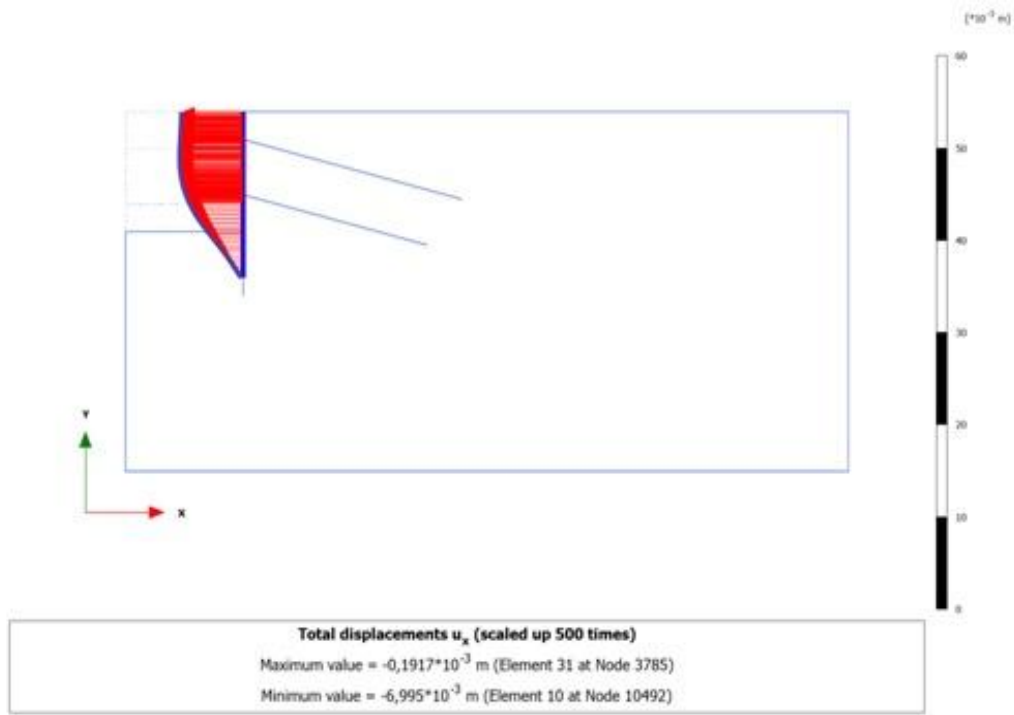


şekil 5.4a M1-40-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]

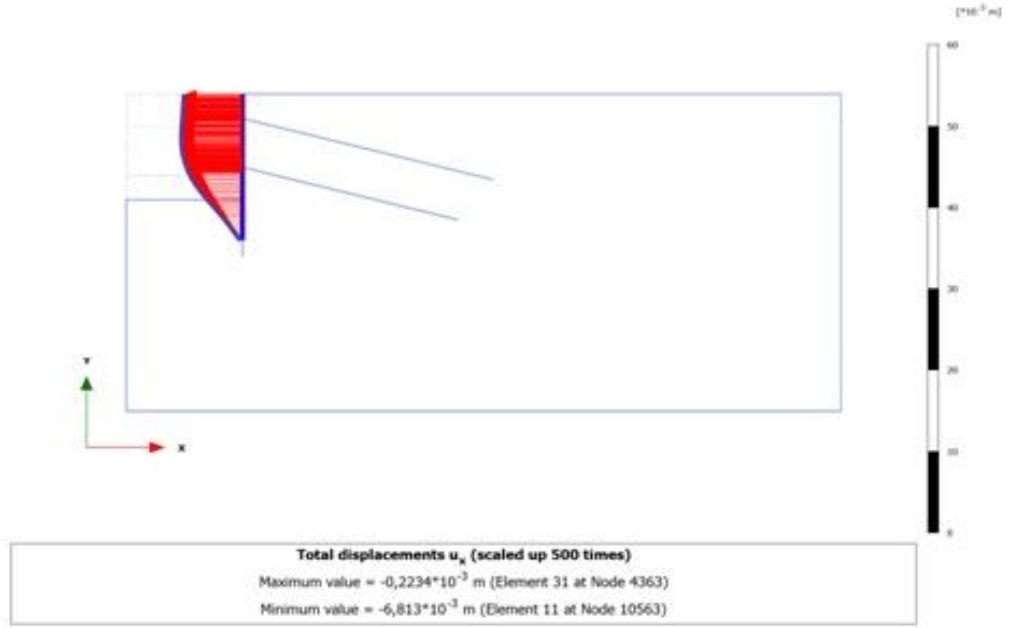


şekil 5.4b M2-40-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]

M1-40-0 ve M2-40-0 modellerde nihai kazı kotuna ulaşıldığında (6.5 m) diyafram perdede hesaplanan yatay yer değiştirmelerin değişimi sırası ile Şekil 5.5a ve Şekil 5.5b'de verilmiştir. Öngerme kuvvetinin uygulanmadığı bu modellerde, ankraj kök uzunluğunun 6m olması durumu (M1-40-0) için perdede maksimum toplam (bileşke) yer değiştirme 7.0mm hesaplanırken, M2-40-0 ankraj kök uzunluğunun 8m olması durumunda 6.8mm hesaplanmıştır. Şekillerden her iki modelde perdenin yer değiştirme yönünün kazıya doğru olduğu görülmekte ve kök uzunluğunun artmasının perde yer değiştirmeleri üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu tespitten 6m kök uzunluğunun göz önüne alınan kazı durumu için yeterli olduğu sonucu çıkarılabilir.

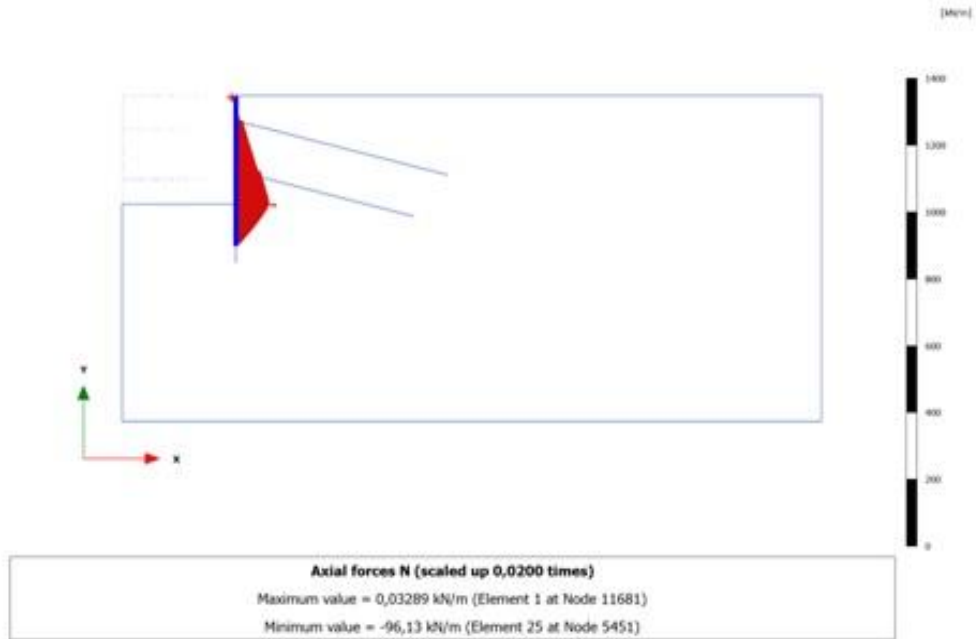


Şekil 5.5a M1-40-0 modeli için perde yatay yer değiştirmesi [u_x]

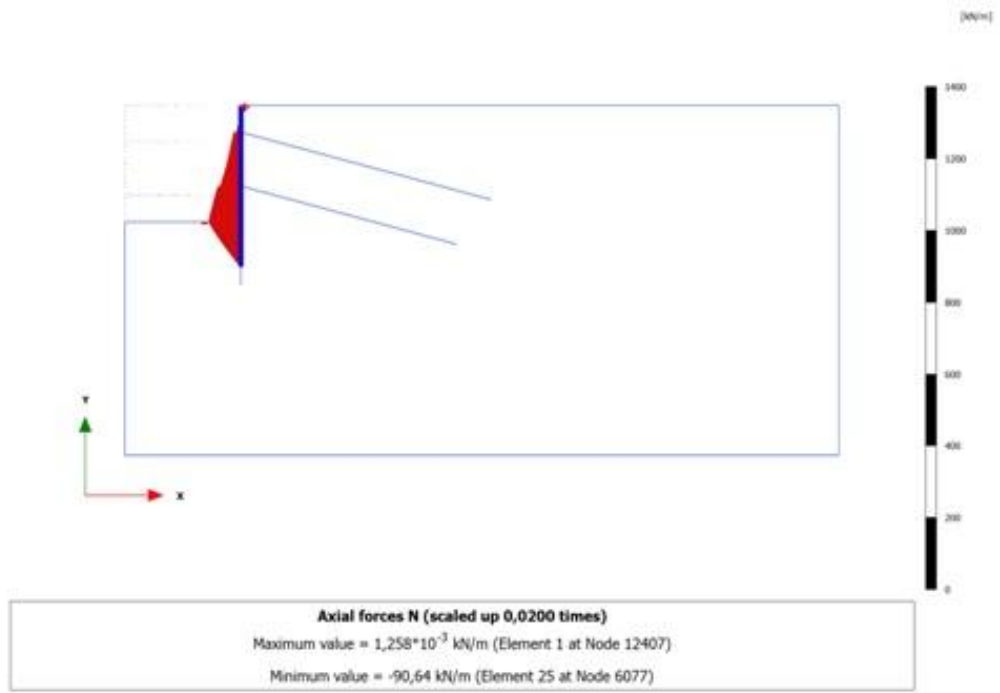


Şekil 5.5b M2-40-0 modeli için perde yatay yer değiştirmesi [u_x]

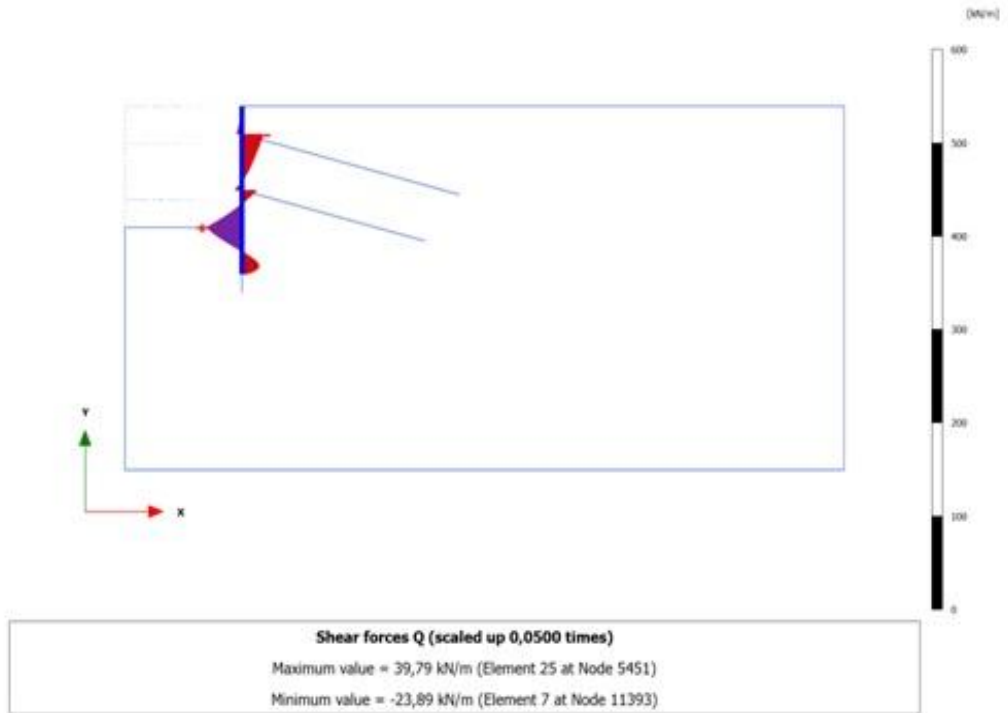
Öngerme kuvvetinin olmadığı 6m ve 8m kök uzunluğuna sahip modellerde nihai kazı durumu için perdede hesaplanan kesit tesirleri Şekil 5.6a, 5.6b, 5.7a, 5.7b, 5.8a, ve 5.8b'de verilmiştir. Bu modellerin ankraj kökü boyunca hesaplanan eksenel kuvvet ve birim çevre sürtünme değişimleri Şekil 5.9a ile 5.9b ve Şekil 5.10a ile 5.10b'de verilmiştir.



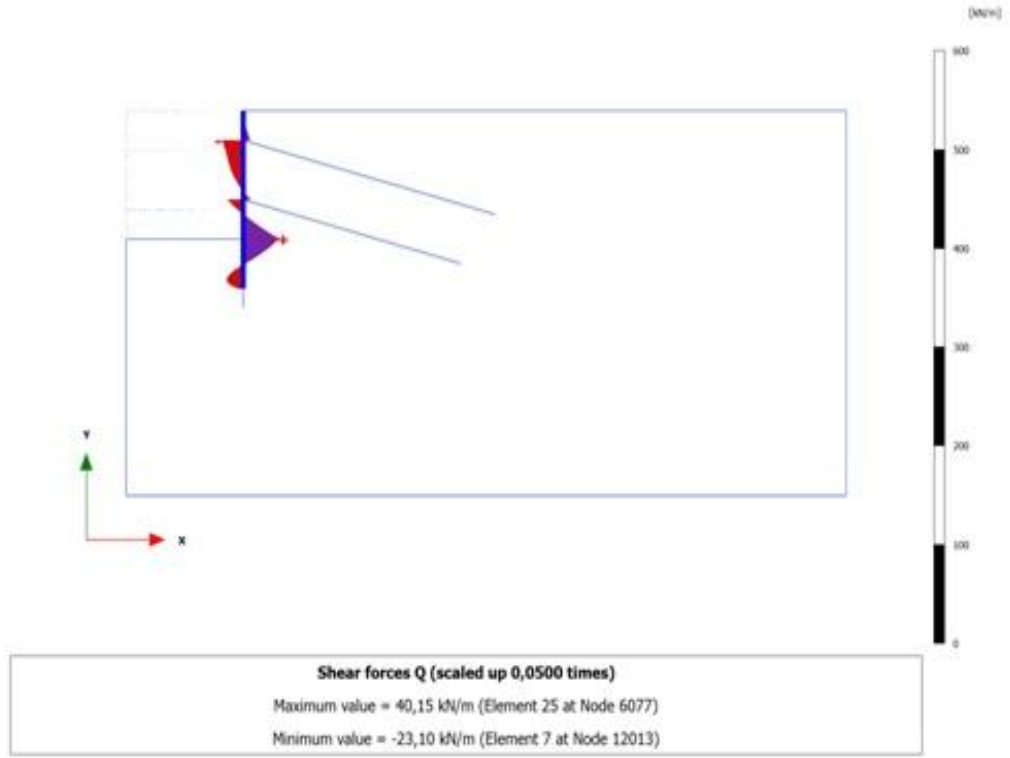
Şekil 5.6a M1-40-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



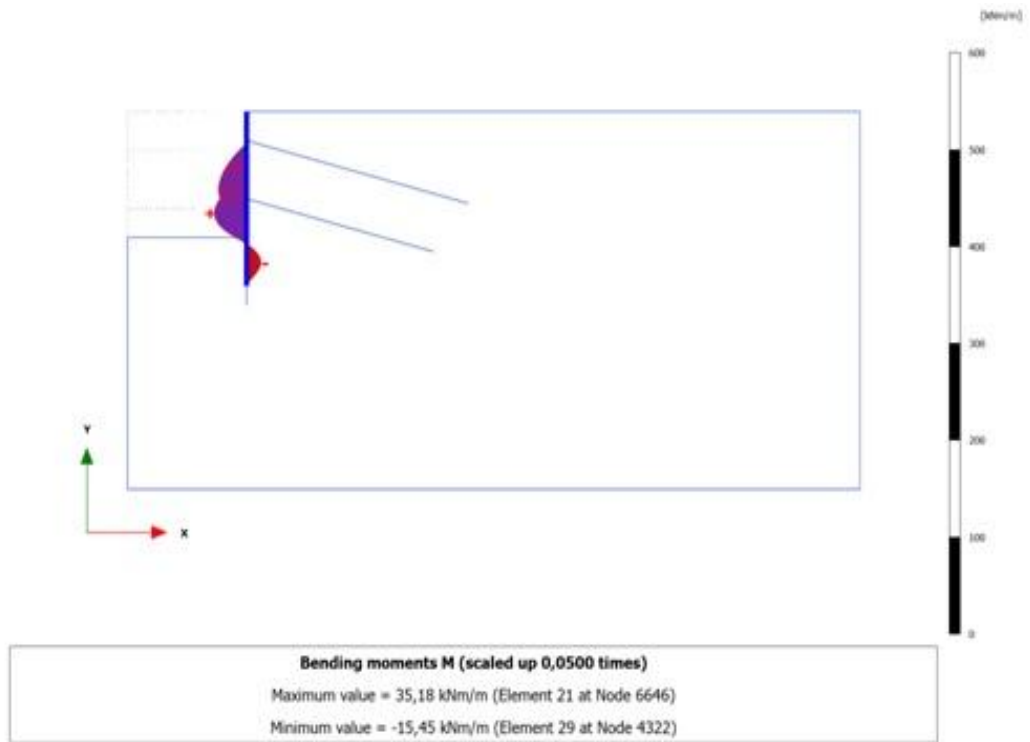
Şekil 5.6b M2-40-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



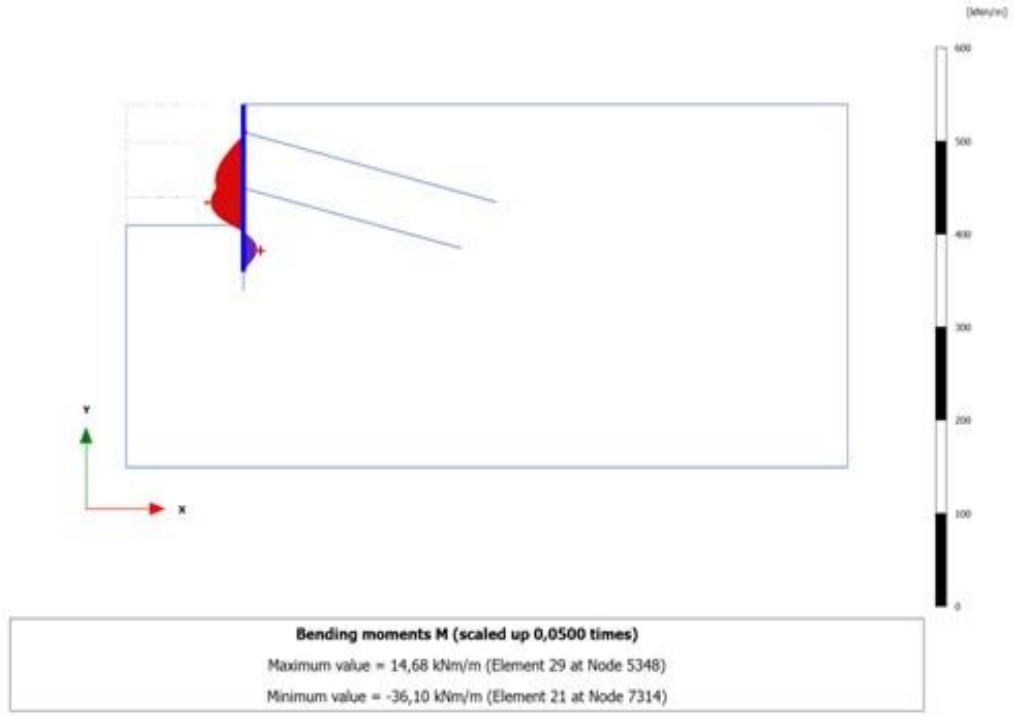
Şekil 5.7a M1-40-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



Şekil 5.7b M2-40-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



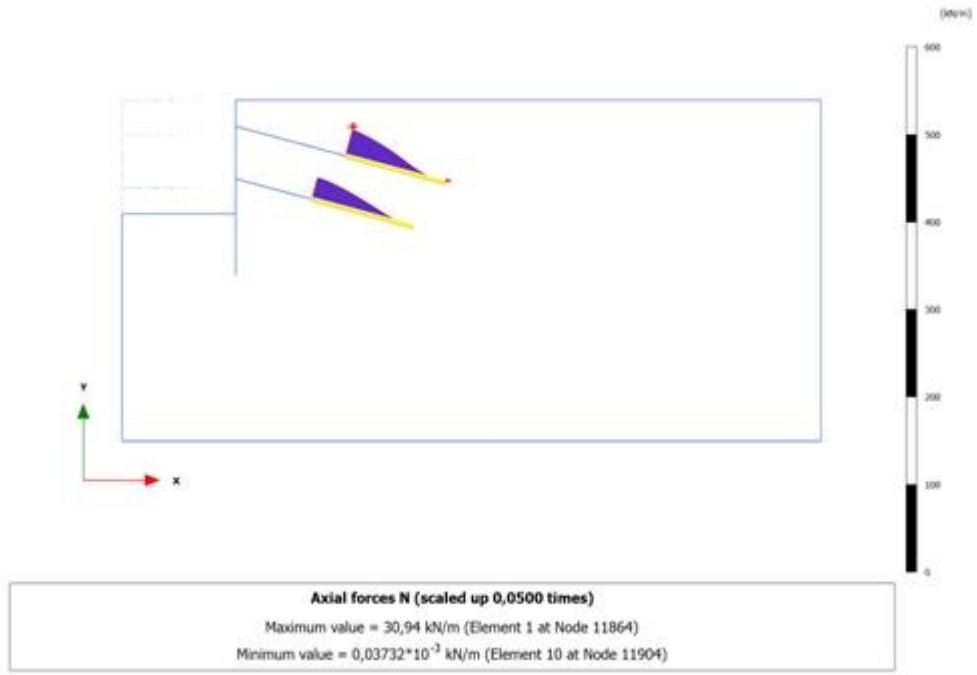
Şekil 5.8a M1-40-0 modeli için perdede hesaplanan eğilme momenti (M)



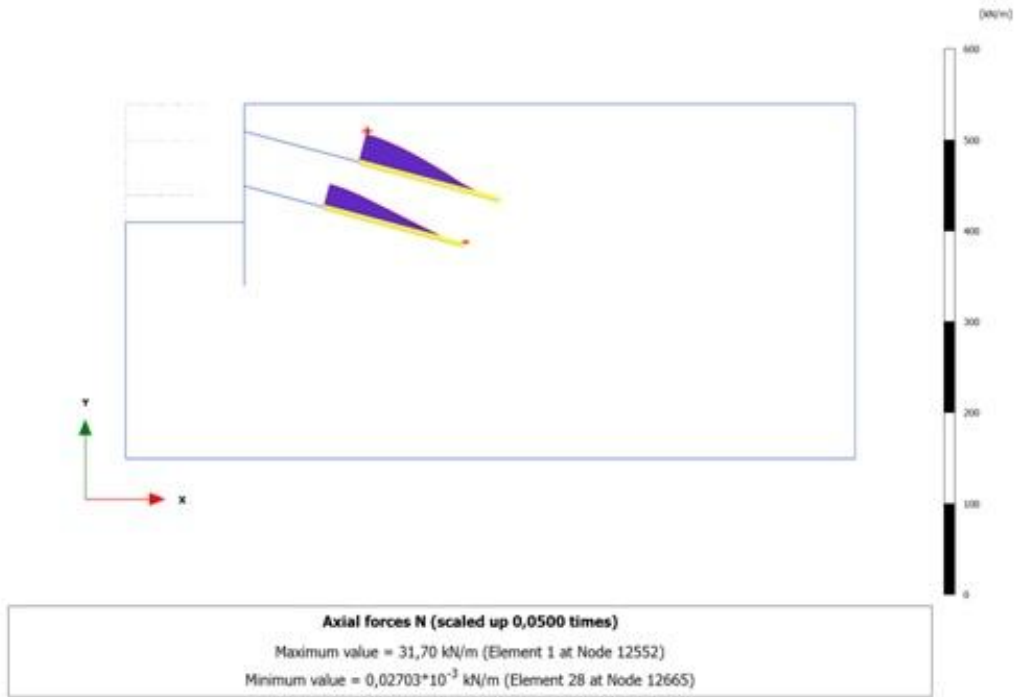
Şekil 5.8b M2-40-0 modeli için perdede hesaplanan eğilme momenti (M)

Öngerme uygulanmayan modellerde ankraj kökü boyunca normal kuvvet (N) değişimi Şekil 5.9a ve, 5.9b'de, birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin}) Şekil 5.10a ve 5.10b'de ve maksimum birim çevre sürtünme direncine göre relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel}) değişimi Şekil 5.11a ve 5.11b'de verilmiştir. 6m uzunluktaki ankraj köklerine sahip M1-40-0 modelde ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 30.94kN/m, maksimum birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin}) 0.02776×10^{-15} kN/m/m olarak bulunurken maksimum birim çevre sürtünme direncine göre relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel}) 1 olarak belirlenmiştir.

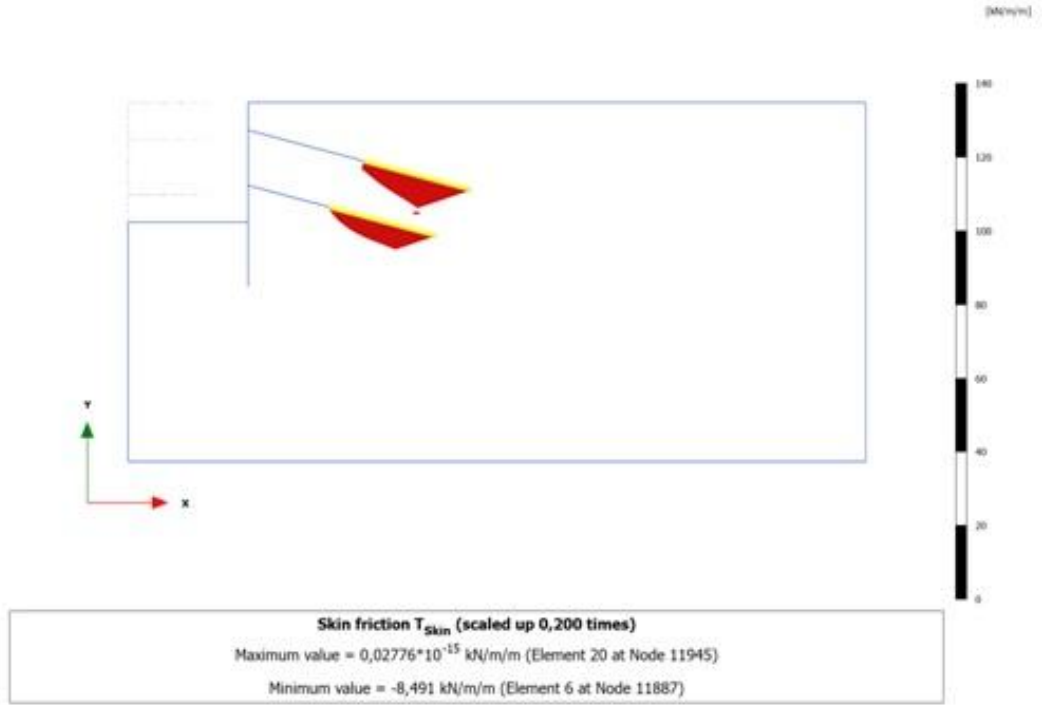
8m uzunluktaki ankraj köklerine sahip M2-40-0 modeli için ise ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 31.70kN/m, maksimum birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin}) 0.9575kN/m/m olarak bulunurken maksimum birim çevre sürtünme direncine göre relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel}) 1 olarak belirlenmiştir.



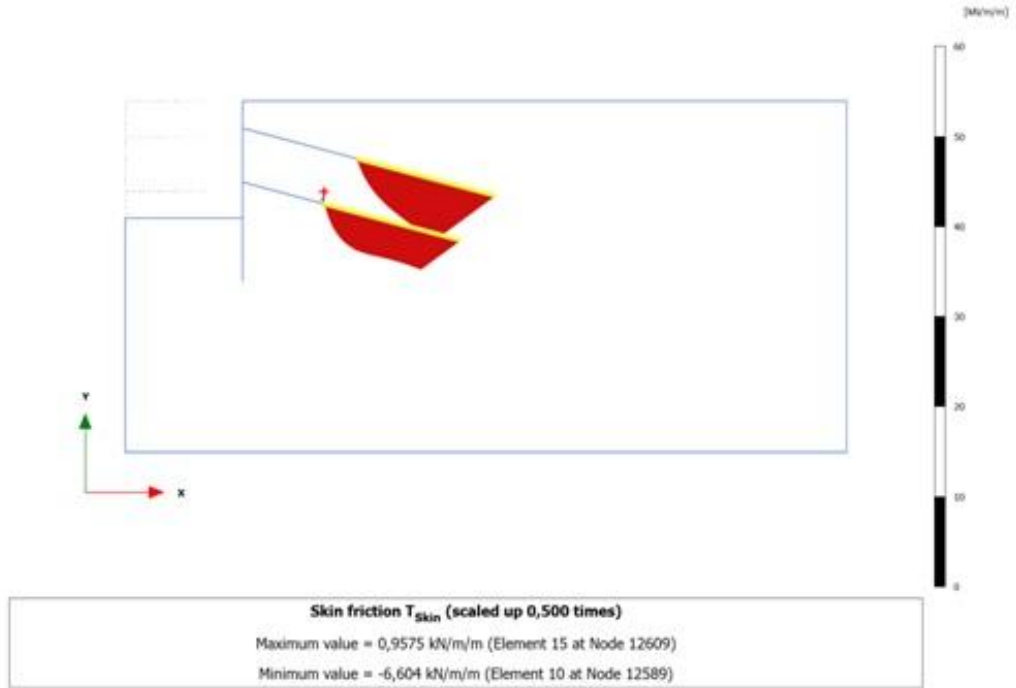
Şekil 5.9a M1-40-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



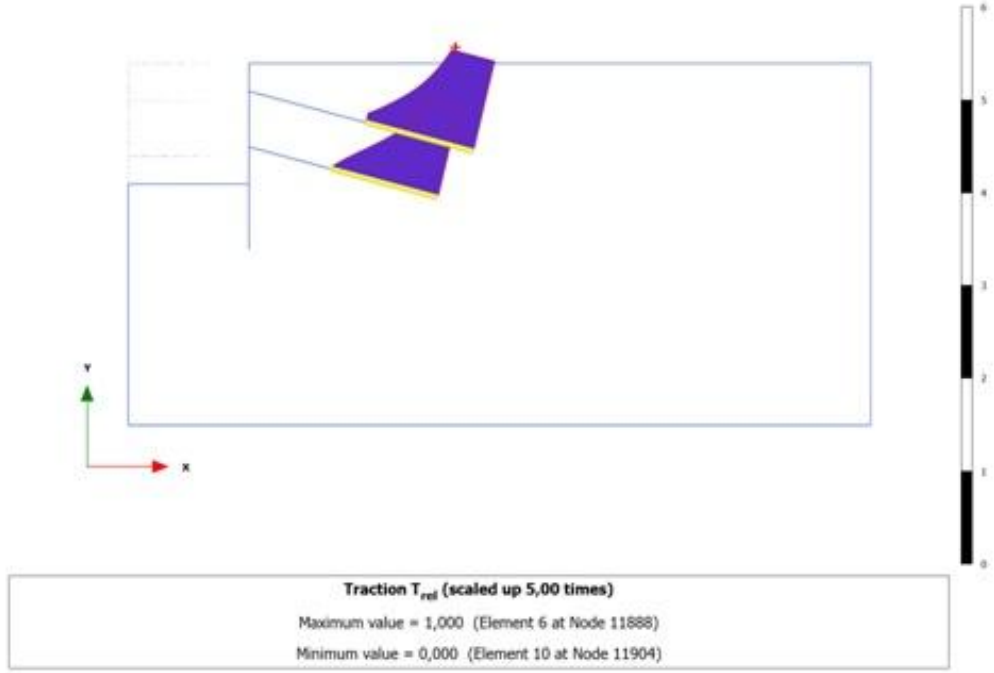
Şekil 5.9b M2-40-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



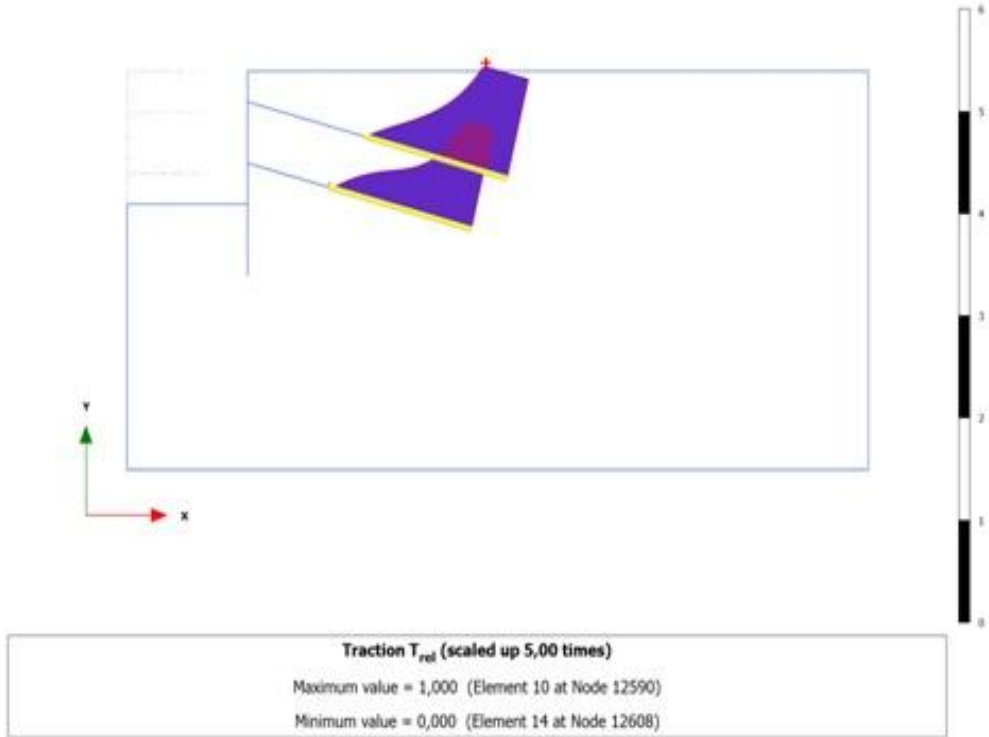
Şekil 5.10a M1-40-0 modeli için hesap sonrası ankraj birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin})



Şekil 5.10b M2-40-0 modeli için hesap sonrası ankraj birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin})

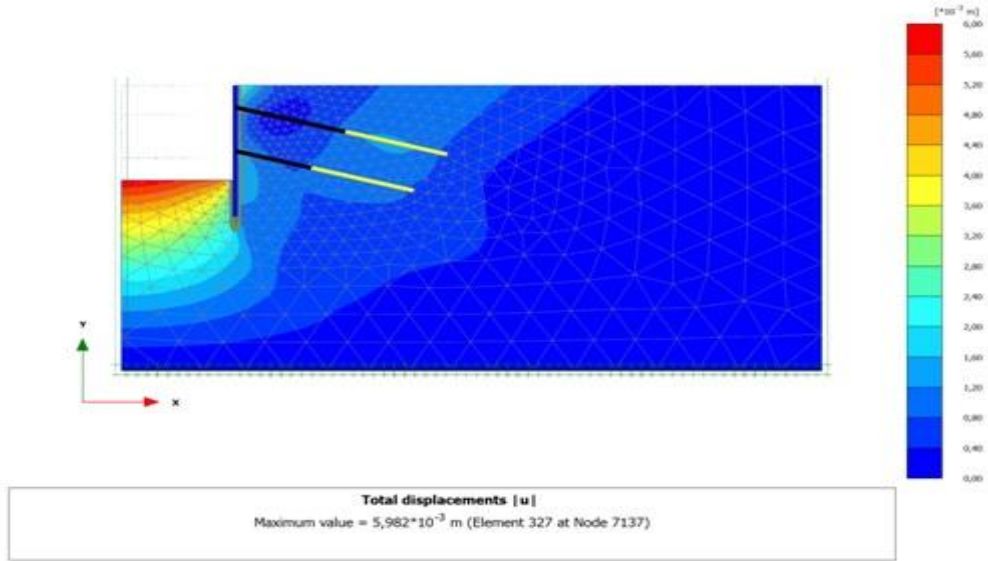


Şekil 5.11a M1-40-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})

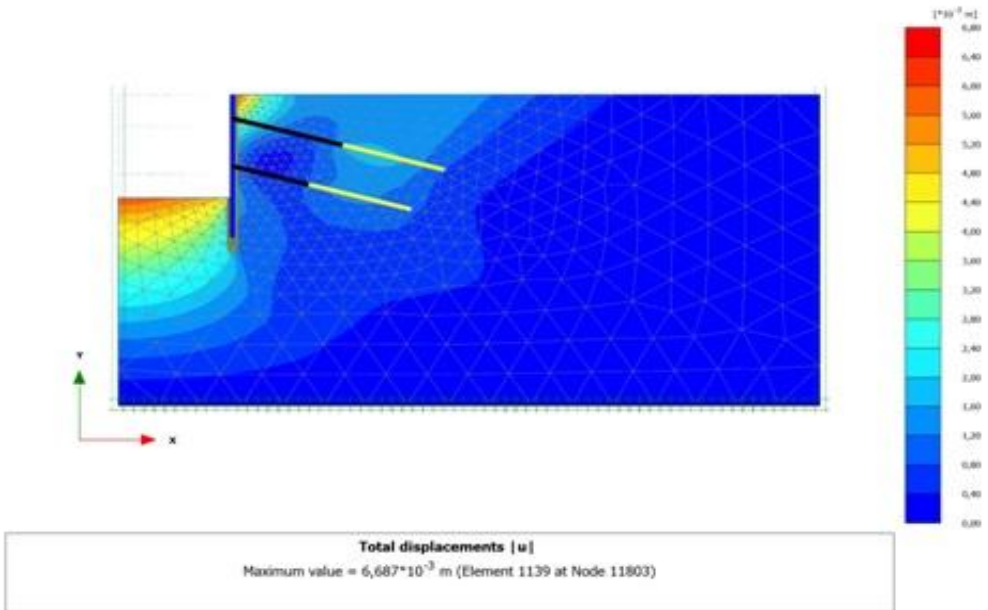


Şekil 5.11b M2-40-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})

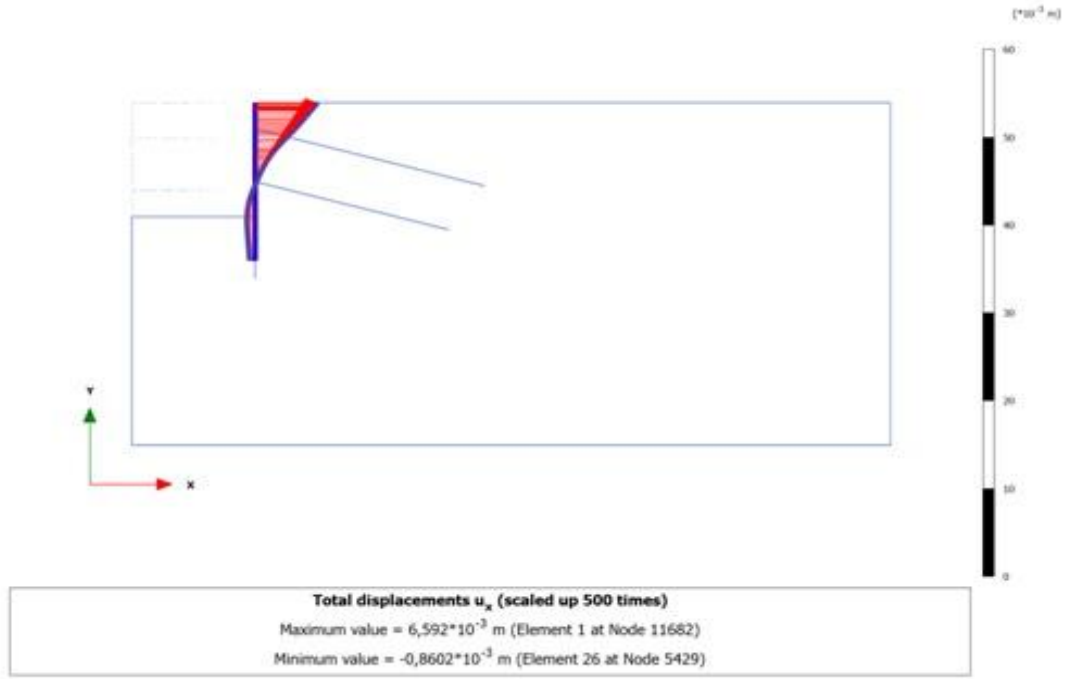
M1-100-100 ve M1-100-150 modelleri analiz sonuçlarına göre her iki öngerme kuvvetinde nihai kazı kotuna ulaşıldığında (6.5 m), çevre sürtünmesi uç direnci 100kN/m ve kök boyu 6m olduğu durum için hesaplanan sistemin toplam yer değiştirmesi Şekil 5.12a ve Şekil 5.12b’de verilmiştir. M1-100-100 modelindeki toplam maksimum yer değiştirme 6mm olurken M1-100-150 modelinde toplam yer değiştirme 6.7mm olmuştur.



Şekil 5.12a M1-100-100 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]

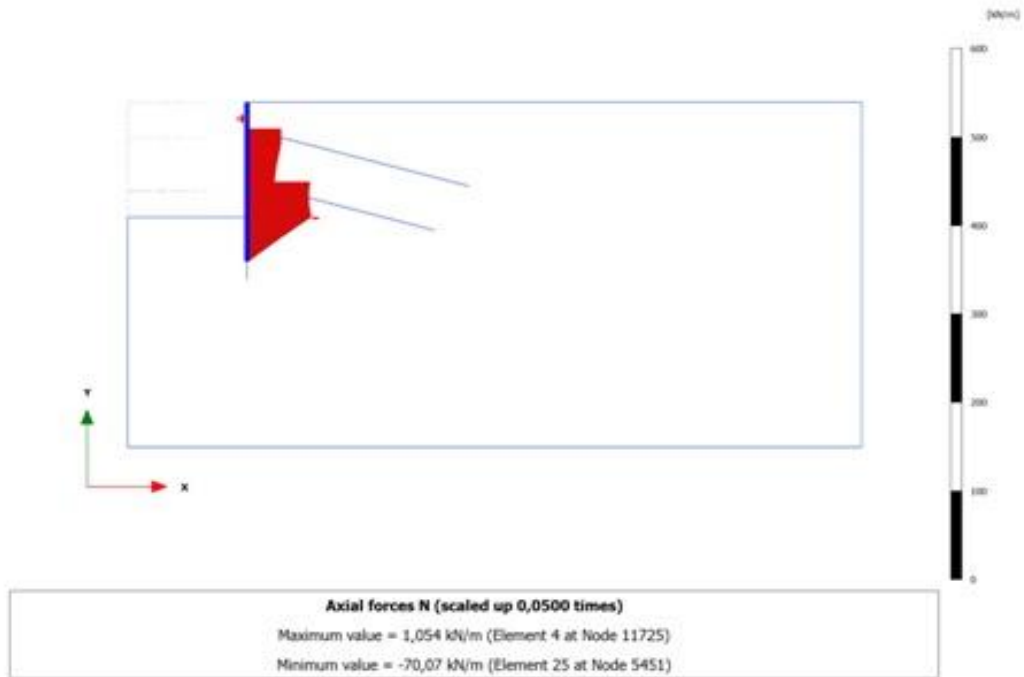


Şekil 5.12b M1-100-150 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]

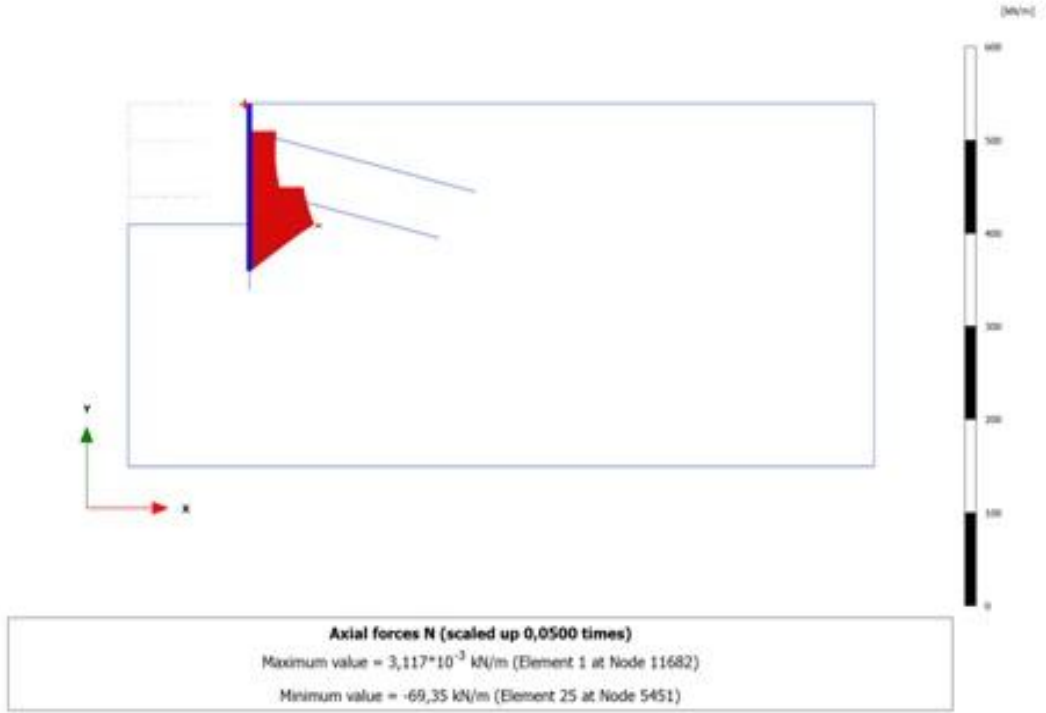


Şekil 5.13b M1-100-150 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]

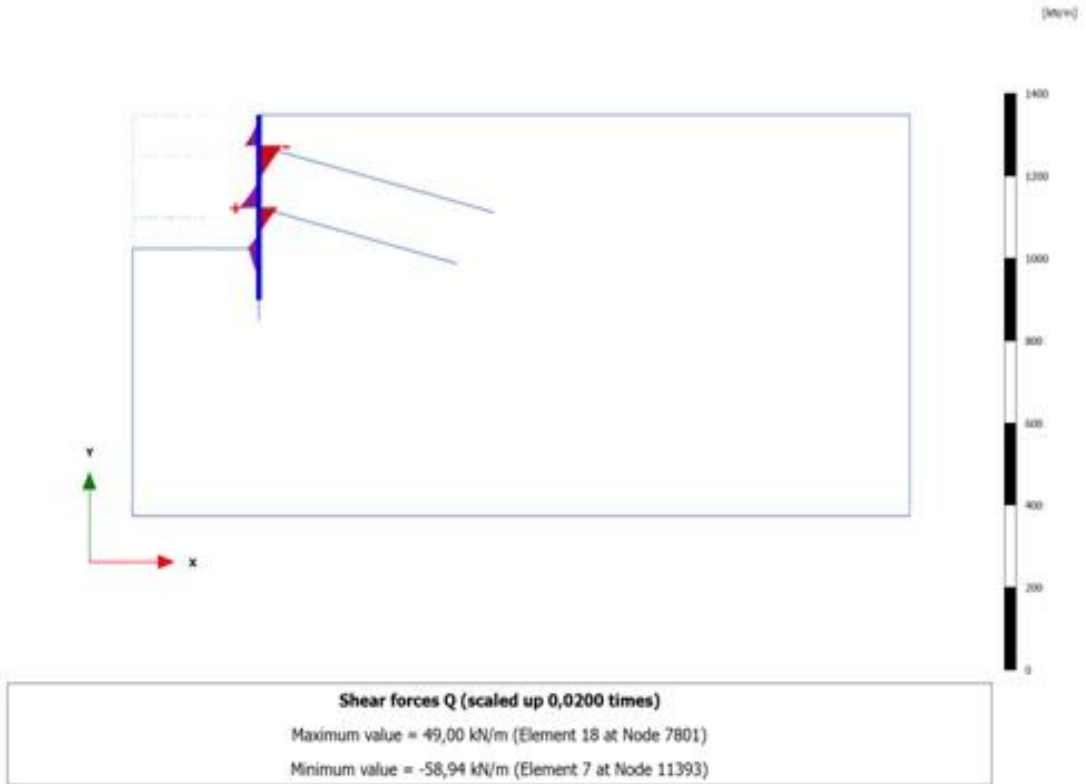
Ankraj kök uzunluğunun aynı olduğu modellerde ankraj öngerme kuvvetinin 100kN ve 150kN olduğu modellerde nihai kazı durumu için perdede hesaplanan kesit tesirleri Şekil 5.14a, 5.15a, 5.16a ve Şekil 5.14b, Şekil 5.15b, Şekil 5.16b'da verilmiştir.



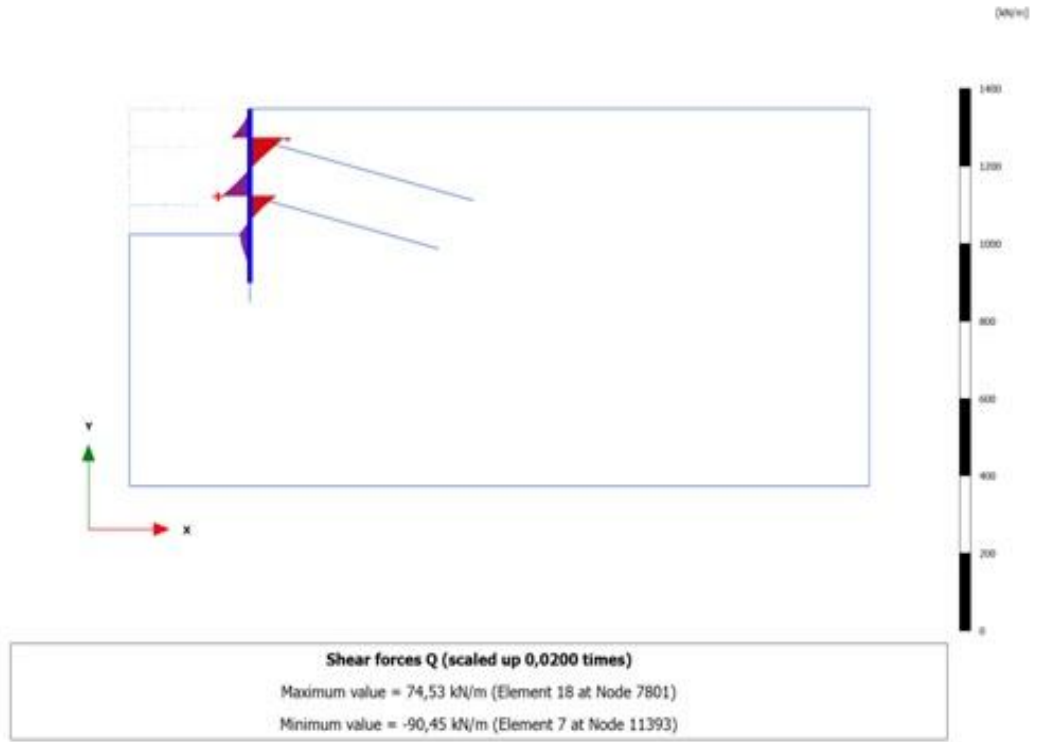
Şekil 5.14a M1-100-100 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



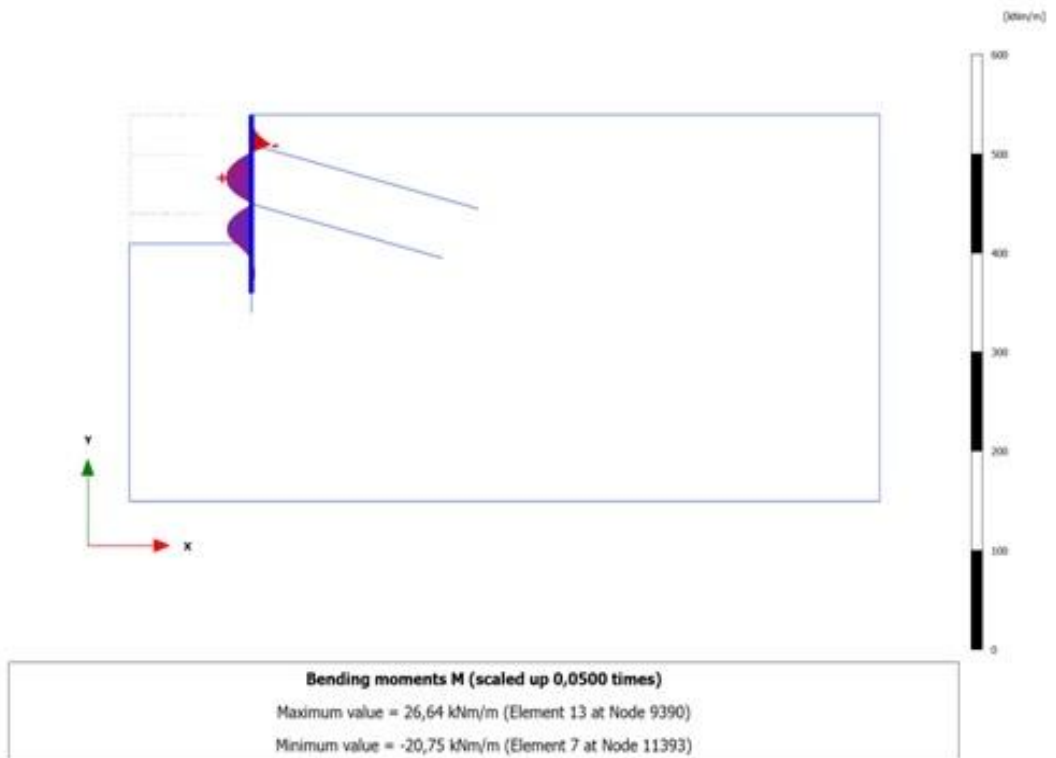
Şekil 5.14b M1-100-150 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



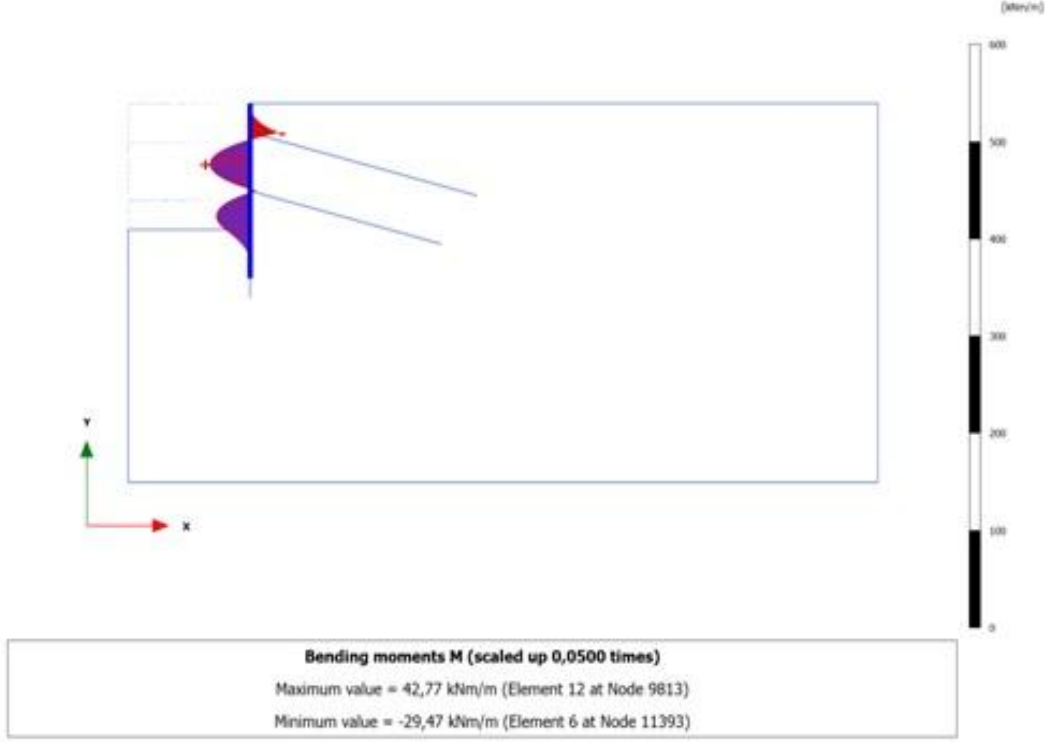
Şekil 5.15a M1-100-100 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



Şekil 5.15b M1-100-150 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



Şekil 5.16a M1-100-100 modeli için perde moment kuvveti (M)

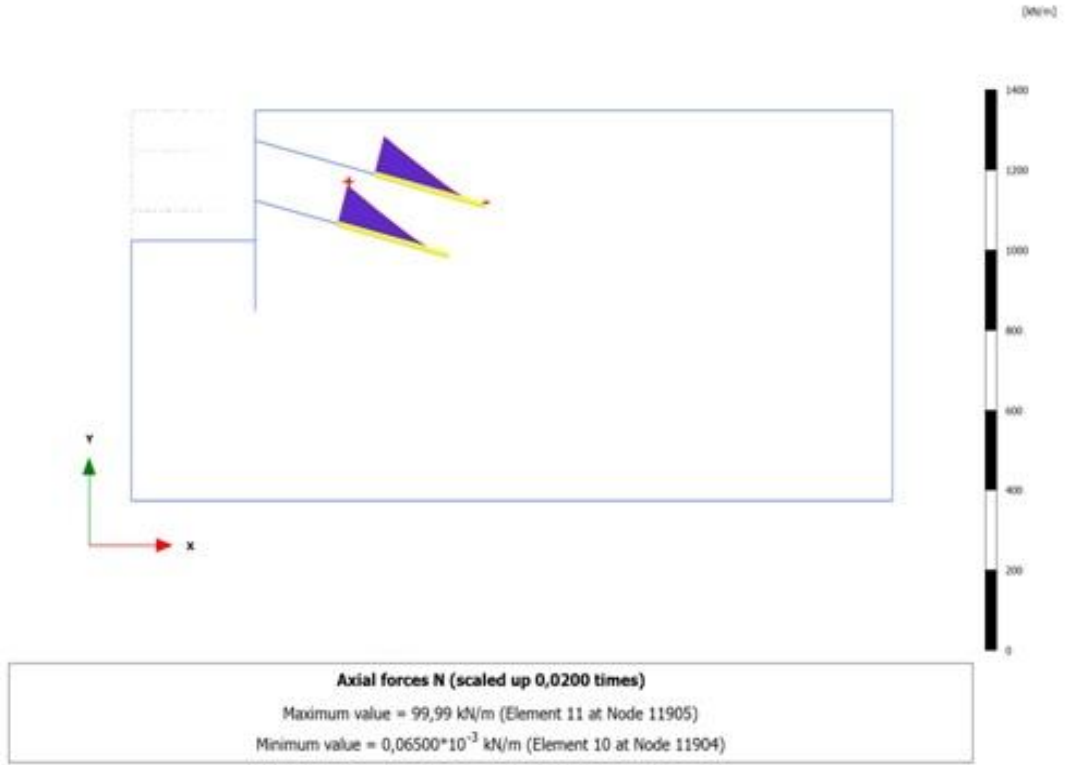


Şekil 5.16b M1-100-150 modeli için perde moment kuvveti (M)

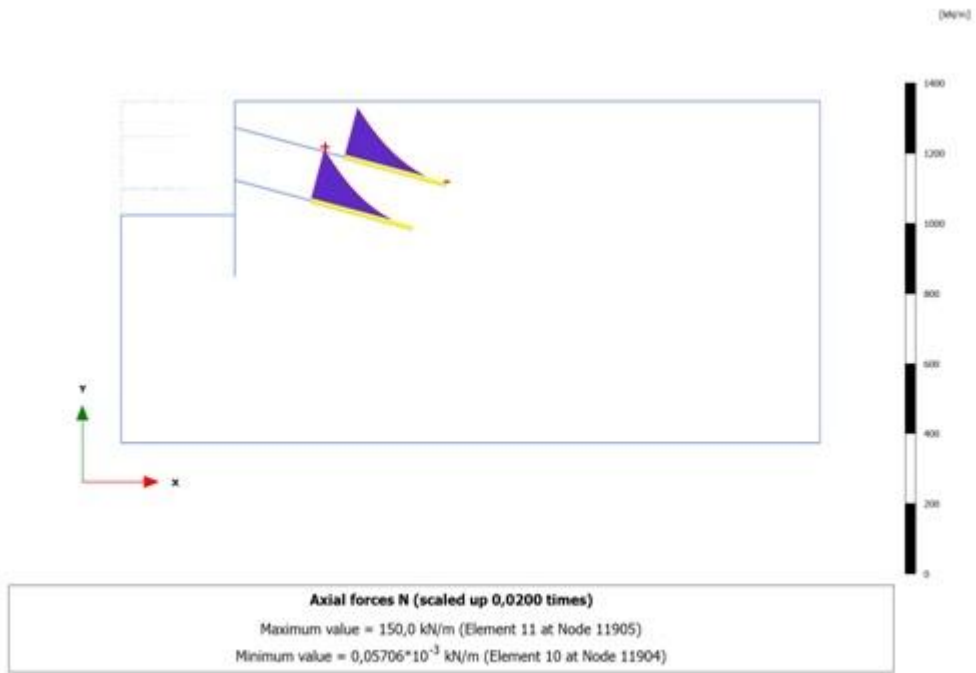
Farklı öngerme uygulanan modellerde ankraj kökü boyunca normal kuvvet (N) değişimi Şekil 5.17a ve Şekil 5.17b’de, birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin}) Şekil 5.18a ve Şekil 5.18b’de ve maksimum birim çevre sürtünme direncine göre relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel}) değişimi Şekil 5.19a ve Şekil 5.19b’de verilmiştir.

100kN öngerme kuvvetine sahip M1-100-100 modelde ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 99.99kN/m, maksimum birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin}) 24kN/m/m olarak bulunurken maksimum birim çevre sürtünme direncine göre relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel}) 1 olarak belirlenmiştir.

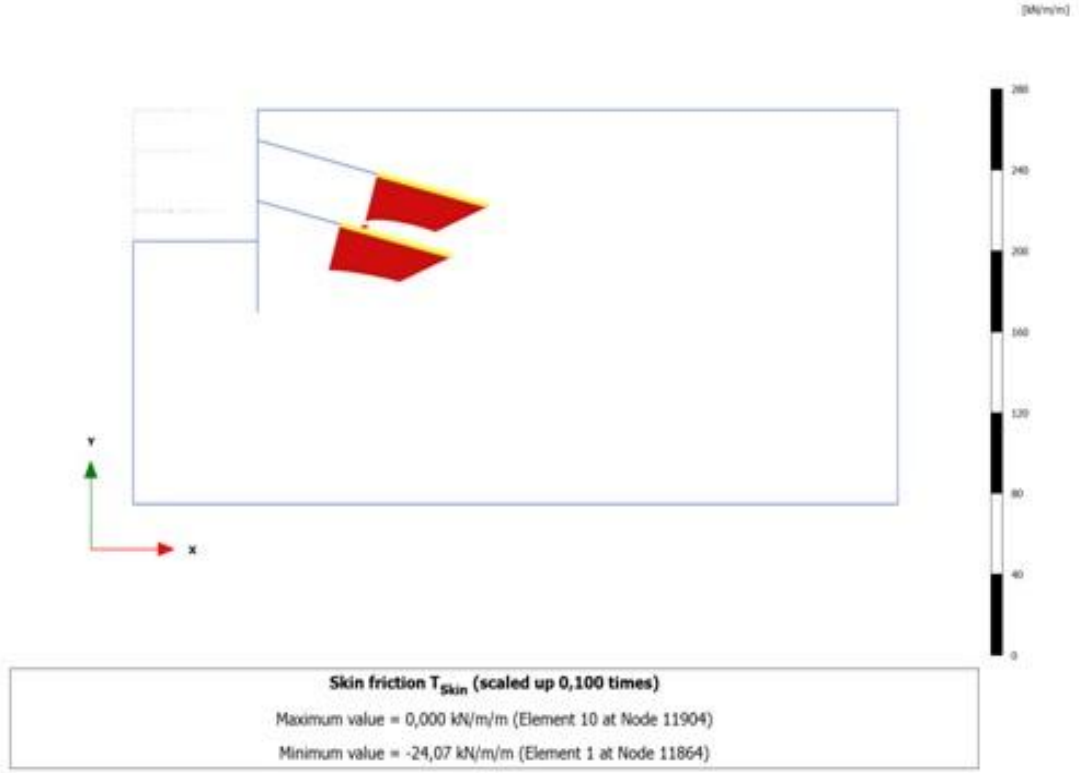
150kN öngerme kuvvetine sahip M2-100-150 modeli için ise ankraj kökü boyunca maksimum eksenel kuvvet (N) 150.0kN/m, maksimum birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin}) 49kN/m/m olarak bulunurken maksimum birim çevre sürtünme direncine göre relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel}) 1 olarak belirlenmiştir.



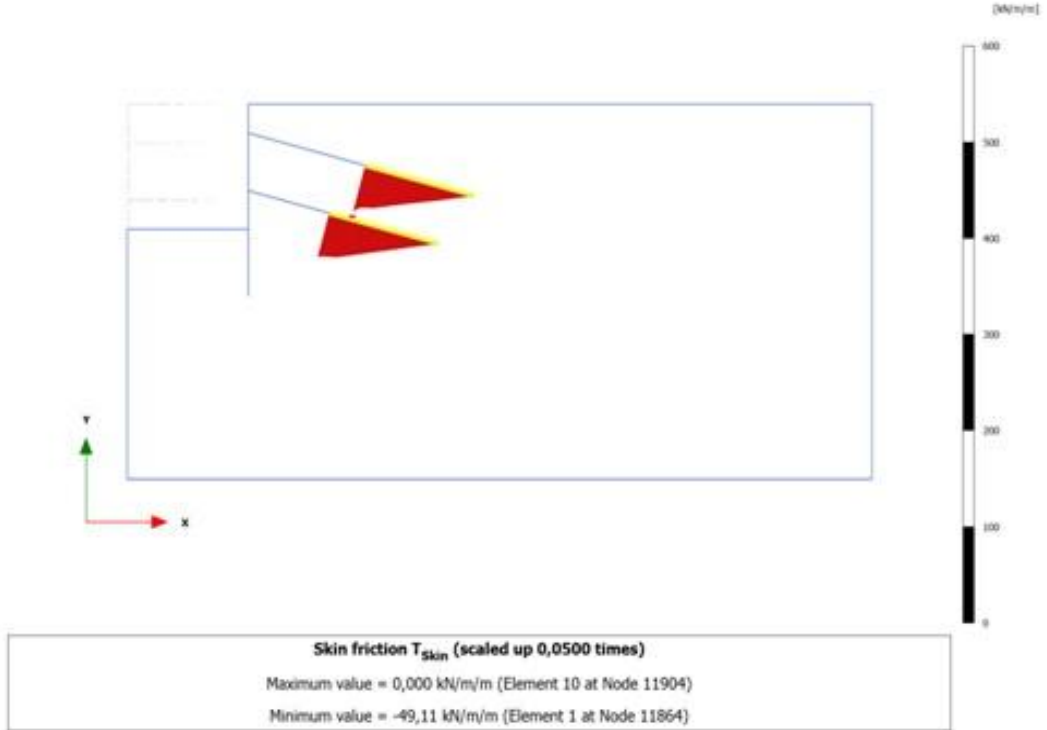
Şekil 5.17a M1-100-100 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



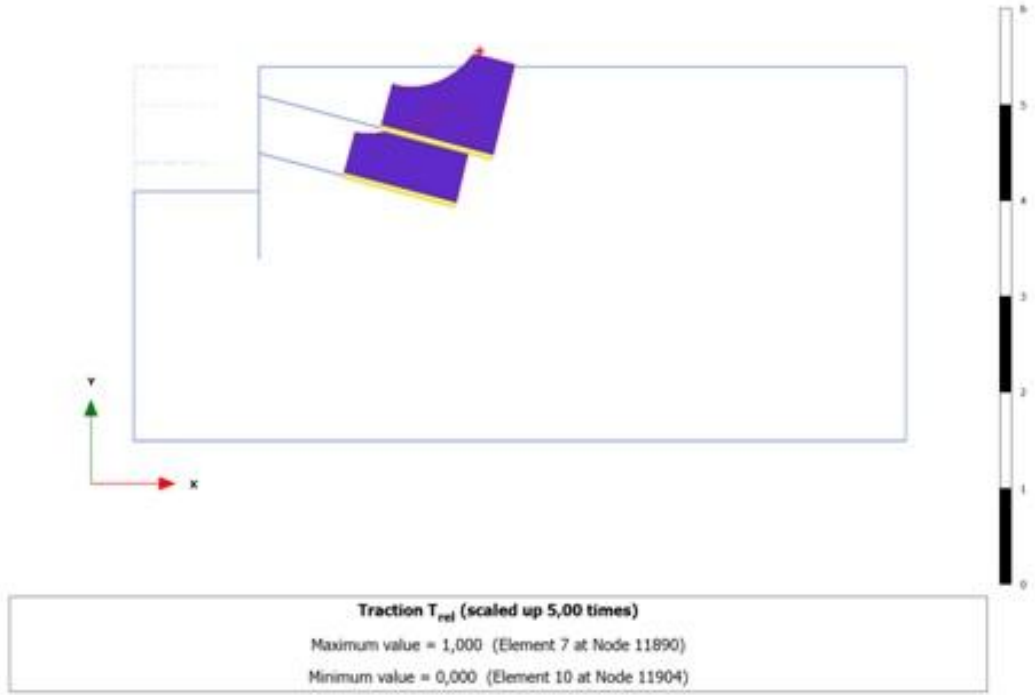
Şekil 5.17b M1-100-150 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



Şekil 5.18a M1-100-100 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



Şekil 5.18b M1-100-150 modeli için hesap sonrası ankraj birim çevre sürtünme kuvveti (T_{skin})



Şekil 5.19a M1-100-100 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



Şekil 5.19b M1-100-150 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})

SAYISAL ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

6.1 Giriş

Bu bölümde, tez kapsamında amaçlanan derin kazılardan kaynaklanan zemin oturmaları üzerinde ankraj kök boyu uzunluğu, ankraj kökü çevre sürtünmesi direnci ve ankraj öngerme kuvveti parametrelerinin etkisini incelemek için gerçekleştirilen sonlu elemanlar analizlerinden elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Bölüm 5'te bir kısmı verilen bu analizlerin sonuçlarının değerlendirilmeleri grafikler ve çizelgeler yardımı ile karşılaştırılmalı olarak yapılmıştır. Yapılan değerlendirmelerde yatay perde yer değiştirmeleri, maksimum perde arkası zemin yüzeyi oturması, kazı etki bölgesi uzunluğu ve maksimum perde yatay yer değiştirmelerinin maksimum perde arkası zemin oturması üzerindeki etkisi göz önüne alınmıştır.

6.2 Kazı Etkisi ile Diyafram Perdede Oluşan Yer değiştirmeler

Plaxis ile yapılan parametrik analizlerden elde edilen sonuçların özeti 6m kök boyuna sahip modeller (M1) için Çizelge 6.1'de ve 8m kök boyuna sahip modeller (M2) içinse Çizelge 6.2'de verilmiştir. Bu çizelgelerde göz önüne alınan ankraj kök uzunluğu, çevre sürtünmesi direnci ve ankraj öngerme kuvvetine karşılık 6.5m nihai kazı derinliğinde diyafram perdede oluşan maksimum yatay yer değiştirme ile perde arkasındaki zemin yüzeyinde hesaplanan maksimum düşey yer değiştirmeler verilmiştir.

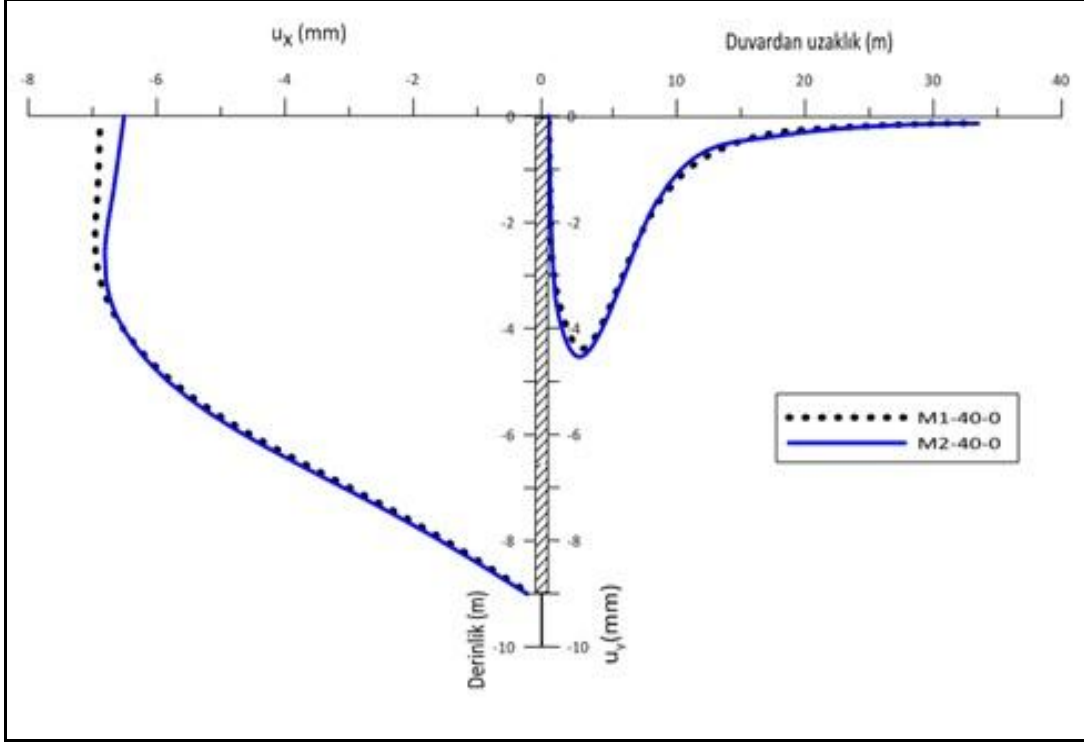
Çizelge 6.1 M1 modelleri için sistem analiz sonuçları

Model	Çevre Sürtünmesi Uç Direnci T _{max} (kN/m)	Öngerme Kuvveti A (kN)	Ankraj Kök Boyu (m)	Çözüm	Perde Arkası Düşey Yer Değişirme max uy (mm)	Perde Yatay Yer Değişirmesi ux (mm)
M1-40-0	40	0	6	✓	-4,39	-6,96
M1-40-100	40	100	6	x	-	-
M1-40-150	40	150	6	x	-	-
M1-60-0	60	0	6	✓	-4,30	-6,96
M1-60-100	60	100	6	x	-	-
M1-60-150	60	150	6	x	-	-
M1-100-0	100	0	6	✓	-4,40	-6,96
M1-100-100	100	100	6	✓	1,19	2,28
M1-100-150	100	150	6	✓	-1,35	6,14
M1-150-0	150	0	6	✓	-4,41	-6,92
M1-150-100	150	100	6	✓	1,20	2,51
M1-150-150	150	150	6	✓	-1,33	6,12

Çizelge 6.2 M2 modelleri için sistem analiz sonuçları

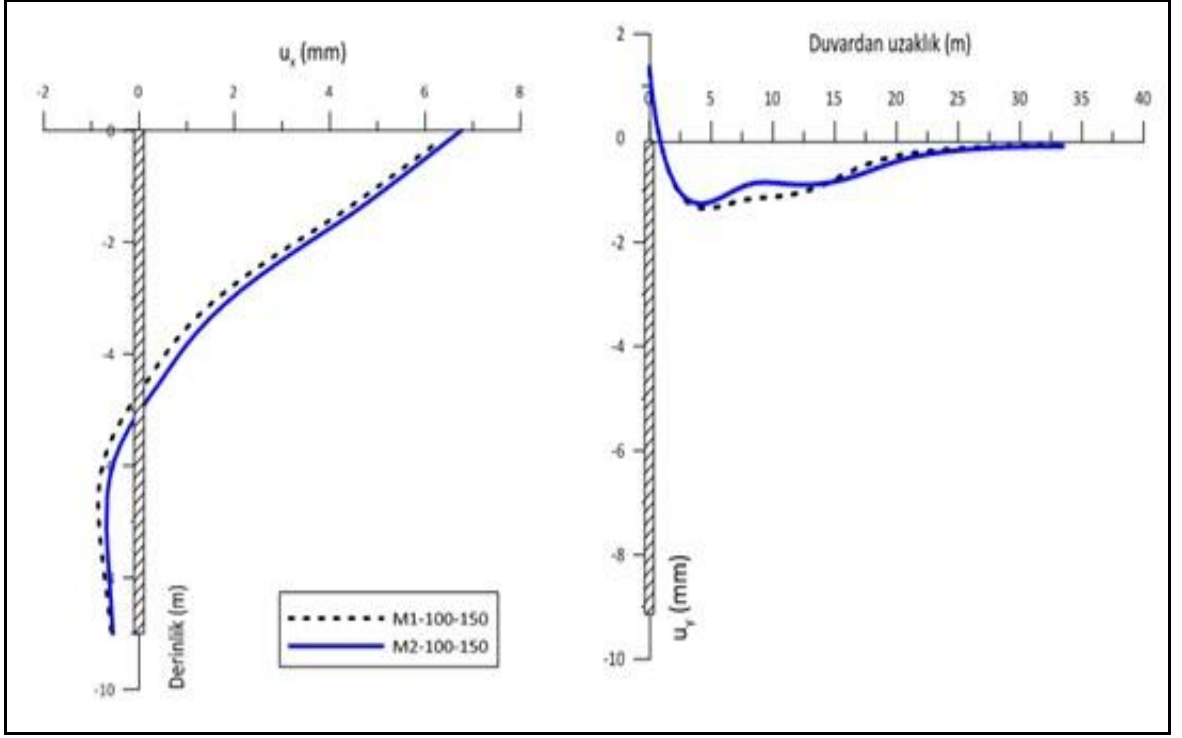
Model	Çevre Sürtünmesi Uç Direnci T _{max} (kN/m)	Öngerme Kuvveti A (kN)	Ankraj Kök Boyu (m)	Çözüm	Perde Arkası Düşey Yer Değişirme max uy (mm)	Perde Yatay Yer Değişirmesi ux (mm)
M2-40-0	40	0	8	✓	-4,54	-6,81
M2-40-100	40	100	8	x	-	-
M2-40-150	40	150	8	x	-	-
M2-60-0	60	0	8	✓	-4,51	-6,76
M2-60-100	60	100	8	✓	1,02	2,44
M2-60-150	60	150	8	x	-	-
M2-100-0	100	0	8	✓	-4,49	-6,75
M2-100-100	100	100	8	✓	1,05	2,57
M2-100-150	100	150	8	✓	1,37	6,76
M2-150-0	150	0	8	✓	-4,48	-6,70
M2-150-100	150	100	8	✓	1,05	2,63
M2-150-150	150	150	8	✓	1,43	6,89

Nihai kazı derinliğinde öngerilme uygulanmayan iki sıra ankrajlı perdede oluşan yatay yer değiştirmelerin derinlikle değişimi ve perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan düşey yer değiştirmelerin perdeye mesafesine göre değişimi 6m ve 8m ankraj kök boyları için Şekil 6.1’de verilmiştir.



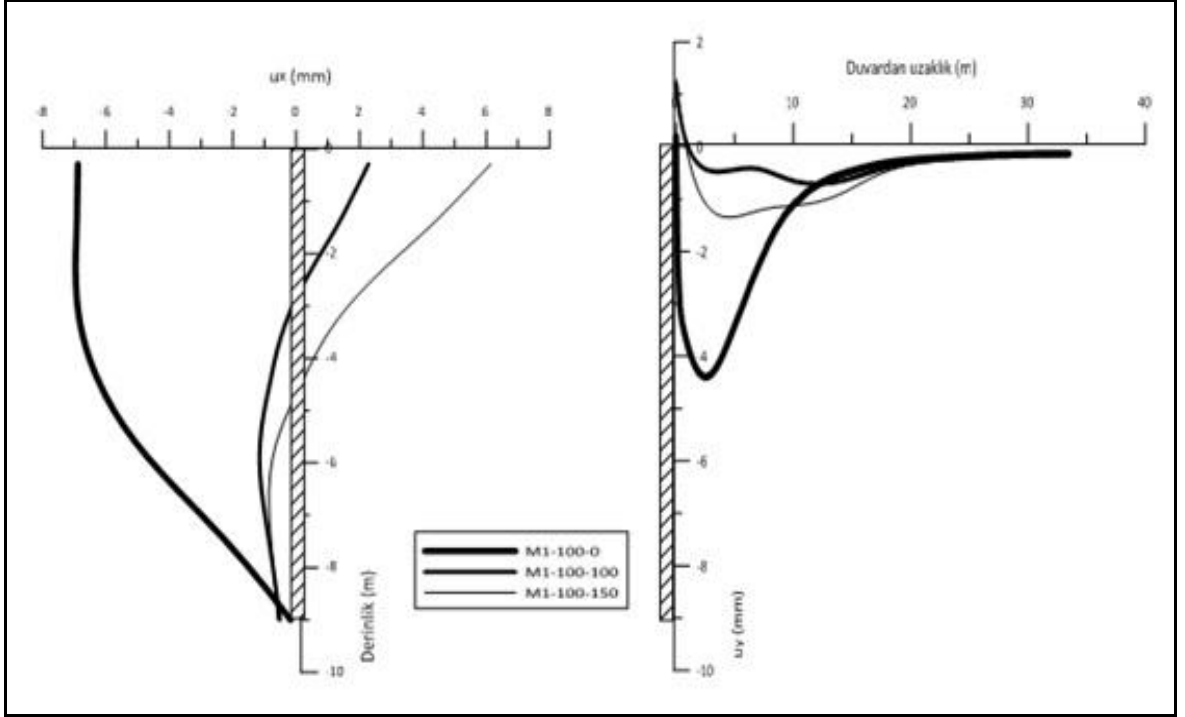
Şekil 6.1 Kök uzunluğunun yer değiştirmeler üzerindeki etkisi

Şekil 6.1’den görüldüğü gibi iki sıra ankrajlı destekleme sisteminde perde yatay yerdeğiştirme ve perde arkası düşey yer değiştirmelerinin kök uzunluğu 6m ve 8m olması durumları için birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum 6m kök uzunluğunun yeterli olduğunu kök uzunluğunun bu değerden daha fazla olması durumunda perdedeki yanal yer değiştirmeler ile perde arkasındaki düşey yer değiştirmelerin azalmasına önemli bir katkısı olmadığını göstermektedir. Şekilden ayrıca maksimum yanal yer değiştirmelerin perdenin yukardan 1/3 mesafesinde oluştuğunu ve perde arkası zeminde oluşan düşey yer değiştirmelerin konkav şekilde geliştiği görülmektedir.



Şekil 6.2 M1-100-150 ve M2-100-150 modelleri için kök uzunluğunun yer değiştirmeler üzerindeki etkisi

Şekil 6.2’de ise görüldüğü gibi öngerme uygulanmış iki sıra ankrajlı destekleme sisteminde perde yatay yer değiştirme ve perde arkası düşey yer değiştirme değişimleri kök uzunluğu 6m ve 8m olması durumları için birbirine yakın çıkmıştır. Bu durum Şekil 6.1’deki gibi 6m kök uzunluğunun yeterli olduğunu kök uzunluğunun bu değerden daha fazla olması durumunda perdedeki yanal yer değiştirmeler ile perde arkasındaki düşey yer değiştirmelerin azalmasına önemli bir katkısı olmadığını göstermektedir.



Şekil 6.3 6m kök uzunluğunda ankrajlar olması durumunda öngerme kuvvetinin perde ve zemin yüzü yer değiştirmelerine etkisi

Şekil 6.3'te göz önüne alınan iki sıralı öngermeli ankrajlı destekleme sistemine sahip kazıda ankraj öngerme kuvvetinin perde yatay yer değiştirmeleri ve perde arkası düşey yer değiştirmelerine etkisi gösterilmiştir.

İki sıra ankrajlı destekleme sisteminde perde yatay yer değiştirme ve perde arkası düşey yer değiştirme değişimleri öngerme kuvveti 0kN, 100kN ve 150kN olması durumları için farklılıklar ortaya çıkmıştır. Bu durum öngerme kuvvetinin uygulanmadığı modelde perdenin yer değiştirme yönünün kazıya doğru olduğunu, öngerme kuvveti arttırıldıkça hareket yönünün kazı yönünün aksine olduğunu göstermektedir. Bu tespitten öngerme kuvveti arttıkça perde yatay yer değiştirmelerinin azaldığı, perde arkası oluşacak düşey yer değiştirmelerin ise yine konkav şeklinde olduğunu fakat öngerme kuvveti arttıkça kayda değer bir şekilde yer değiştirmelerin azaldığı, konkavlığın değiştiği sonucu çıkarılabilir.

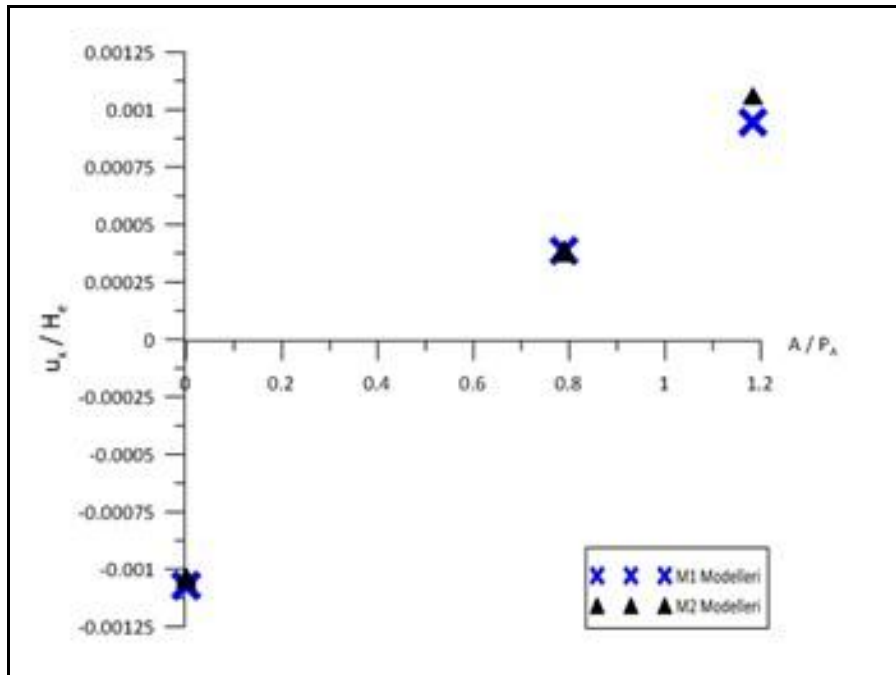
6.3 Kazı Etkisi ile Perdede Oluşan Yatay Yer Değişikliklerinin Ankraj Öngerme Kuvveti ile İlişkisi

Kazı dolayısı ile diyafram perdede oluşması beklenen maksimum yatay yer değiştirme ile ankrajlara uygulanan öngerme kuvveti arasındaki ilişki 6m uzunluktaki ankraj köklü sistem için Şekil 6.4'te boyutsuzlaştırılarak verilmiştir. Şekilde yatay yer değiştirme u_x nihai kazı yüksekliği (6.5m) ile, ankraj öngerme kuvveti A ise Aktif Rankine Toprak İtkisi ile boyutsuzlaştırılmıştır. Aktif Rankine Toprak İtkisi

$$P_a = (1/2) * \gamma * K_a * H_e^2 \quad (6.1)$$

eşitliğinden bulunmuştur. Bu eşitlikte " γ =birim hacim ağırlık, K_a =yanal toprak basıncı katsayısı, H_e =kazı derinliği".

Şekil 6.4'te her kazı kademesindeki diyafram perdede hesaplanan maksimum yatay yer değiştirme değerleri kullanılmıştır.



Şekil 6.4 Ankraj öngerme kuvveti ile kazı etkisinde oluşan perde yatay yer değiştirmeleri ilişkisi

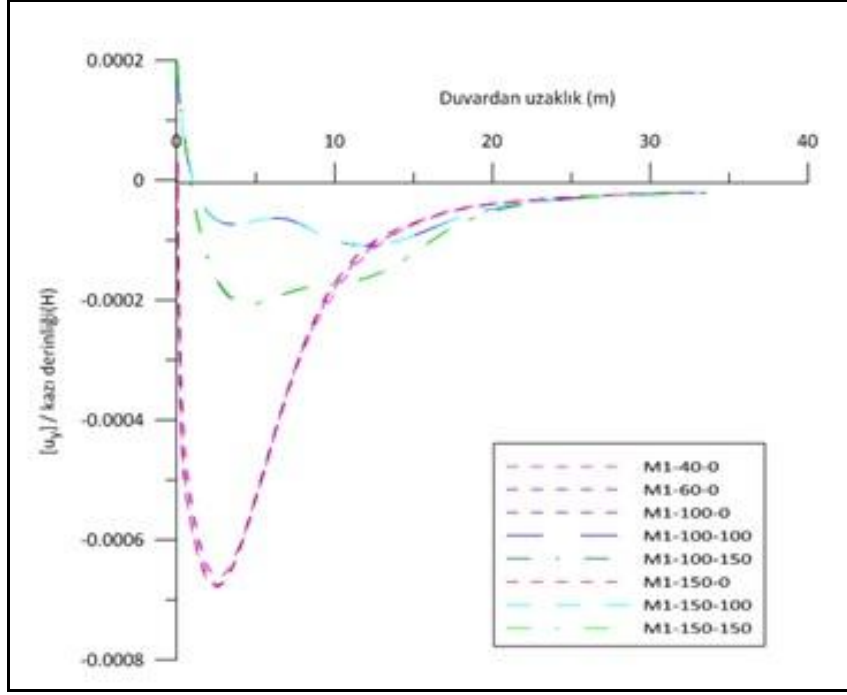
Çizelge 6.3 Analizlerden bulunan maksimum yatay yer değiştirme - kazı derinliği oranının literatürde önerilen aralıkla karşılaştırılması

Model	Perde Yatay Yer Değiştirmesi max u_x (m)	Kazı Derinliği H_e (m)	A/Pa	u_x/H_e
M1-40-0	-6,960625	6,5	0	-0,001071
M1-60-0	-6,960625	6,5	0	-0,001071
M1-100-0	-6,960625	6,5	0	-0,001071
M1-100-100	2,279264	6,5	0,78895	0,000351
M1-100-150	6,142322	6,5	1,18343	0,000945
M1-150-0	-6,919398	6,5	0	-0,001065
M1-150-100	2,511379	6,5	0,78895	0,000386
M1-150-150	6,116238	6,5	1,18343	0,000941
M2-40-0	-6,810465	6,5	0	-0,001048
M2-60-0	-6,761418	6,5	0	-0,001040
M2-60-100	2,438727	6,5	0,78895	0,000375
M2-100-0	-6,745555	6,5	0	-0,001038
M2-100-100	2,568640	6,5	0,78895	0,000395
M2-100-150	6,763237	6,5	1,18343	0,001040
M2-150-0	-6,698545	6,5	0	-0,001031
M2-150-100	2,626735	6,5	0,78895	0,000404
M2-150-150	6,889477	6,5	1,18343	0,001060

Plaxis sonlu elemanlar yöntemi ile farklı ankraj öngerme kuvvetine, kök uzunluklarına sahip modellerin analizler sonucunda kazı dolayısıyla perdede oluşan maksimum yatay yer değiştirmenin, son kazı derinliği ile değişimi ve bu değere bölünmesi durumundaki boyutsuz değeri Çizelge 6.1’de gösterilmiş ve literatürde önerilen $\delta_h=0.002H_e - 0.005H_e$ ile karşılaştırılmıştır. Maksimum perde yatay yer değiştirmelerin önerilen bu aralıkta değişmesi beklenirken bu aralığın altında kalmıştır.

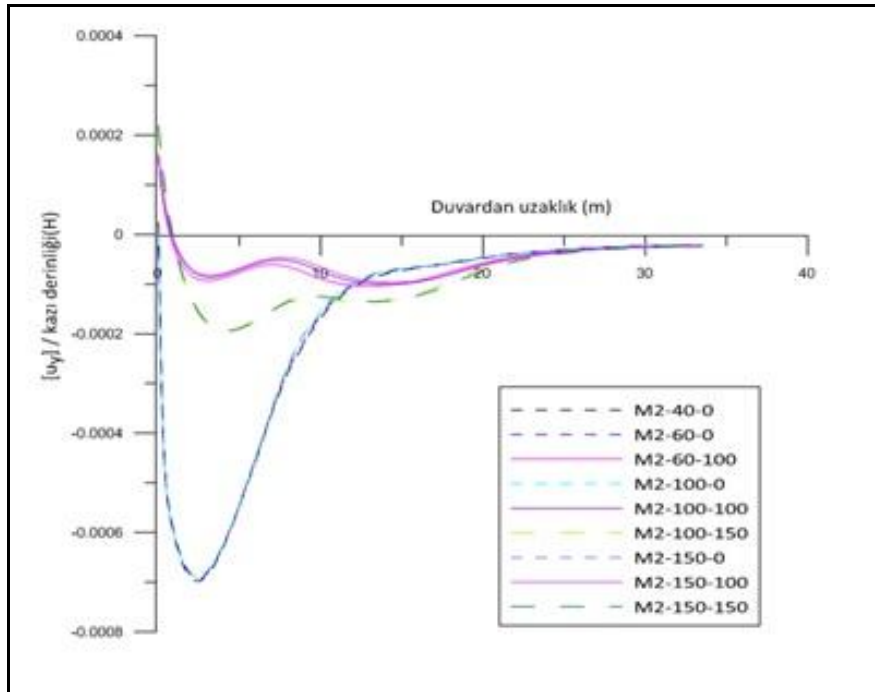
6.4 Kazı Etkisi ile Perde Arkası Zemin Yüzünde Oluşan Oturmalar

Kazı dolayısı ile perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan oturmaların uygulanan öngerme kuvveti değerine göre değişimi Şekil 6.5’te verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi ankraj öngerme kuvvetinin değeri perde arkası zemin oturmalarının şeklini ve maksimum değerini önemli ölçüde değiştirmektedir. Öngerme etkisinin olmadığı durumda zemin yüzeyinde oturmalar konkav olarak gelişirken öngerme kuvvetinin etkisi ile bu konkavlığın şekli, maksimum oturma yeri ve değeri değişmektedir.



Şekil 6.5 M1 modelleri duvar arkası düşey yer değiştirmelerin karşılaştırılması

Şekil 6.6'da yapılan analizlerde elde edilen sonuçlara göre uygulanan öngerme kuvveti ile kazı etkisinde perde arkasında oluşan maksimum oturmalar arasındaki ilişki gösterilmiştir.

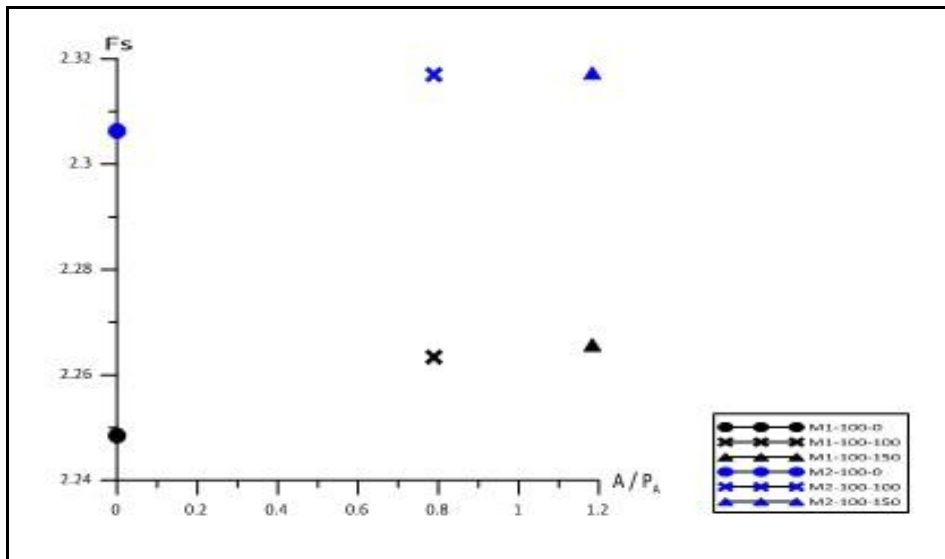


Şekil 6.6 M2 modelleri duvar arkası düşey yer değiştirmelerin karşılaştırılması

Şekil 6.6'da verilen grafikte yapılan M2 analizlerden elde edilen sonuçlara göre uygulanan öngerme kuvveti ile kazı etkisinde perde arkasında oluşan maksimum oturmalar arasındaki ilişki gösterilmiş ve bu şekilden de görüldüğü gibi ankraj öngerme kuvvetinin değeri perde arkası zemin oturmalarının şeklini değiştirmektedir. Öngerme etkisinin olmadığı durumda zemin yüzeyinde oturmalar diğer durumlara göre çok daha fazladır. Şekil olarak konkav gelişirken öngerme kuvvetinin etkisi ile bu konkavlığın şekli değişmiştir.

6.5 Ankraj Öngerme Kuvvetinin Kazı Duraylılığına Etkisi

Ankraj öngerme kuvvetinin kazı duraylılığına etkisini göstermek için gözönüne alınan modellerde duraylılık analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler de Plaxis yazılımı ile gerçekleştirilmiş olup analizlerde mukavemet azaltımı yaklaşımı kullanılmıştır [26]. Duraylılık analizleri sonucunda elde edilen güvenlik sayılarının F_s , Aktif Rankine Toprak İtkisi ile boyutsuzlaştırılmış öngerme kuvvetine göre değişimi Şekil 6.7'de verilmiştir.



Şekil 6.7 M1 ve M2 modellerinde ankraj öngerme kuvvetinin kazı duraylılığına etkisi

Şekil 6.7'de verilen grafikte yapılan analizlerden elde edilen sonuçlara göre uygulanan öngerme kuvveti ile kazı duraylılığı arasındaki ilişki gösterilmiş ve bu şekilden de görüldüğü gibi ankraj öngerme kuvvetinin değeri arttıkça güvenlik sayısı artmaktadır. Ayrıca bu grafikten kök uzunluğunun artması ile daha güvenli olacağıda anlaşılmaktadır.

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada, diyafram perde ile yapılan destekli derin kazılar arkasında oluşan yüzey oturmalarına etki eden faktörler sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Gerçekleştirilen bu analizlerde değişken parametre olarak ankraj kök uzunluğu, çevre sürtünmesi uç direnci (T_{max}), ankraj öngerme kuvveti (A) göz önüne alınmıştır.

Sayısal analizlerde homojen bir zemin ortamı gözönüne alınmıştır. Diyafram perde arkasındaki yüzey oturmalarının mesafe ile değişimini gerçeğine daha uygun bulabilmek için bünye davranışı için Hardening Small Strain (HSs) model kullanılmıştır. Kazı derinliği için modellenen ankrajlı iksa sisteminde diyafram perde plak eleman, serbest ankraj bölgesindeki ankraj halatları “node to node anchor eleman” ,ankraj kökleri ise son birkaç yıldır kullanılmaya başlanılan “embedded pile row” kullanılarak modellenmiştir.

Tüm modellerde nihai kazı derinliği 6.5m olması durumu göz önüne alınmış ve zemin parametreleri sabittir. Sayısal analizlerde zemin ortamı için drenajlı malzeme davranışı gözönüne alınmıştır. Buna ek olarak efektif malzeme parametrelerinin kullanıldığı sonlu elemanlar modelinde duvar ile zemin arasına ara yüzey elemanlar yerleştirilmiş olup zemin-yapı etkileşimi sağlanmıştır.

Analizlerde göz önüne alınan her bir model için duvar sehiminin derinlikle, duvar arkasındaki zemin yüzey oturmasının ise duvara uzaklığı ile değişimi incelenmiştir.

Ayrıntıları Bölüm 6'da verilen bu incelemelerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir.

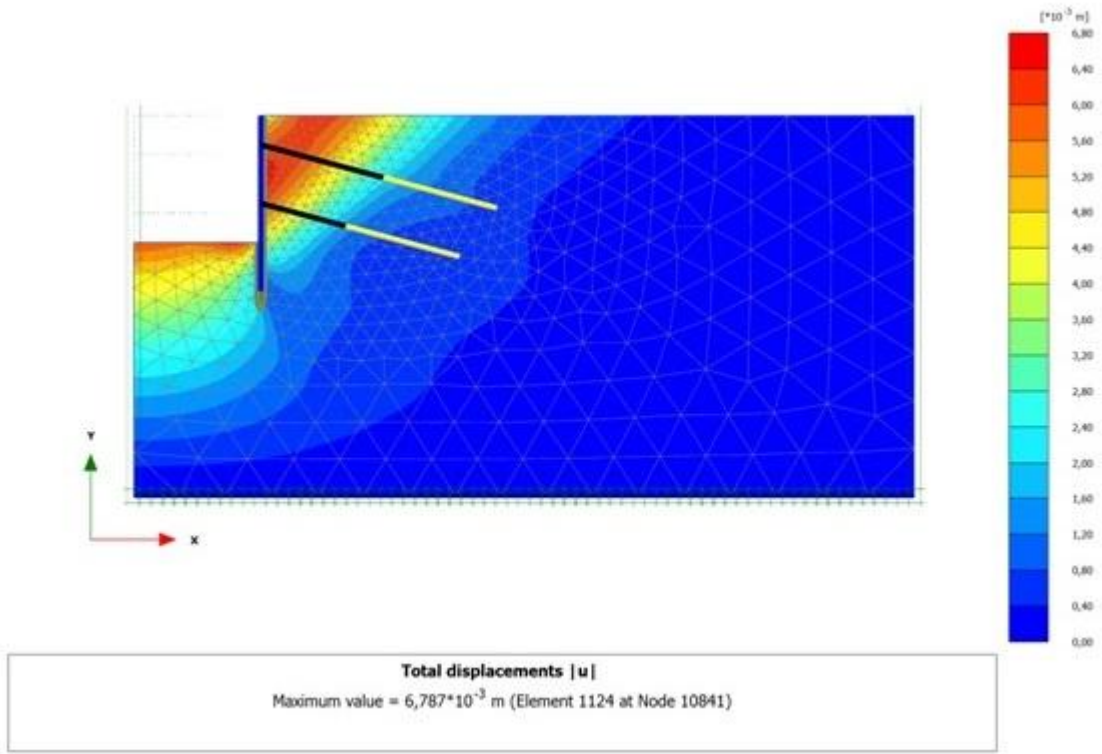
- 1) Aynı zemin profiline sahip modeller üzerinde yapılan analizler sonucunda kök uzunluğunun artmasının diyafram perde yer değiştirmeleri üzerinde kayda değer bir etkisi olmadığı görülmektedir. Her iki kök boyu kıyaslandığında 6m'nin yeterli olduğu anlaşılmaktadır.
- 2) Öngerme kuvvetinin artmasının perde yatay yer değiştirmeleri üzerindeki etkisinin oldukça önemli olduğu ve analizleri yapılan modeller karşılaştırıldığında öngerme kuvveti arttıkça yer değiştirmelerin azaldığı anlaşılmaktadır. Öngerme uygulanmış diyafram perde ile modellenmiş analizlere göre ankraj öngerme kuvvetinin şiddeti arttırıldığında kazı sonrası ortaya çıkan yer değiştirmeler azalacaktır.
- 3) Kazı dolayısı ile perde arkasındaki zemin yüzeyinde oluşan oturmaların miktarı uygulanan öngerme kuvvetinin değerine göre önemli ölçüde değişmektedir. Öngerme etkisinin olmadığı durumda zemin yüzeyinde oturmalar konkav olarak gelişirken öngerme kuvvetinin etkisi ile bu konkavlığın şekli, maksimum oturma yerini değiştirmekte ve değeri azalmaktadır.
- 4) Yapılan analizler öngerme kuvveti uygulanmış ankrajlı bir diyafram perdenin öngerme kuvveti uygulanmamış bir diyafram perdeye göre duvar önünde daha fazla kazı yapılmasının mümkün olduğunu ve aynı kazı derinliğinde öngerme kuvveti uygulanmış diyafram perdede çok daha az yer değiştirmelerin meydana geldiğini göstermiştir.
- 5) Öngerme kuvveti ile kazı duraylılığı arasındaki ilişki incelendiğinde ise ankraj öngerme kuvvetinin değeri arttıkça beklendiği şekilde güvenlik sayısı artmakla birlikte öngerme kuvvetinin uygulandığı destekleme sistemine göre hesaplanan aktif Rankine toprak itkisinin %80'ine eriştikten sonra güvenlik sayısında önemli bir artış olmadığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

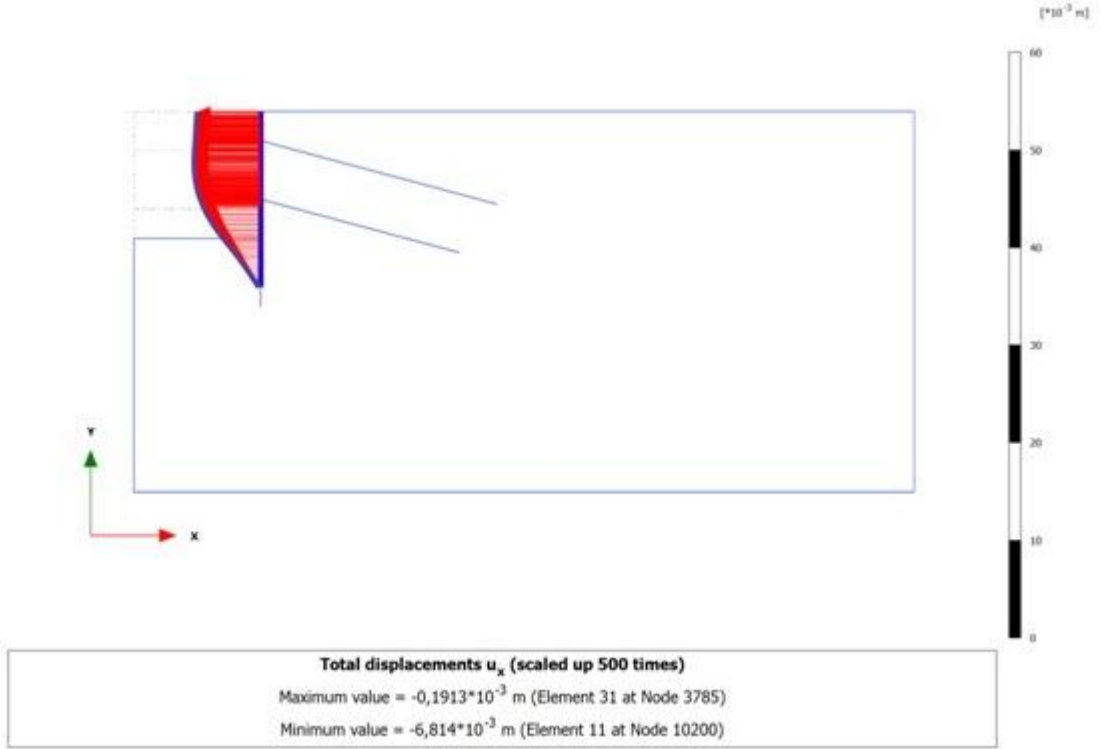
- [1] Yıldırım, S., (2009). Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, 3. Basım, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [2] Erdemgil, M., (1981). "Zeminde Ankraj Uygulaması", Zemin Mekaniği ve Temel Müh.1. Ulusal Kongresi, ODTÜ, Ankara.
- [3] Hanna, T.H. and Kurdi, I.I., (1974). "Studies on anchored flexible retaining walls in sand", J. Geotech. Engr. Div. ASCE, 100:GT10.
- [4] Anderson, W.F., Hanna, H.T., Abdel Malek, M.N. (1983). "Overall stability of anchored retaining walls", J.Geotech. Engr. Div., ASCE, 109:11, November.
- [5] Costopoulos, S.D. (1979). "Experimental investigation of model diaphragm wall", Tech. Note, J. Of Geotech. Engr. Div., ASCE, 105:GT11.
- [6] Özyaydın K.İ. ve Berilgen M. (1996). "İnşa Adımlarının Ankrajlı Perde Mekaniğine Etkisinin Model Deneylerle Araştırılması", Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 6. Ulusal Kongresi, Dokuz Eylül Üniv., İzmir.
- [7] Berilgen, M., (1996). Ankrajlı Perdelerde Zemin Yapı Etkileşiminin İncelenmesi, Doktora Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [8] Peck, R.B., (1969). "Deep Excavations and Tunneling in Soft Ground", State of the Art Report, Int. Conf. on SMFE, Mexico.
- [9] Sağlamer, A., (1989). "Derin Kazılar ve Kazıklı Temeller", Zemin Mekaniği ve Temel Müh. 3. Ulusal Kongresi, Boğaziçi Üniv., İstanbul.
- [10] Sağlamer, A., (1985), "Derin Kazıların Sorunları ve Destekleme Sistemleri", Derin Kazılar ve İksa Metotları Sempozyumu, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [11] Yenidoğan, C., (2006). İstinat Duvarlarının Deprem Sırasında Davranışı, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [12] Ou, C. Y., (2006). Deep Excavation: Theory and Practice, Taylor&Francis, London.
- [13] Yüksel, İ. C., (1986). Palplanş Perdelerin Genel Bilgisayar Programı ile Hesabı, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [14] Özberk, B. S., (2009). Ankraj Destekli Derin İksalarda Deformasyonların İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [15] Temeltaş İnşaat Sanayi ve Ticaret A.Ş., Fore Kazık Yapım Yöntemi, www.temeltas.com.tr . Erişim Tarihi: Mart 2015.
- [16] Ekici, H., (2011). Derin Kazı Sistemleri ve Derin Kazılara Bir Örnek: Akasya Acıbadem Projesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [17] FHWA0-IF-99-015, (1999). Geotechnical Engineering Circular No:4 Ground Anchors and Anchored Systems, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington D.C., USA.
- [18] YTÜ, İnşaat Mühendisliği Bölümü. Öngerme Ankrajlı İksa (Destekleme Sistemi) Tasarımı (2010), İstanbul.
- [19] Başeski, O., (2008). Derin Kazılarda İksa Sistemi Üzerine Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [20] BS-8081, 1989, British Standart Code of Practice for Ground Anchorages, British Standart Institution, London.
- [21] Terzaghi, K., and Peck, R. B., (1967), Soil Mechanics in Engineering Practice, Wiley, NewYork.
- [22] NAVFAC Design Manuals (1988), Foundations and Earth Structures, Department of the Navy, Alexandria, VA.
- [23] Demirkoç, A., (2007). Derin Kazılarda Zemin Çivisi ile Ankrajlı Destek Sistemlerinin Karşılaştırmalı Analizi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [24] GEOgrup İnşaat A.Ş., (2014). Plaxis ile Geomekanik Modelleme Kurs Notları, İstanbul.
- [25] Demir, D., (2015). Diyafram Duvarlı İksa Perdelerinde Meydana Gelen Yer değiştirmelerin ile İlgili Parametrik Bir Çalışma, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Brinkgreve, R., Rezanian, M., Bonnier, P. And Karstunen, M., (2012). "Non-Local Regularisation of Drucker-Prager Softening Model", Proceedings of the 20th UK Conference of the Association for Computational Mechanics in Engineering, 27-28th March 2012, the University of Manchester, Manchester.
- [27] Tunca, M., (2010). Derin Kazılardan Kaynaklanan Zemin Oturmalarının Sayısal Analizlerle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

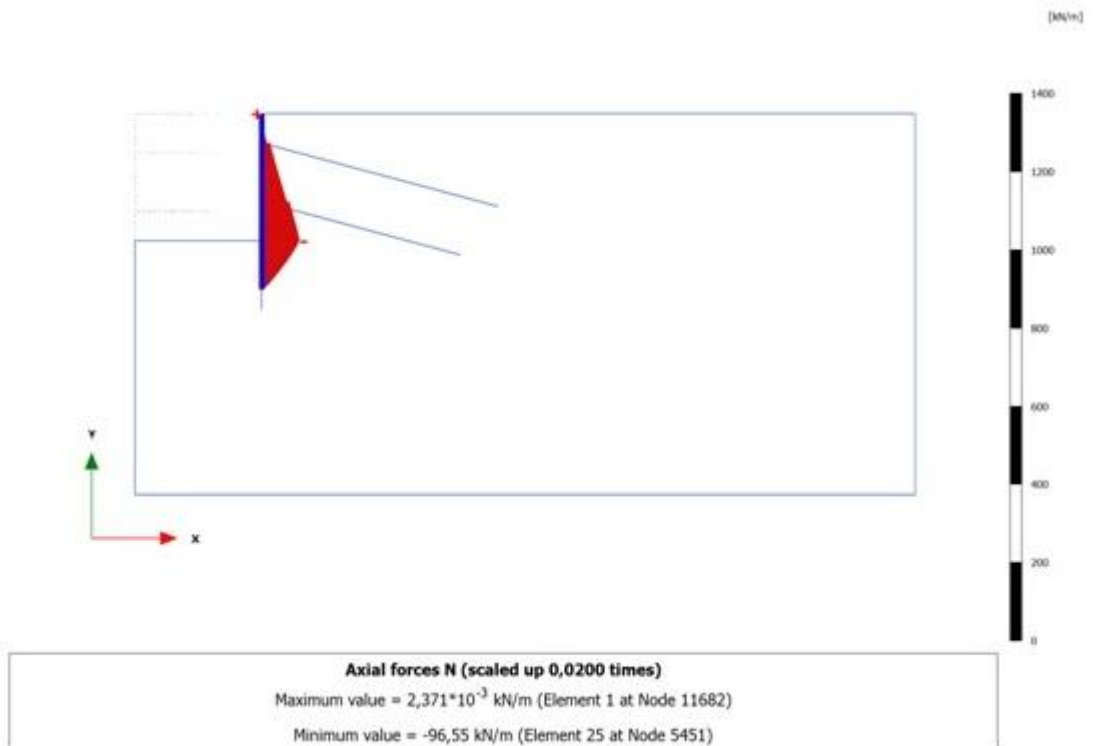
M1 Modellerin Plaxis Sonuçları



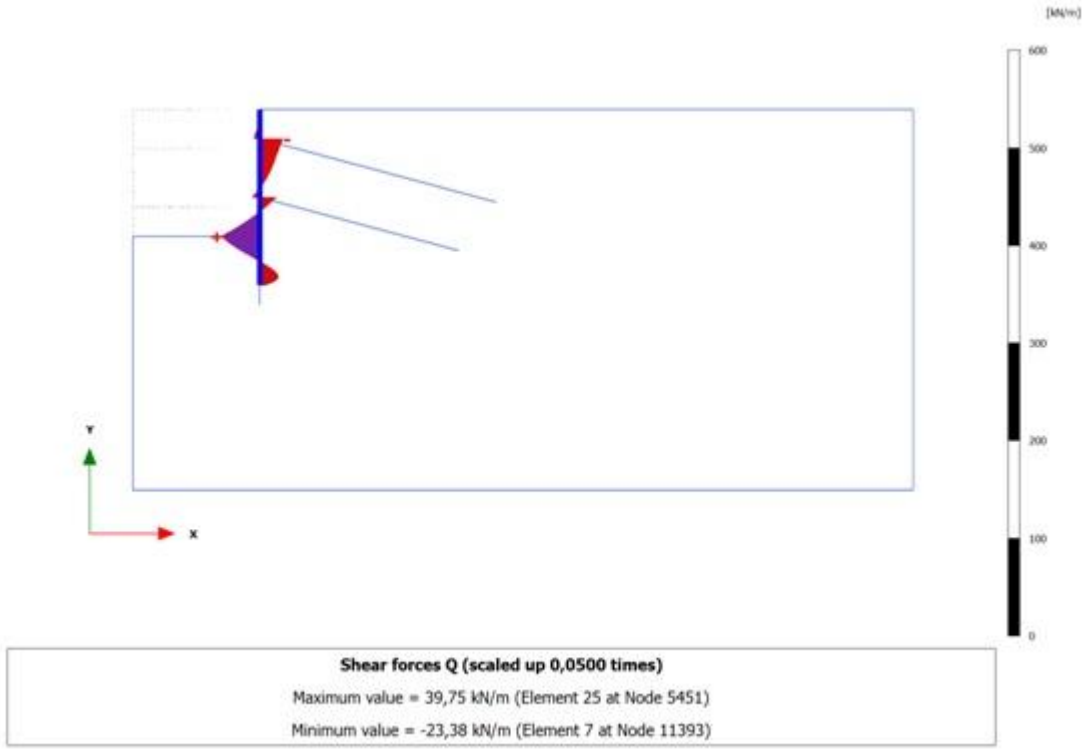
Şekil Ek A.1 M1-60-0 modeli için sistemin toplam yer değıştirmesi [u]



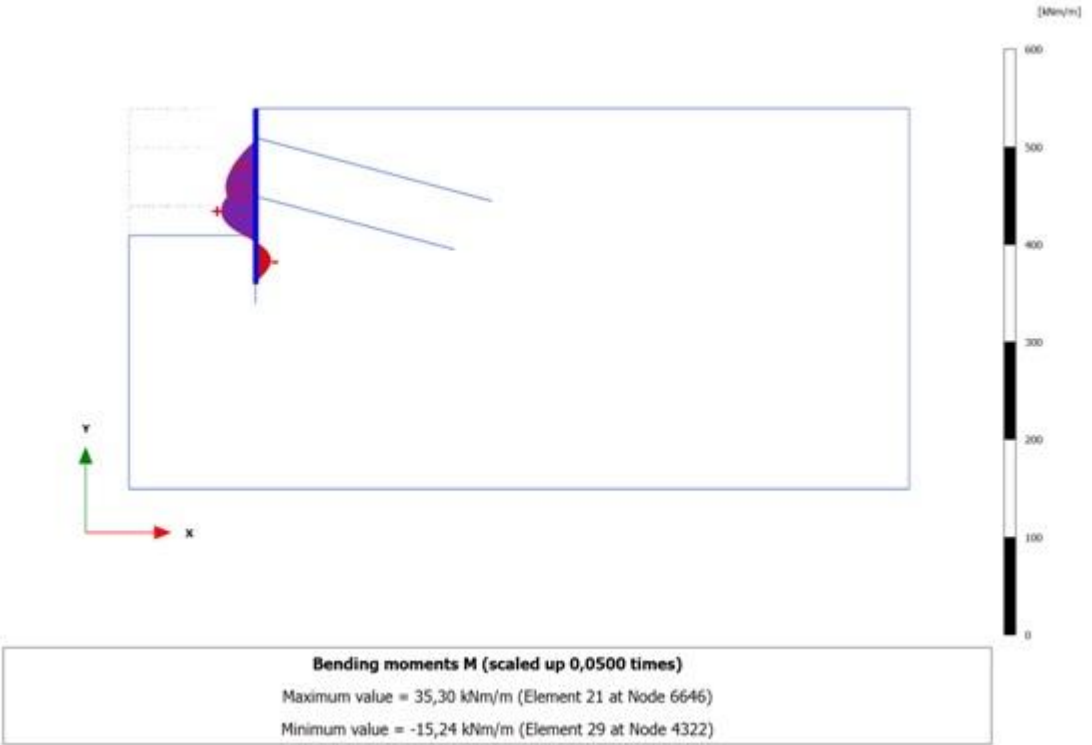
Şekil Ek A.2 M1-60-0 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



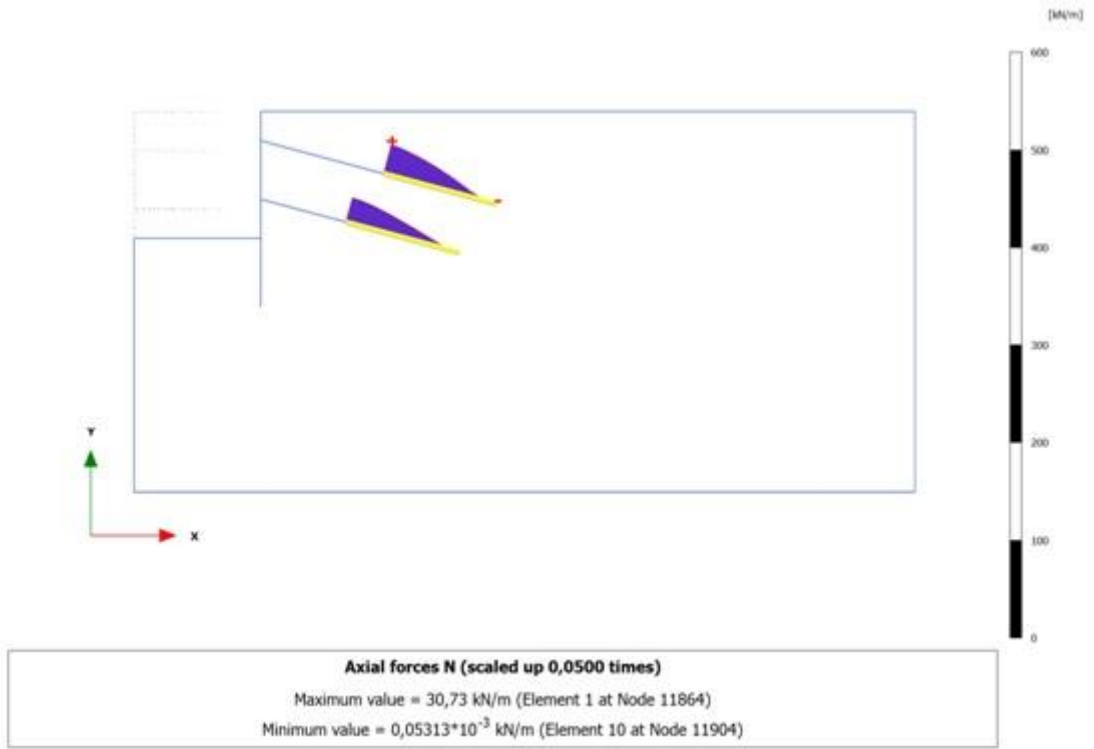
Şekil Ek A.3 M1-60-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



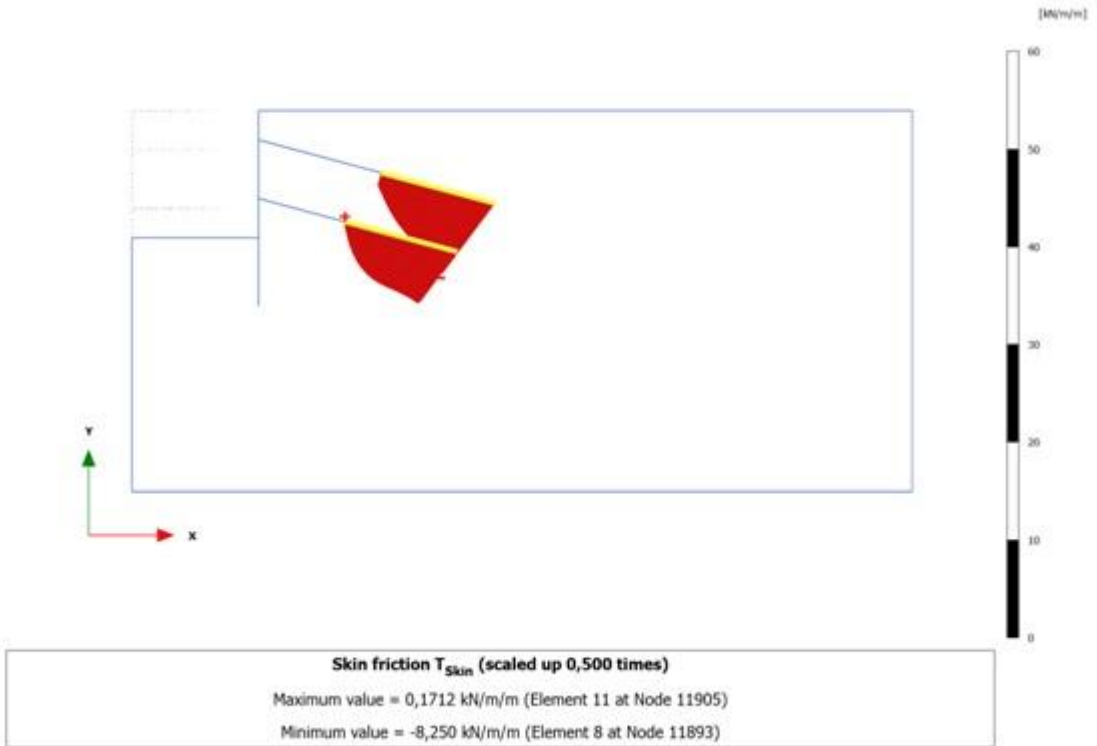
Şekil Ek A.4 M1-60-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



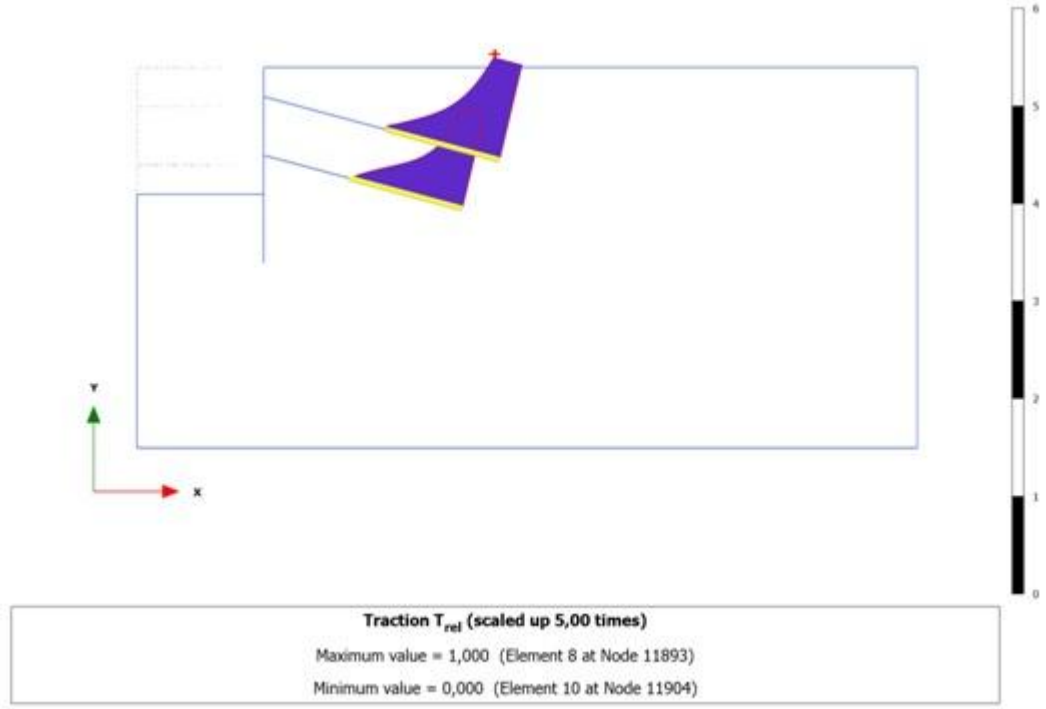
Şekil Ek A.5 M1-60-0 modeli için perde moment kuvveti (M)



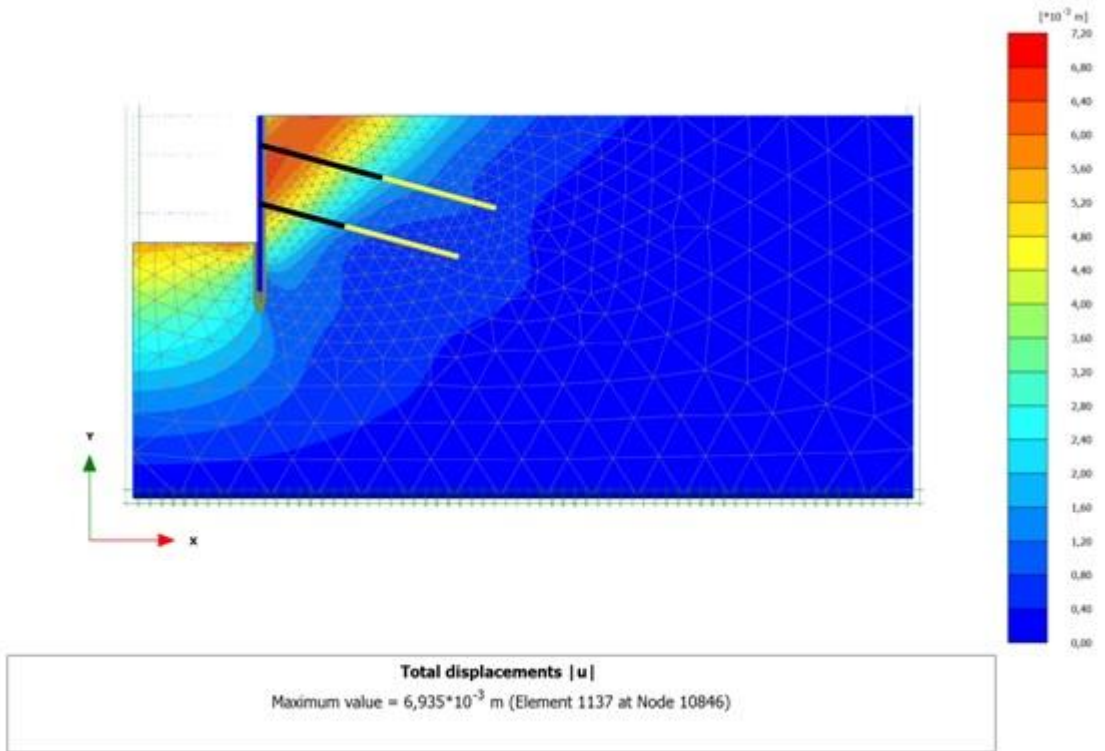
Şekil Ek A.6 M1-60-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



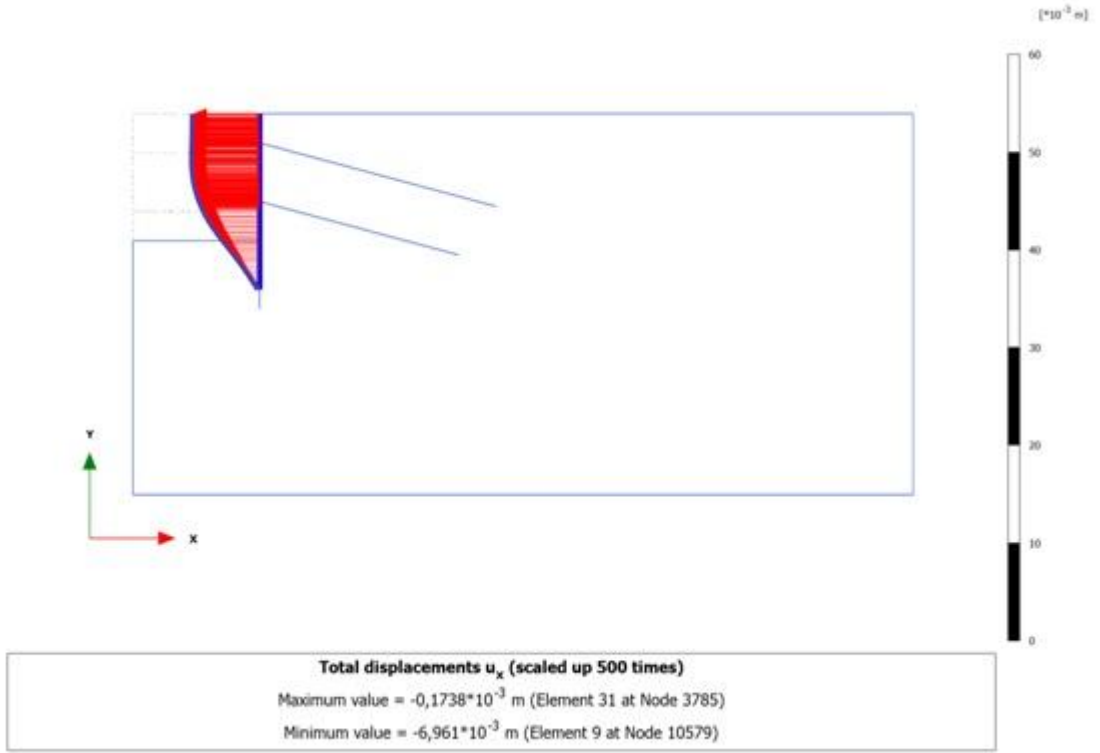
Şekil Ek A.7 M1-60-0 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



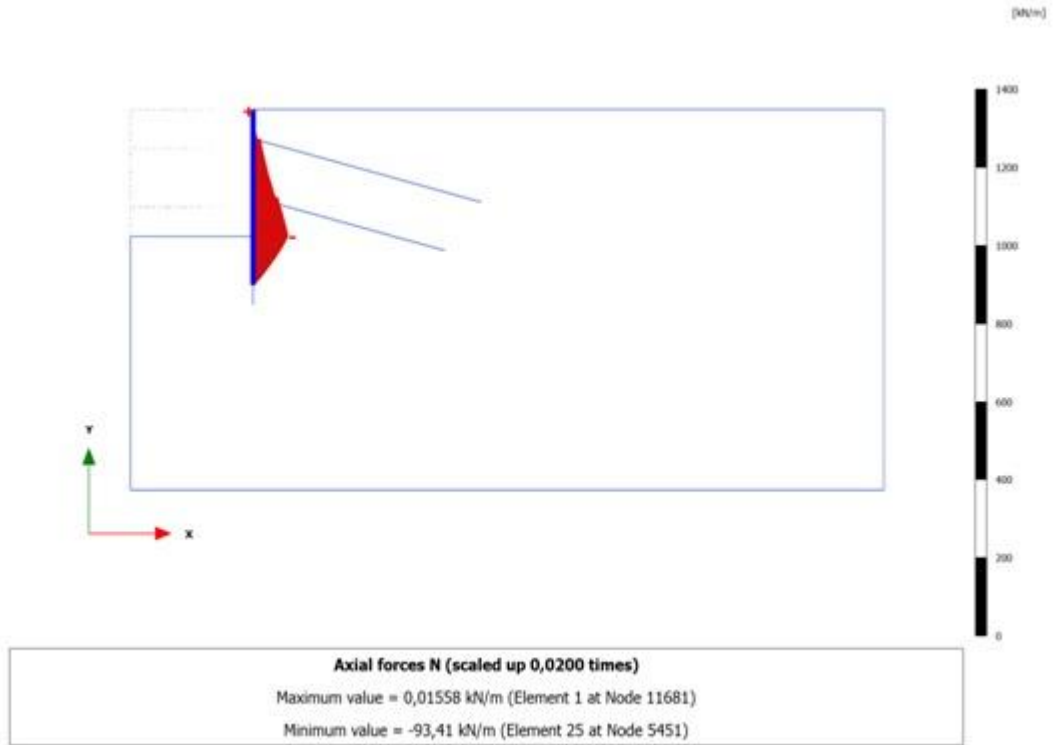
Şekil Ek A.8 M1-60-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



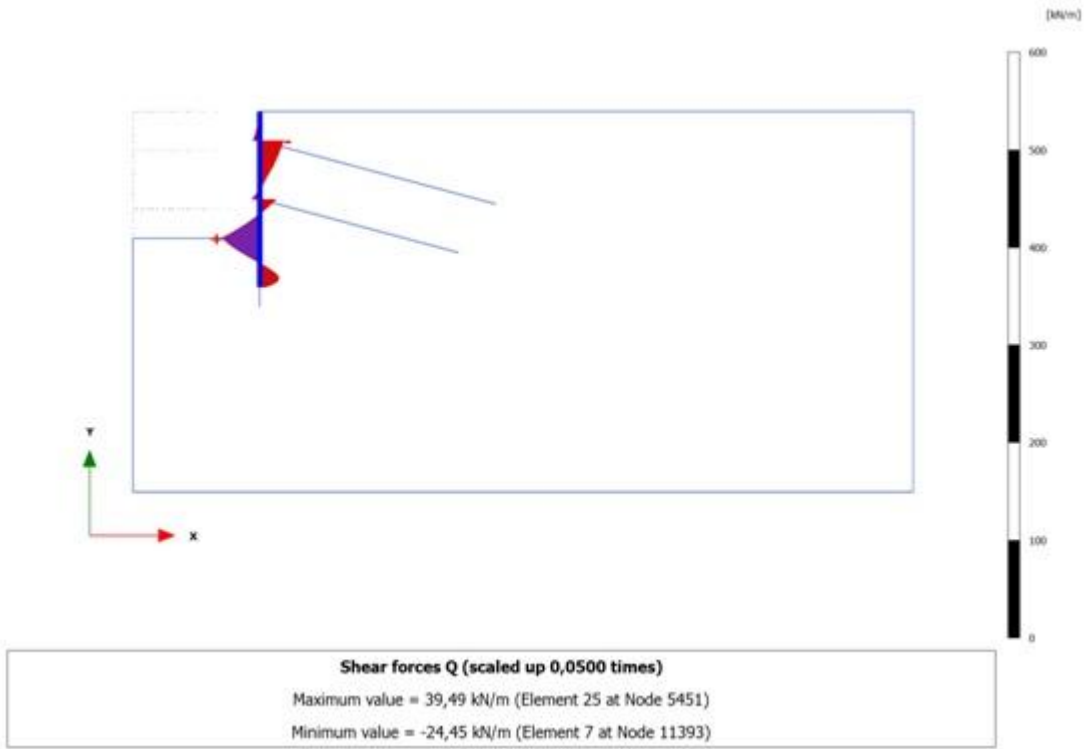
Şekil Ek A.9 M1-100-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



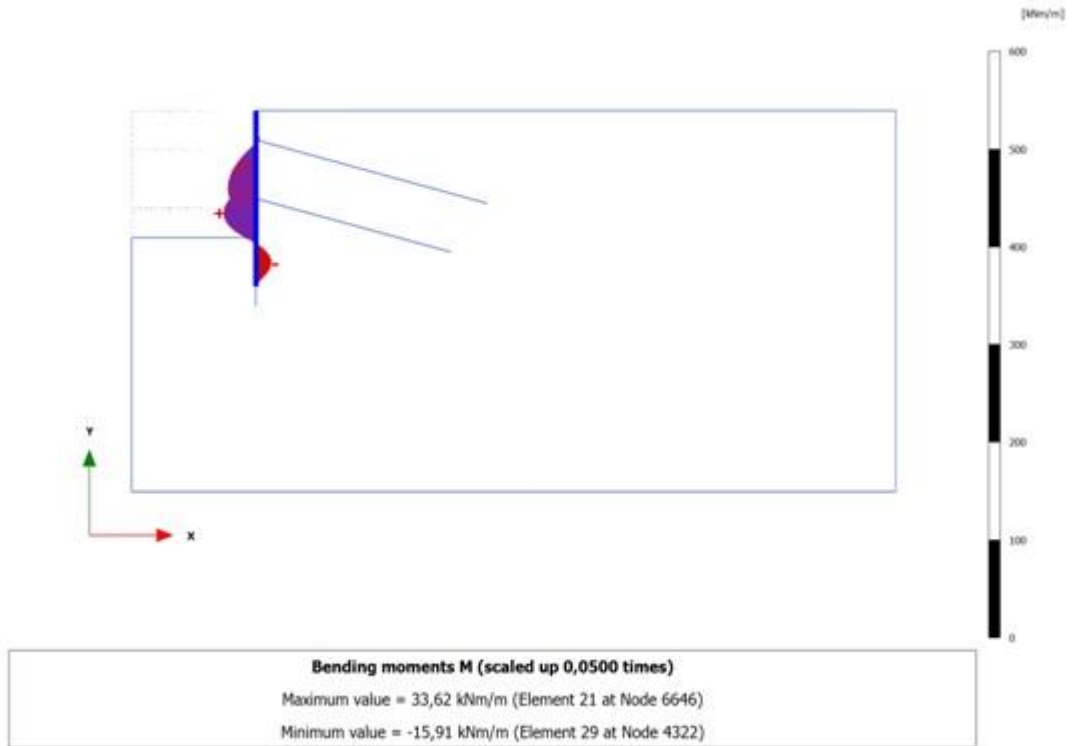
Şekil Ek A.10 M1-100-0 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



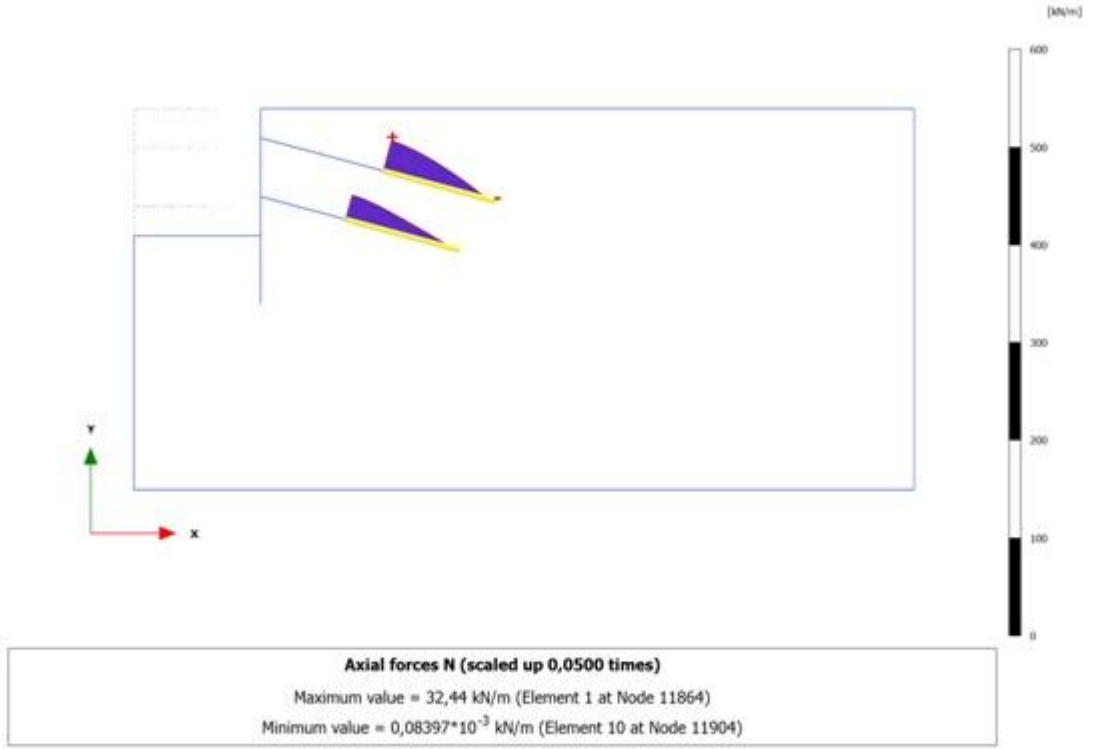
Şekil Ek A.11 M1-100-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



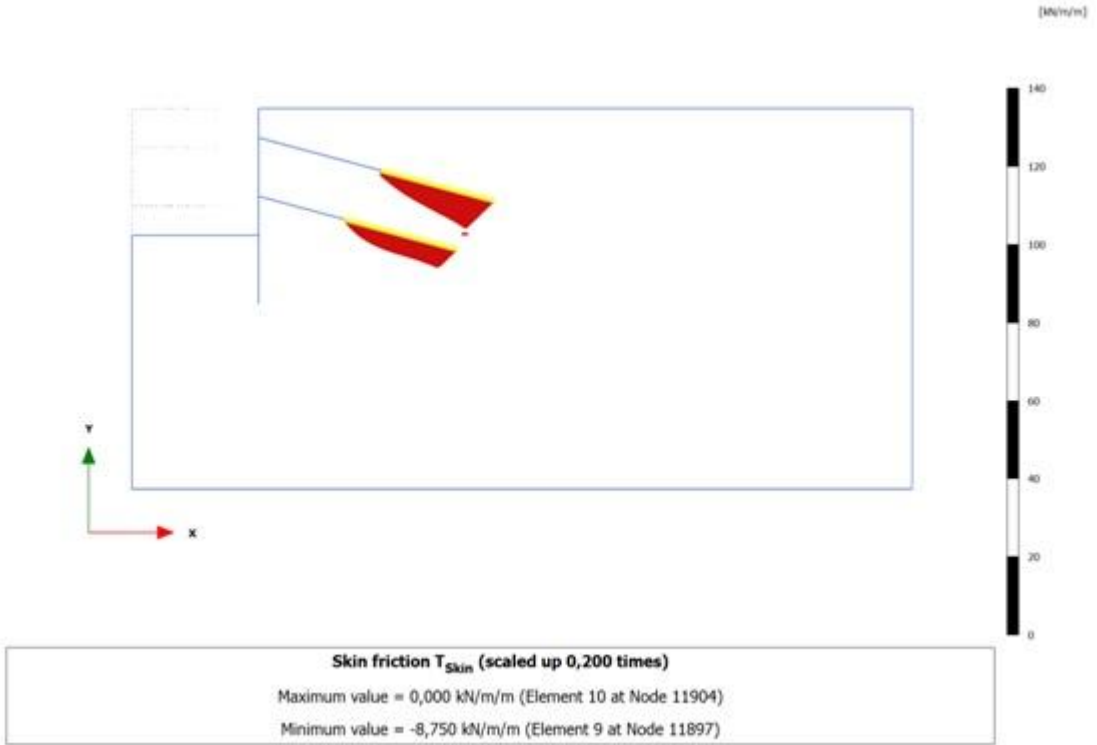
Şekil Ek A.12 M1-100-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



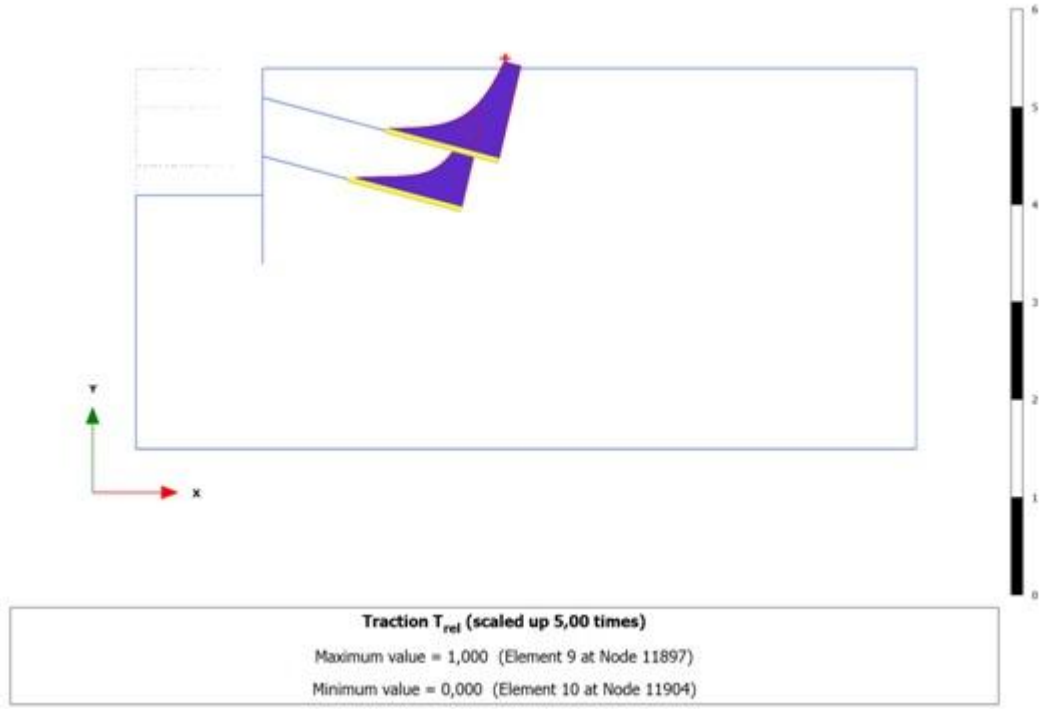
Şekil Ek A.13 M1-100-0 modeli için perde moment kuvveti (M)



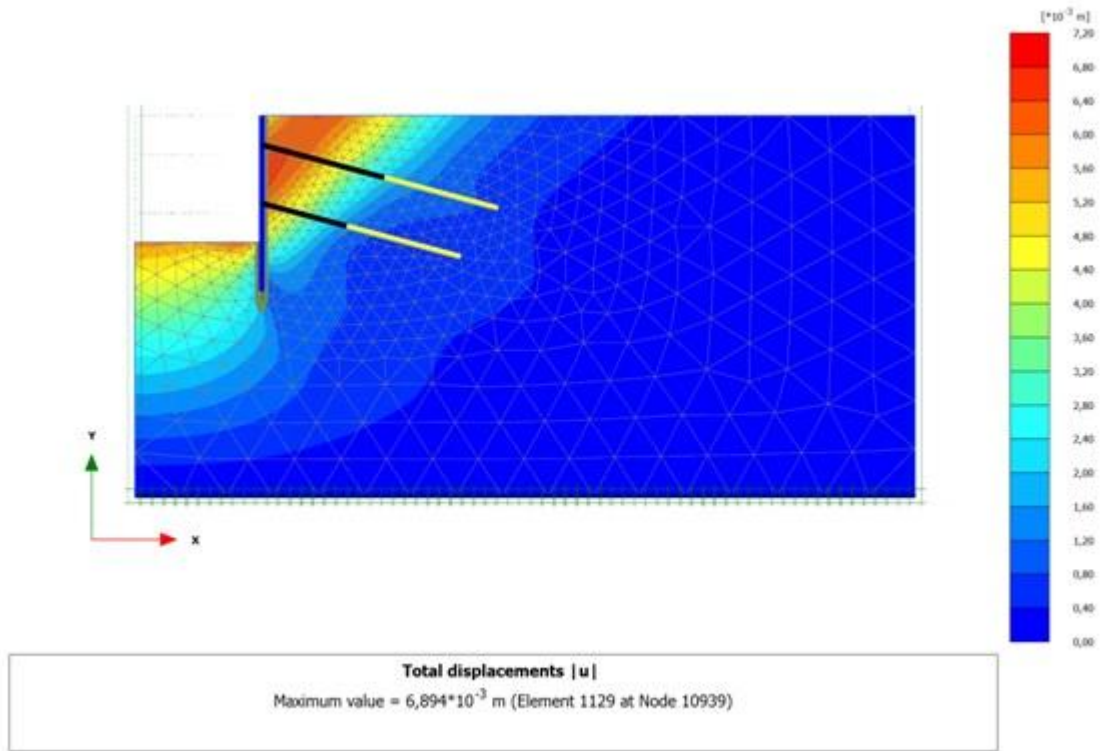
Şekil Ek A.14 M1-100-0 modeli için ankraj kökü boyuncanormal kuvvet değişimi (N)



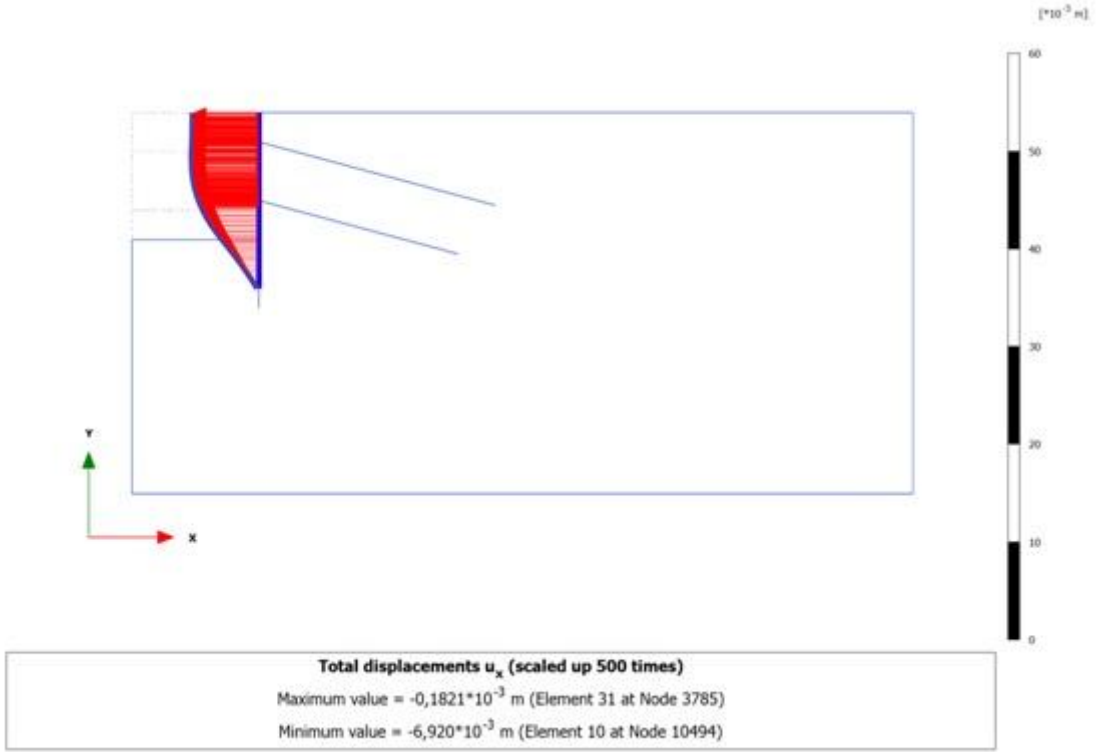
Şekil Ek A.15 M1-100-0 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



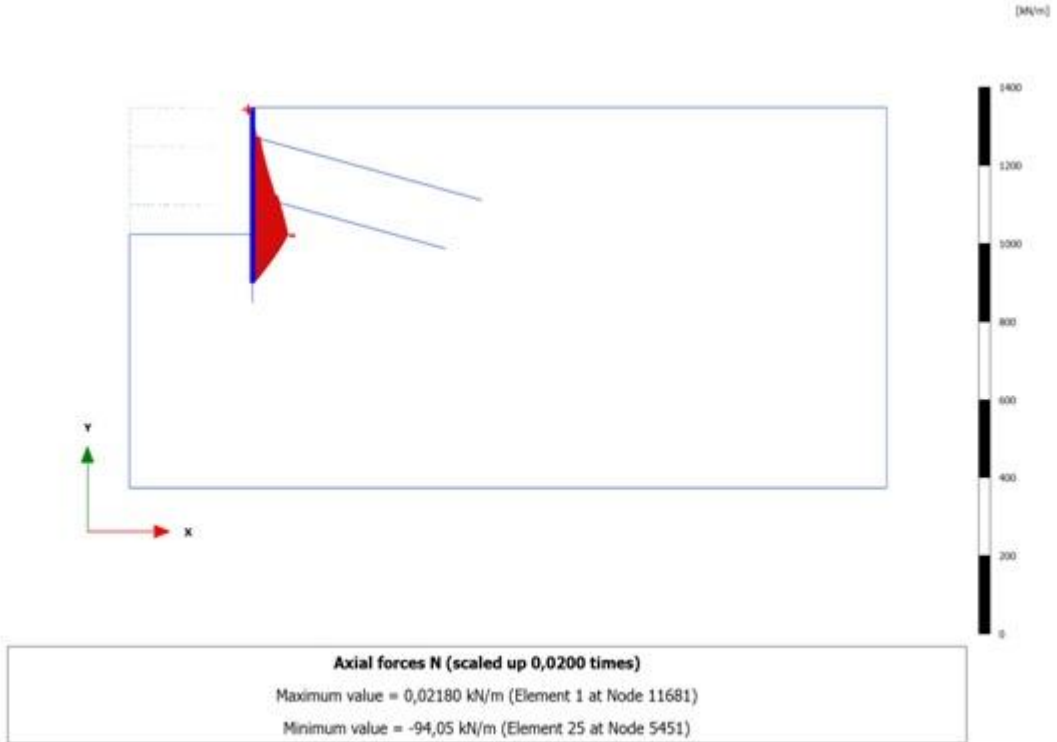
Şekil Ek A.16 M1-100-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



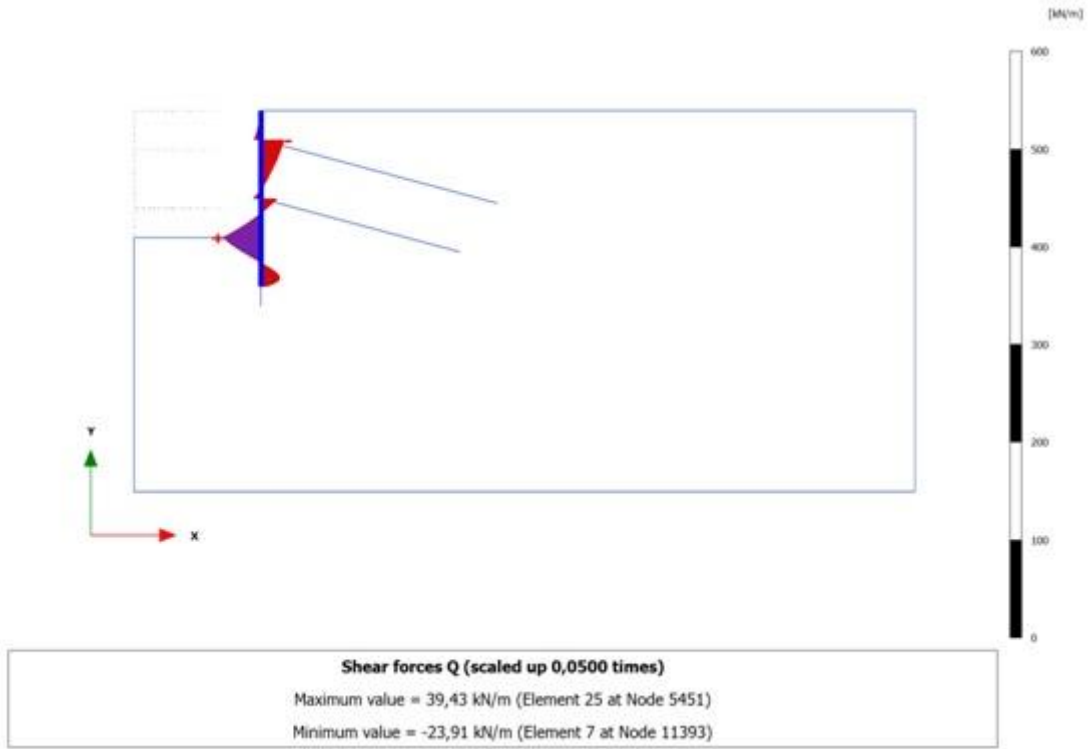
Şekil Ek A.17 M1-150-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



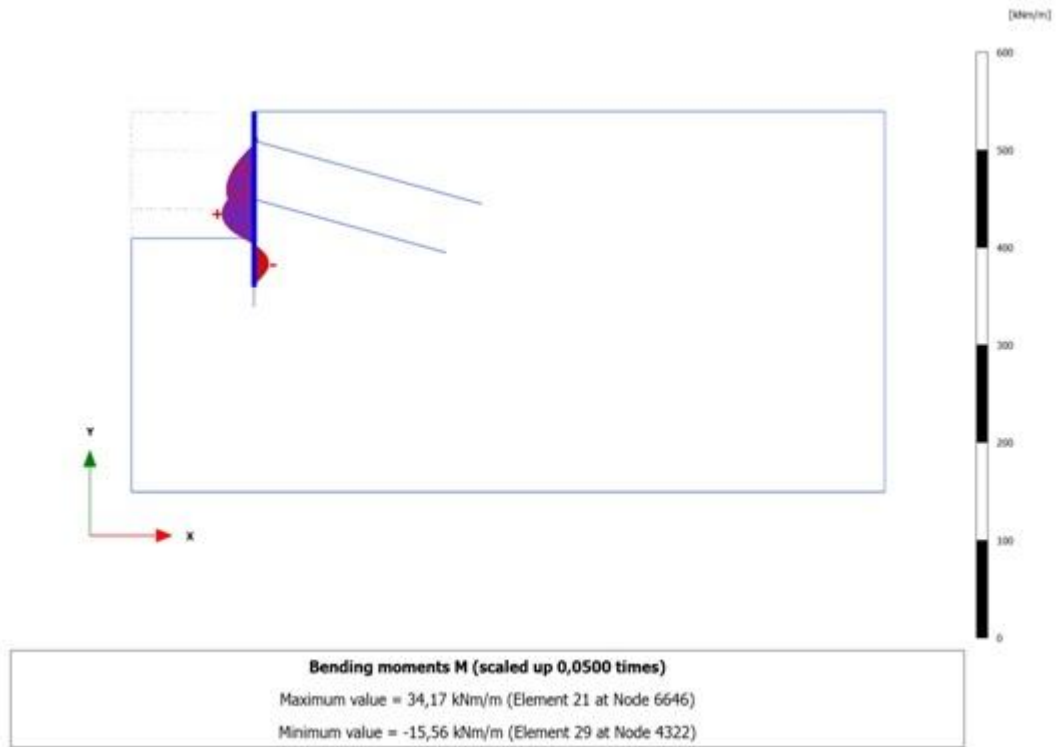
Şekil Ek A.18 M1-150-0 modeli için d.perdenin max. yatay yer değiştirmesi [u_x]



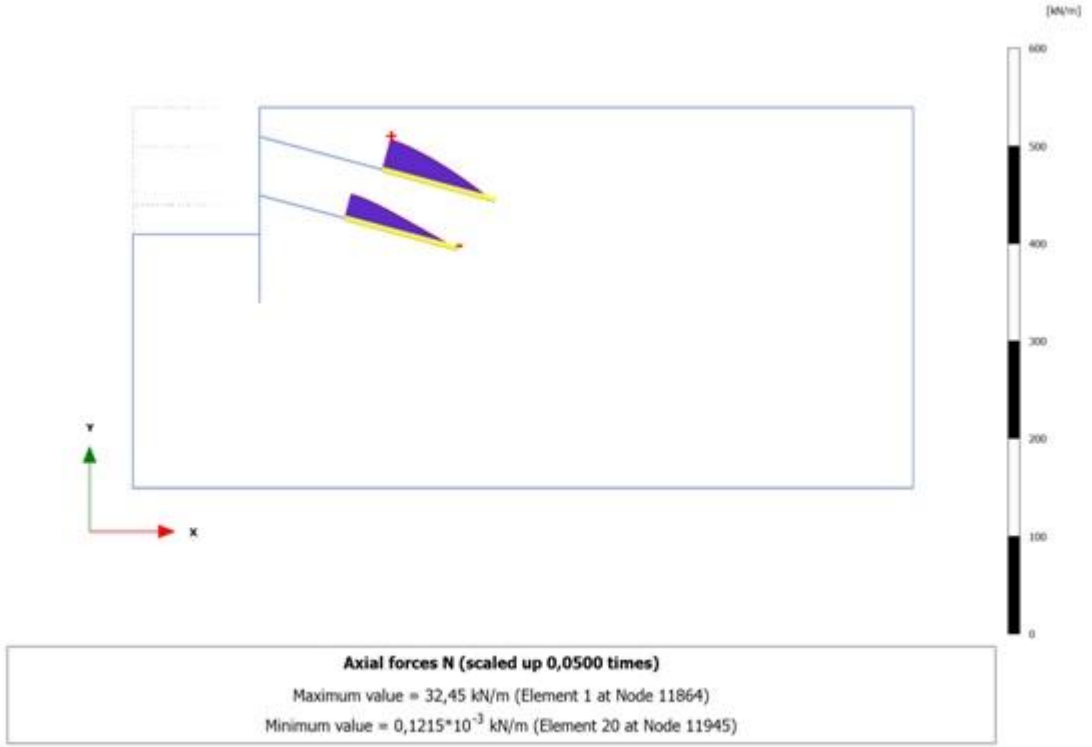
Şekil Ek A.19 M1-150-0 modeli için d.perdenin eksenel kuvveti (N)



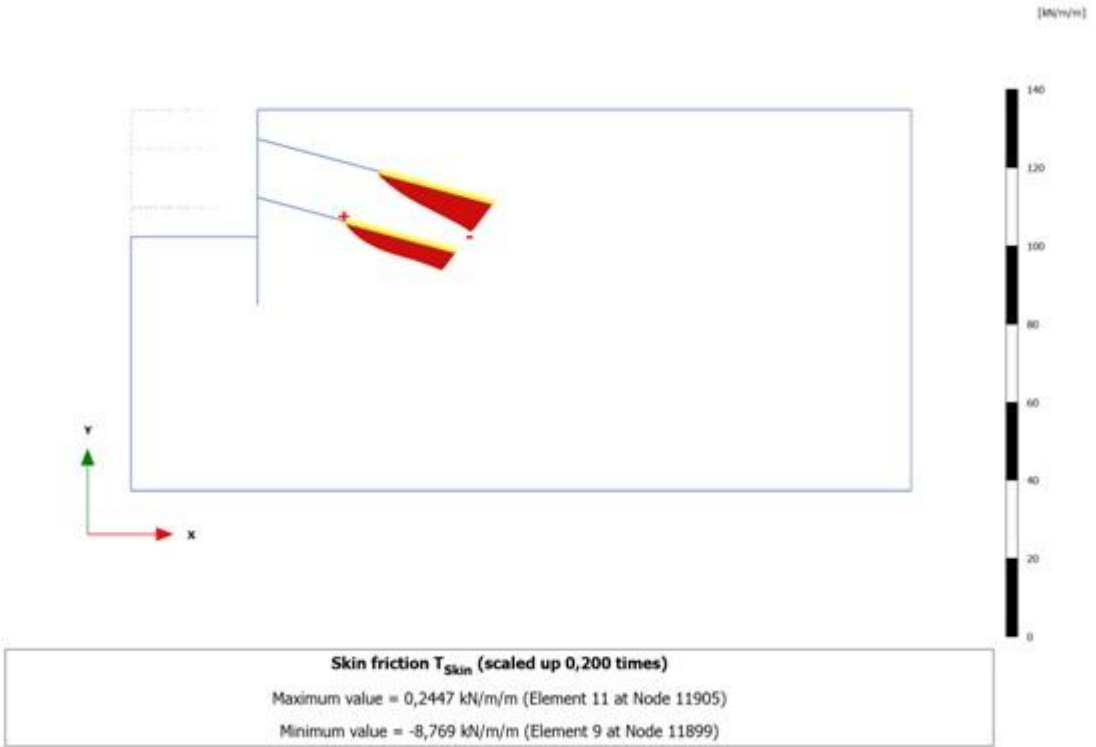
Şekil Ek A.20 M1-150-0 modeli için d.perdenin kesme kuvveti (Q)



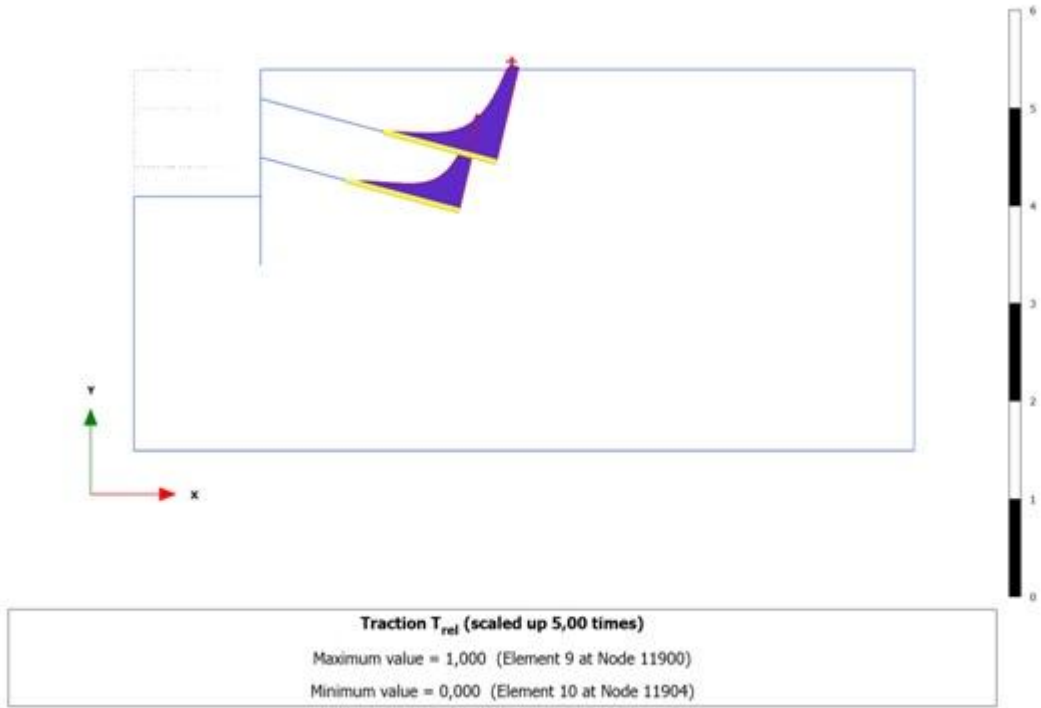
Şekil Ek A.21 M1-150-0 modeli için d.perdenin moment kuvveti (M)



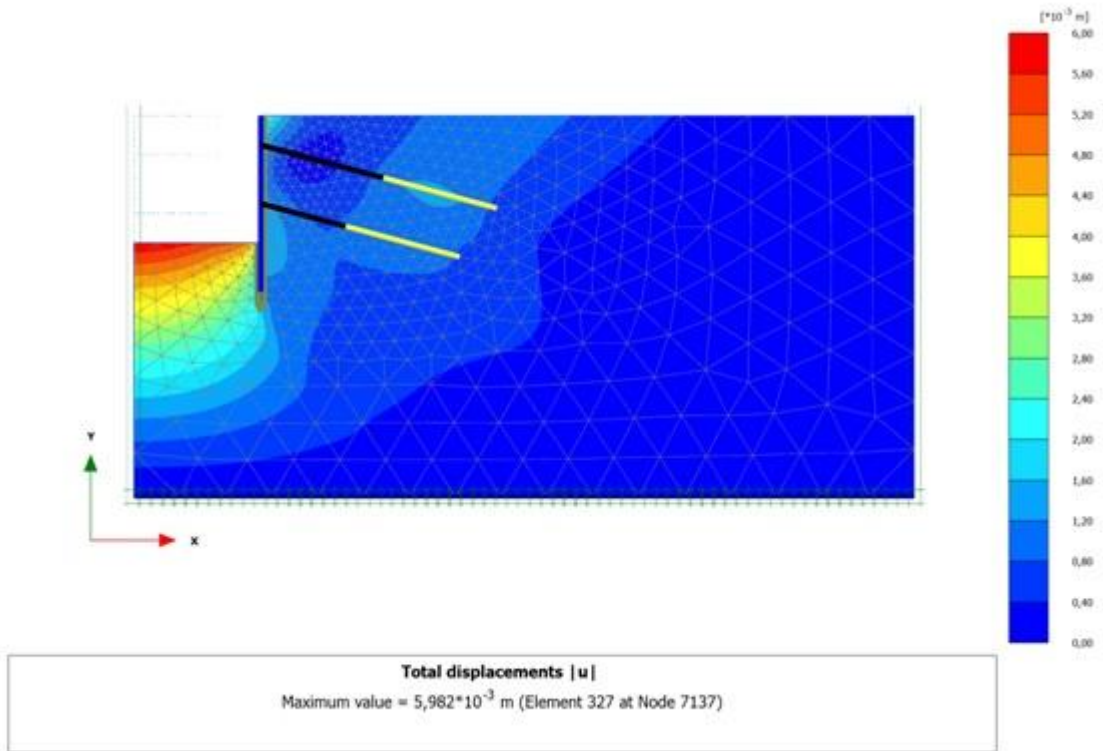
Şekil Ek A.22 M1-150-0 modeli için ankrajın hesap sonrası eksenel kuvveti (N)



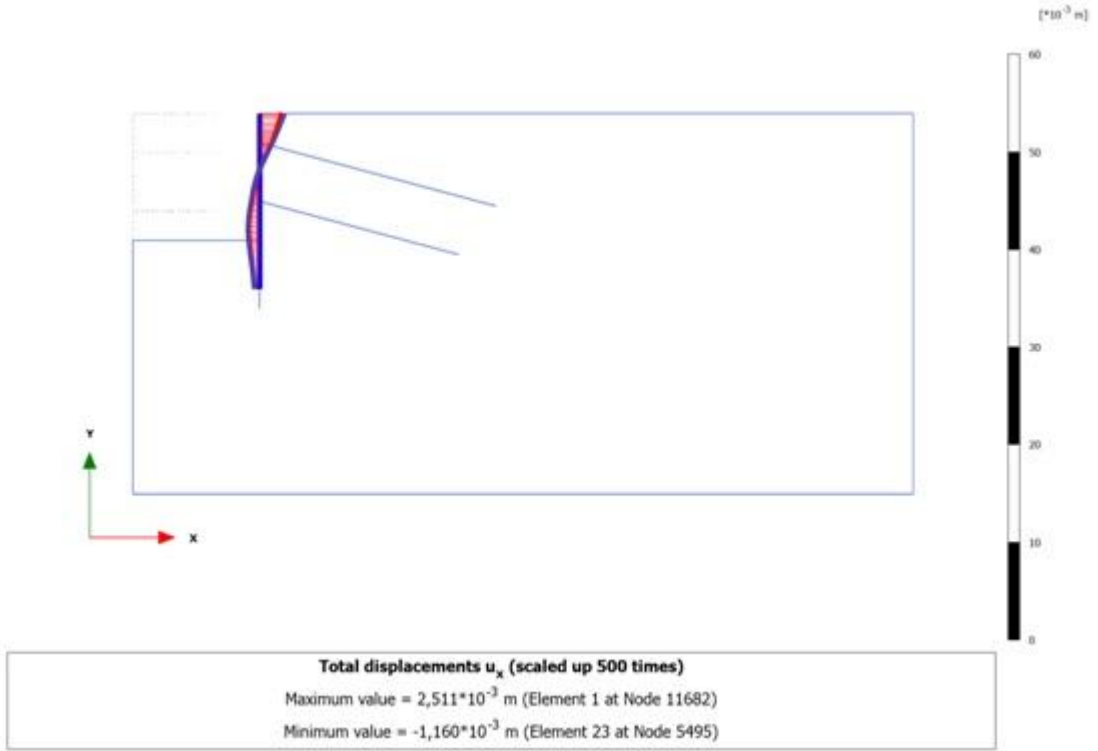
Şekil Ek A.23 M1-100-0 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



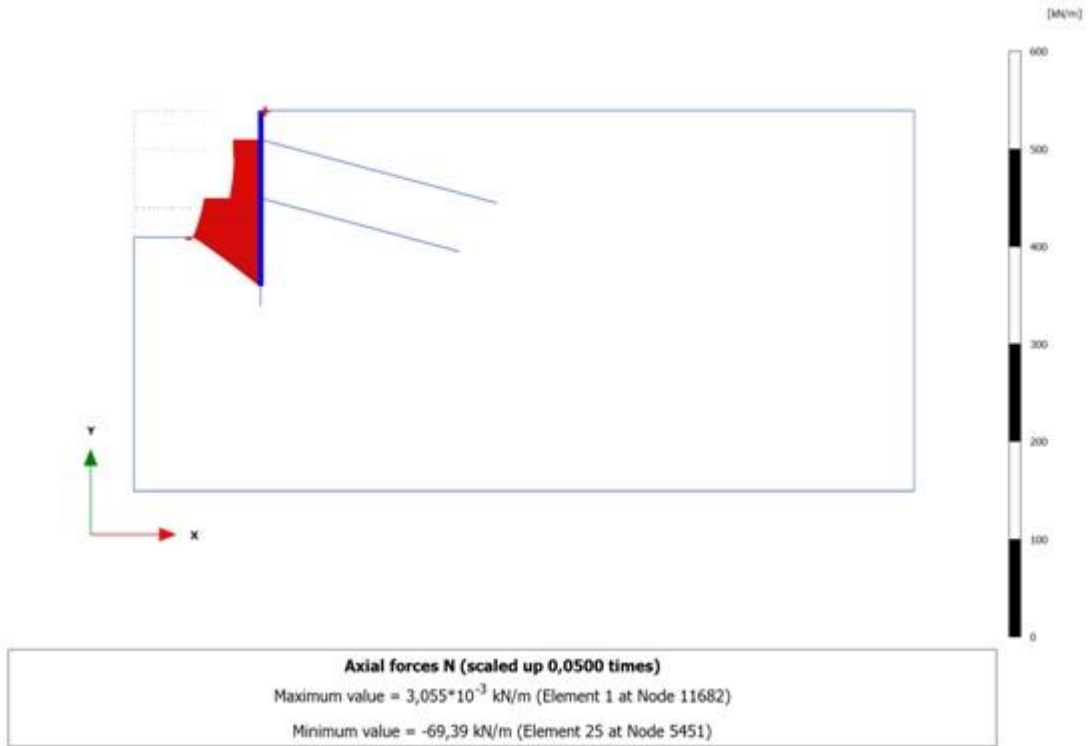
Şekil Ek A.24 M1-100-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



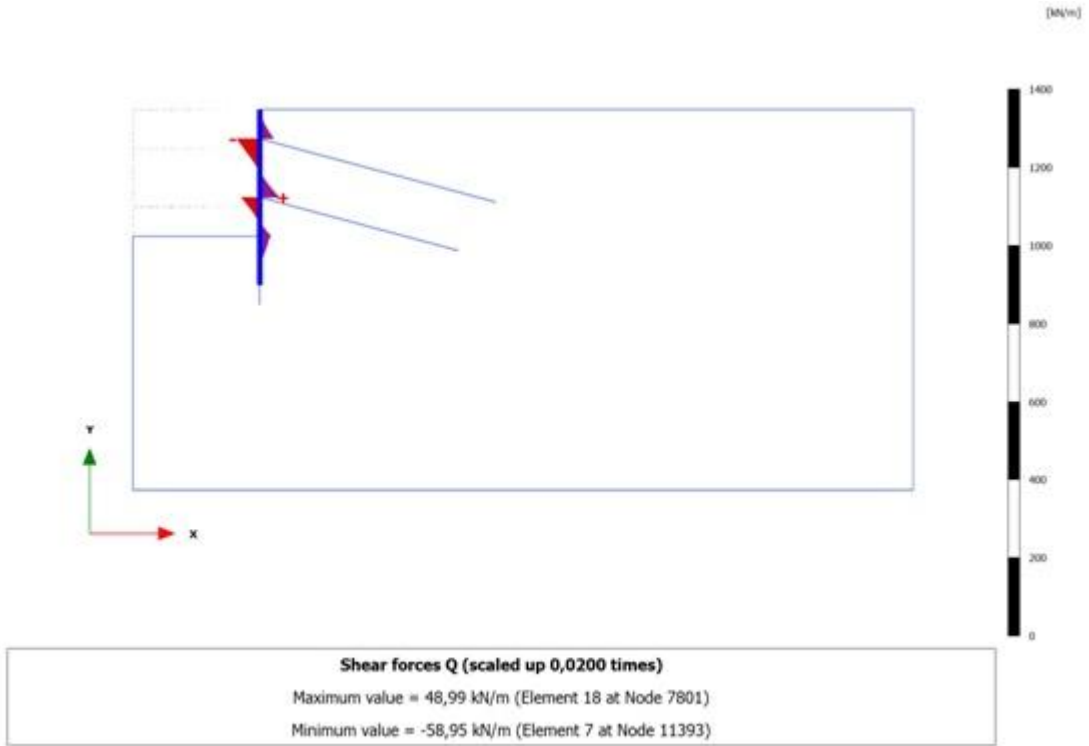
Şekil Ek A.25 M1-150-100 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



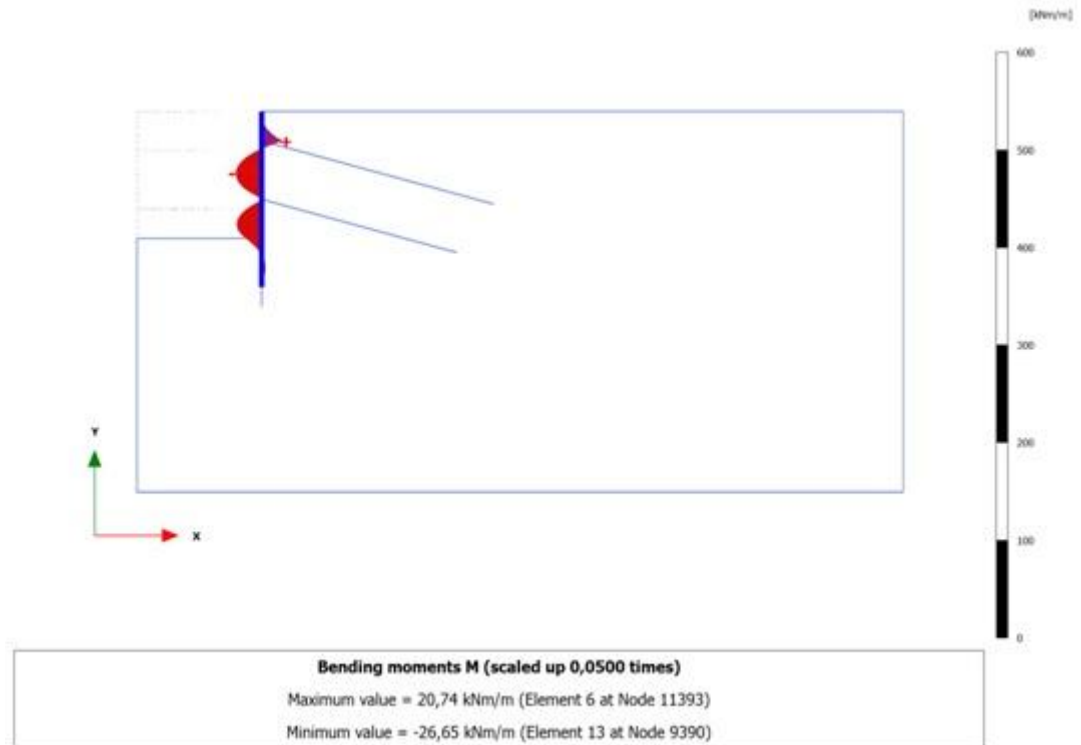
Şekil Ek A.26 M1-150-100 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



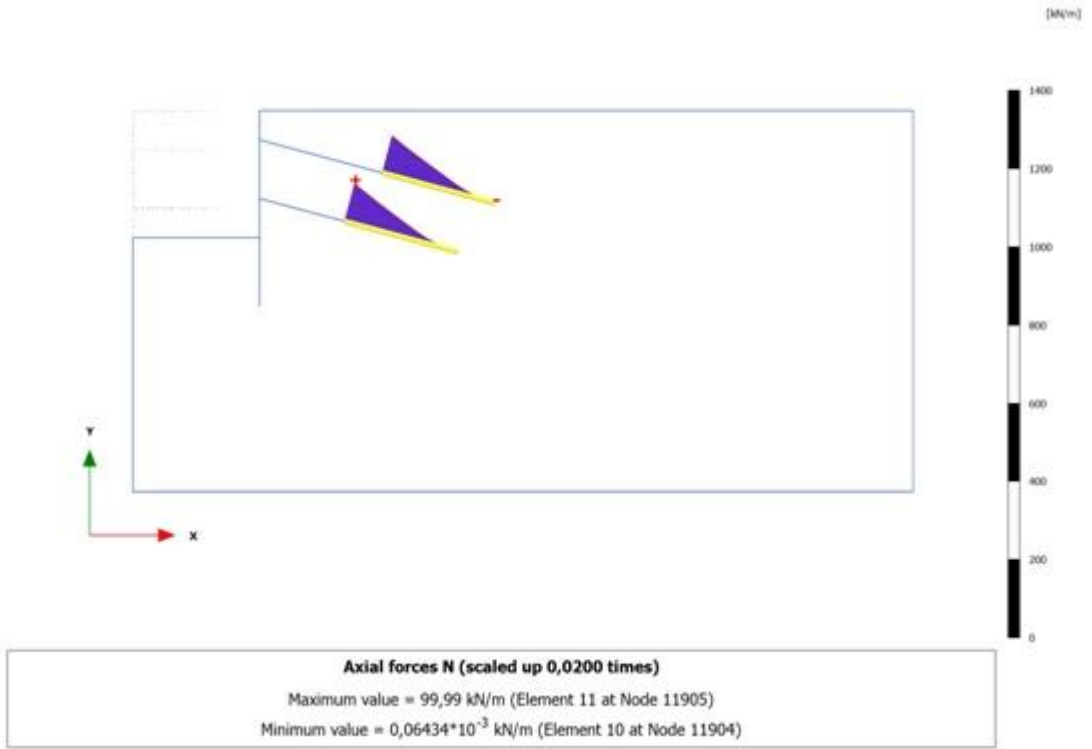
Şekil Ek A.27 M1-150-100 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



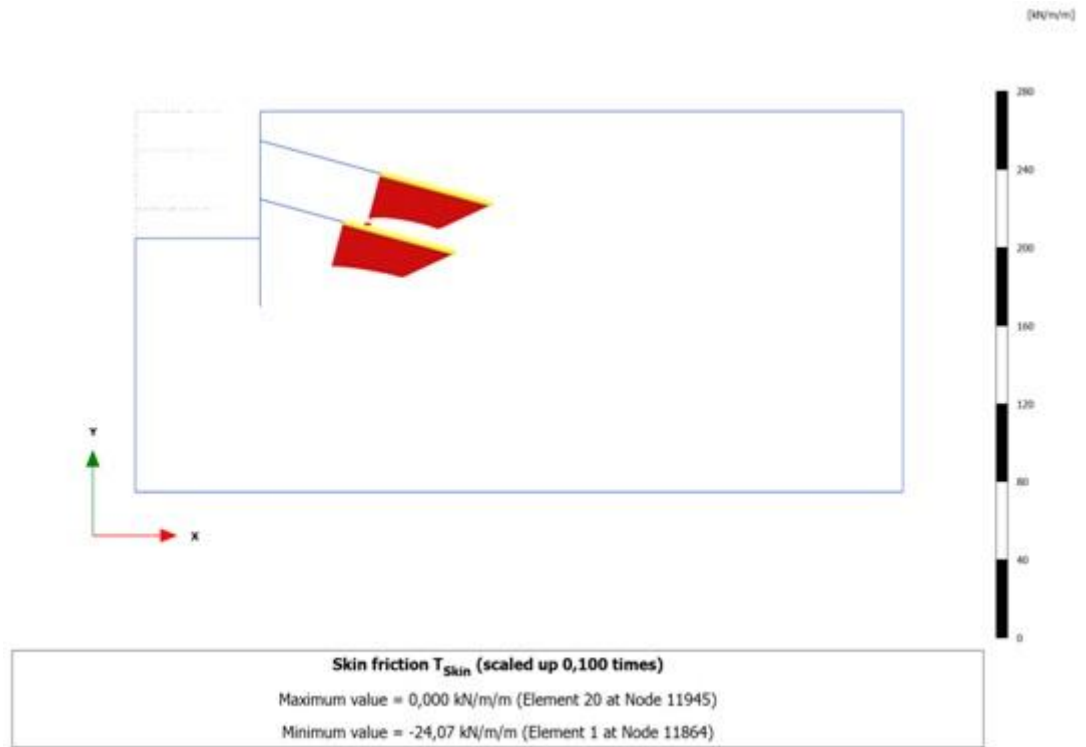
Şekil Ek A.28 M1-150-100 modeli için perde kesme kuvveti(Q)



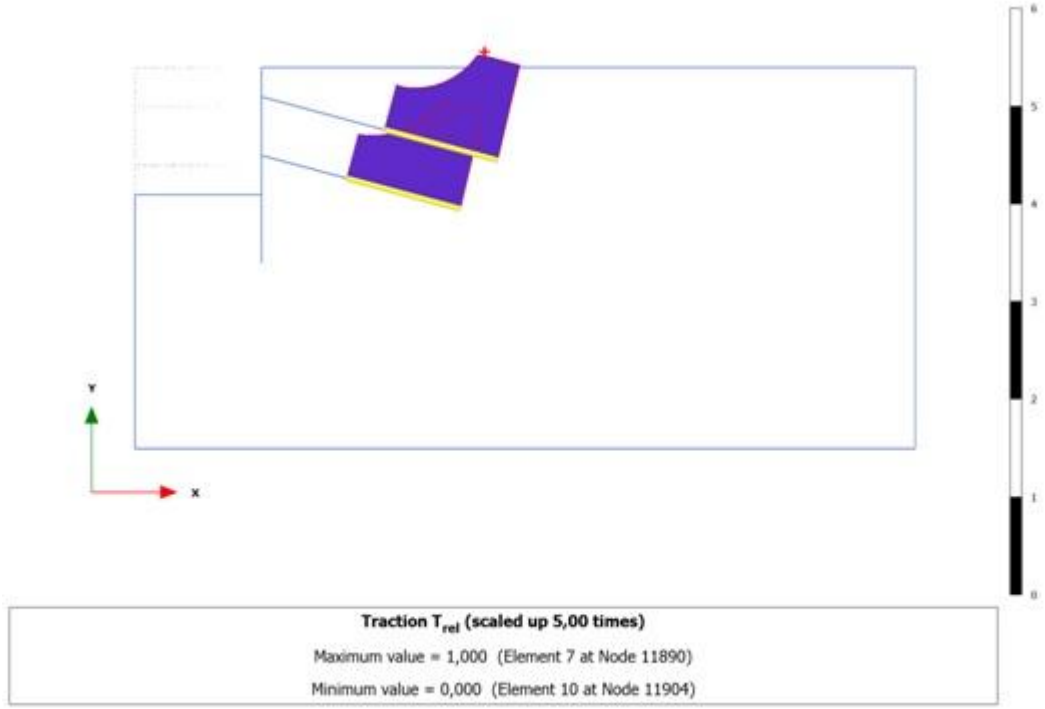
Şekil Ek A.29 M1-150-100 modeli için perde moment kuvveti (M)



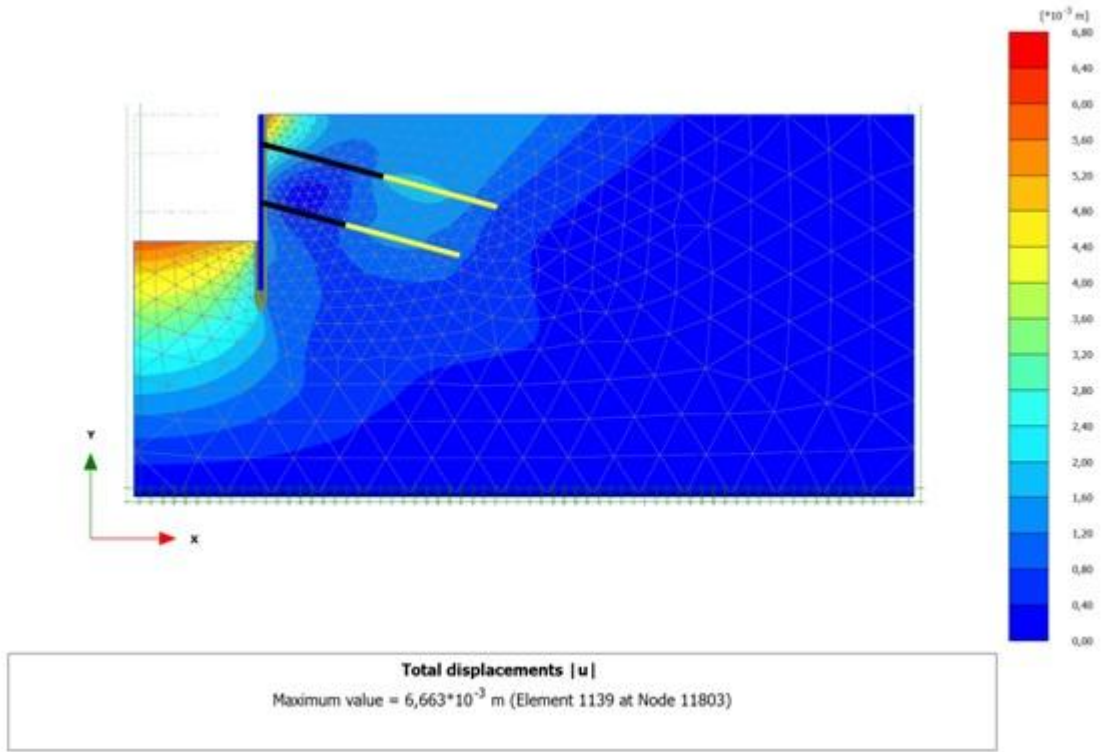
Şekil Ek A.30 M1-150-100 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



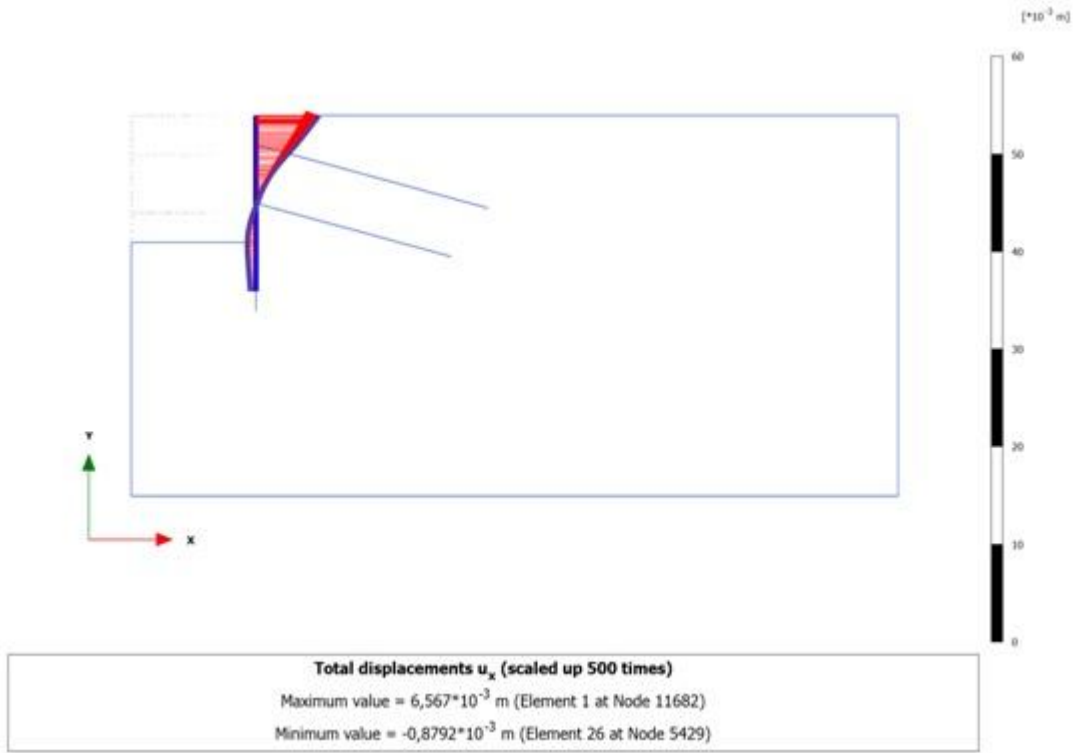
Şekil Ek A.31 M1-150-100 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



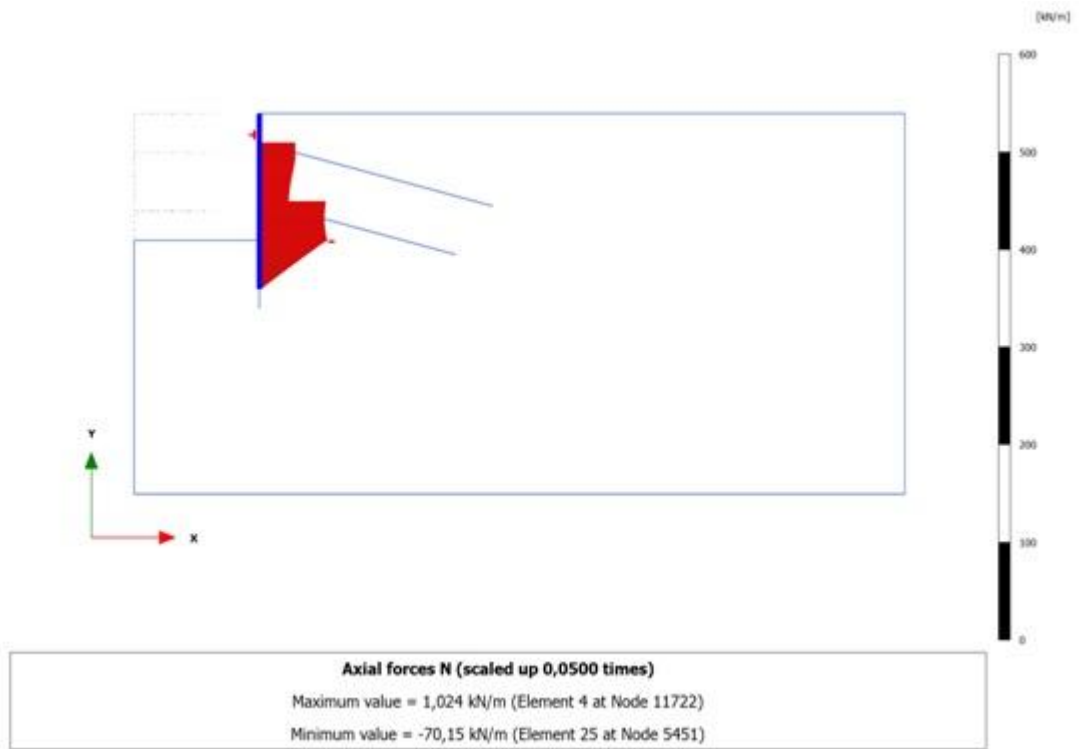
Şekil Ek A.32 M1-150-100 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



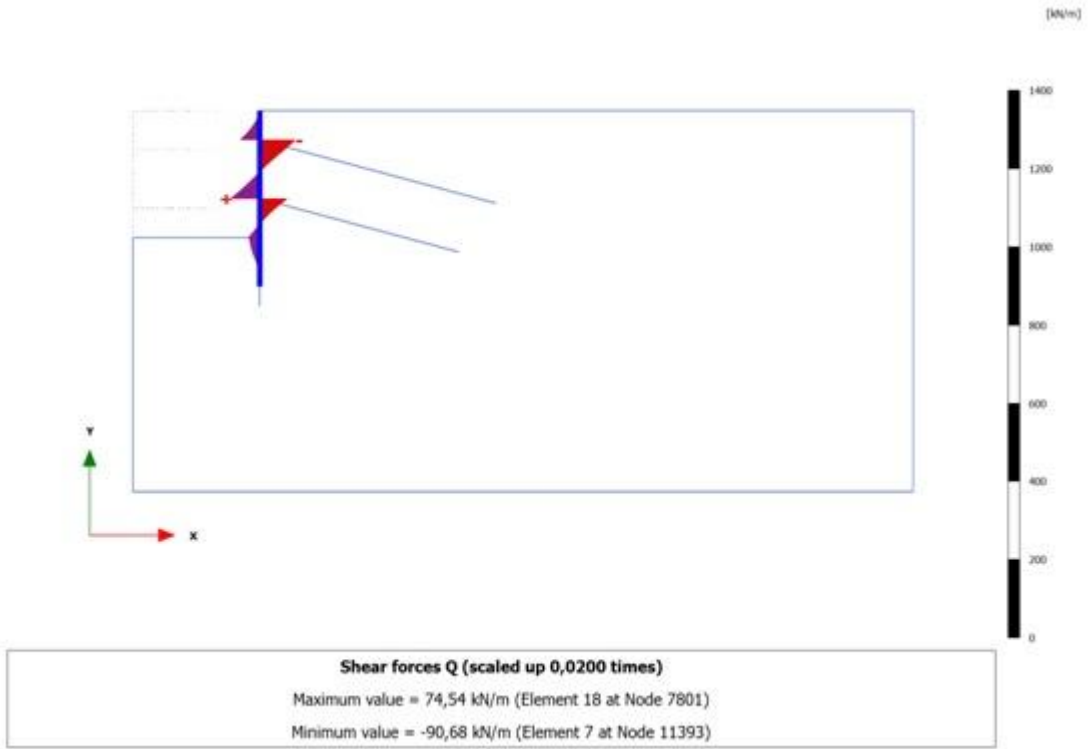
Şekil Ek A.33 M1-150-150 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



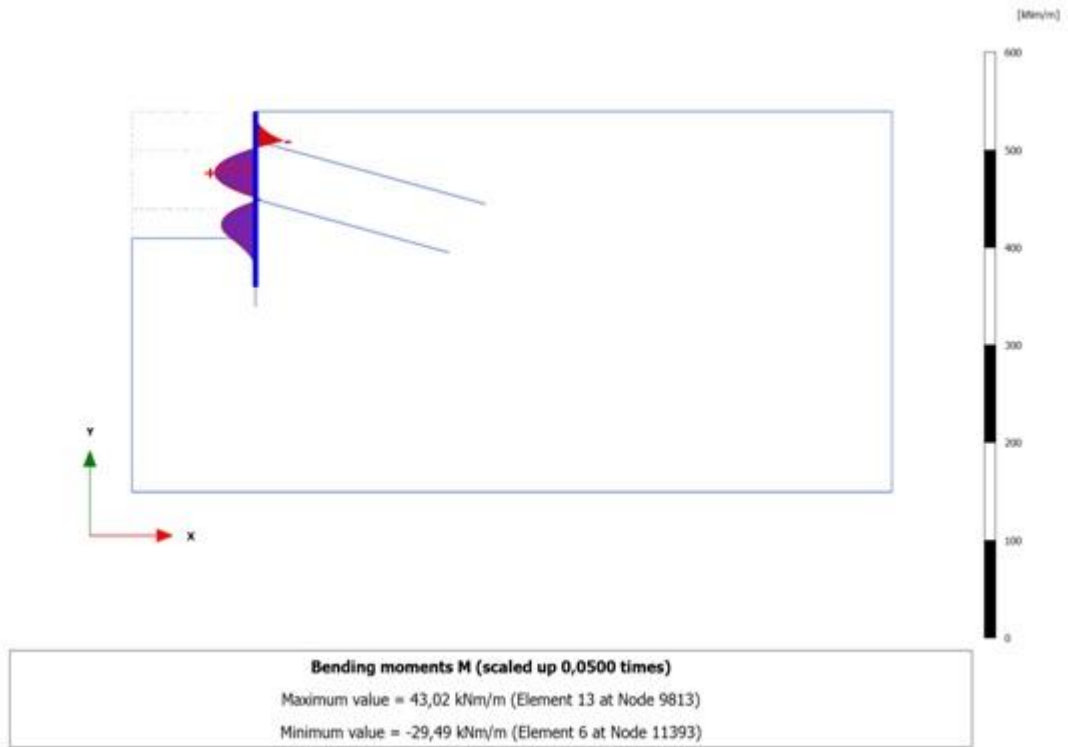
Şekil Ek A.34 M1-150-150 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



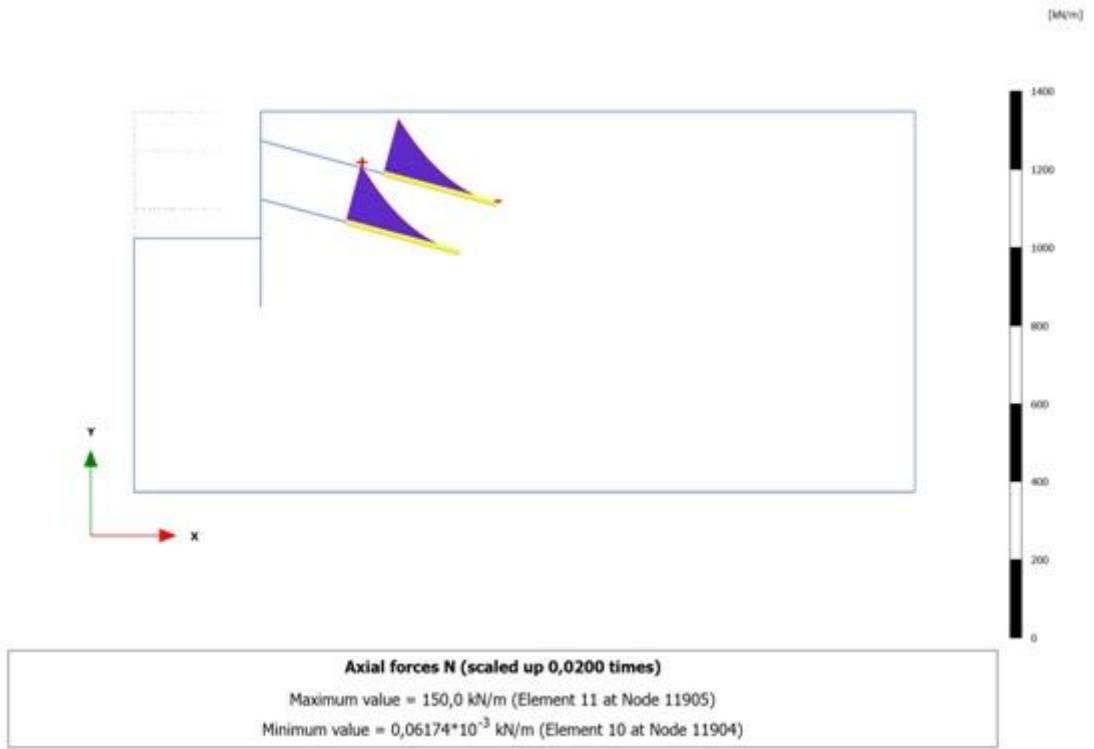
Şekil Ek A.35 M1-150-150 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



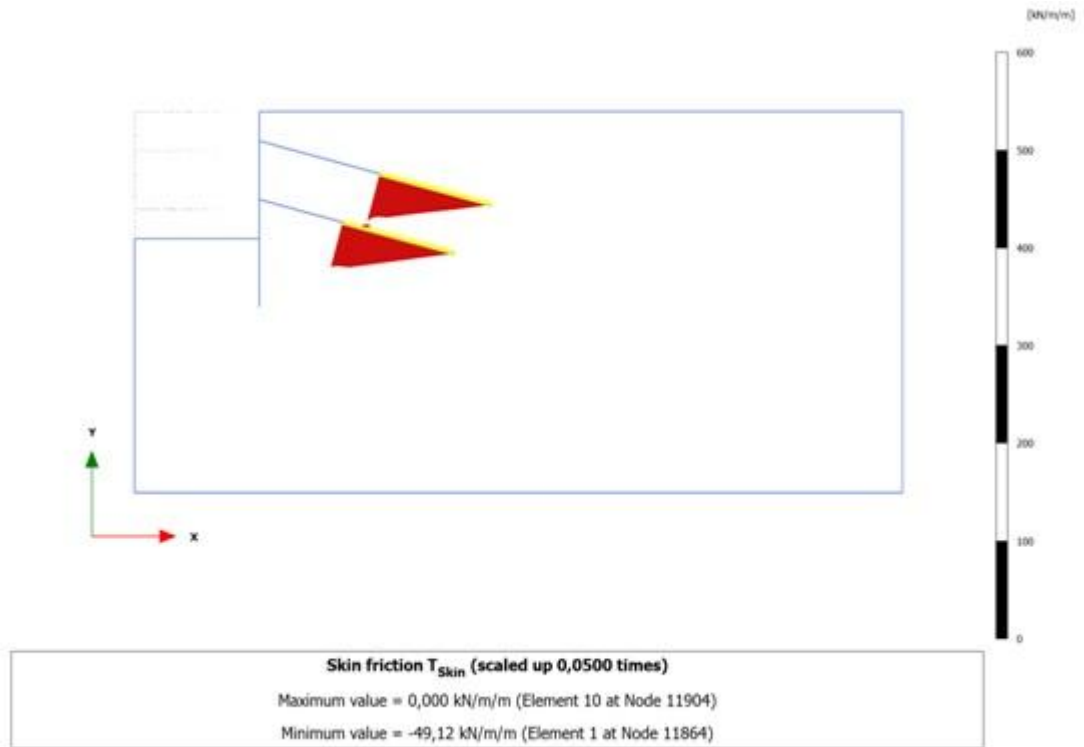
Şekil Ek A.36 M1-150-150 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



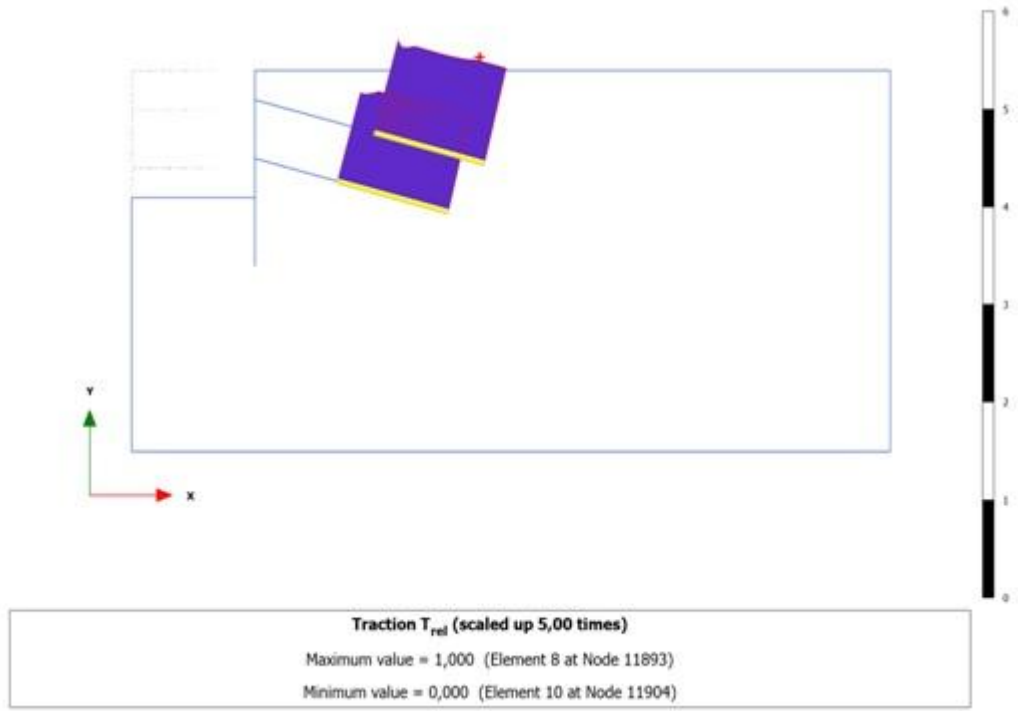
Şekil Ek A.37 M1-150-150 modeli için perde moment kuvveti (M)



Şekil Ek A.38 M1-150-150 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)

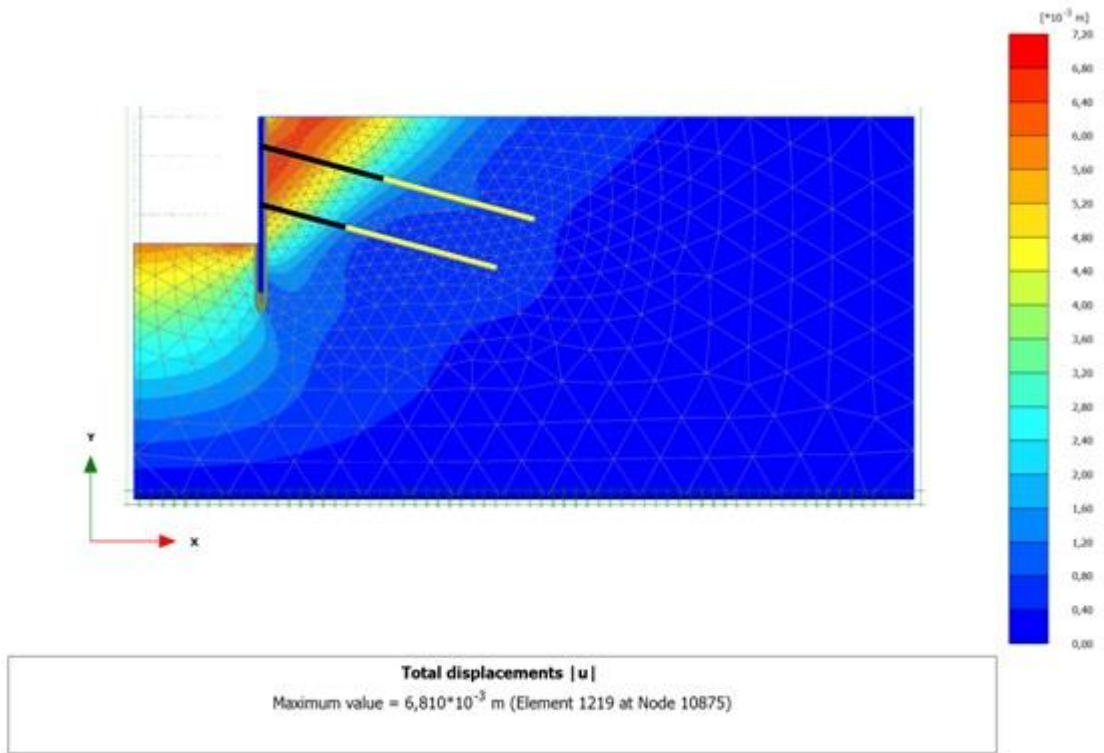


Şekil Ek A.39 M1-150-150 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})

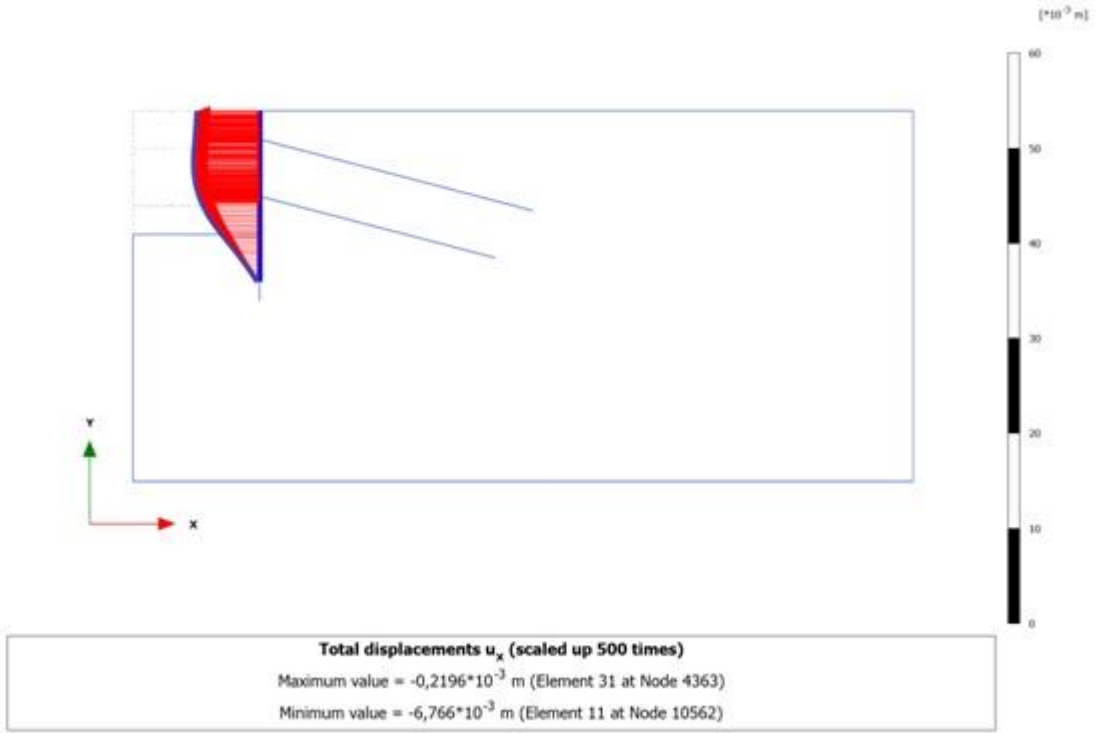


Şekil Ek A.40 M1-150-150 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})

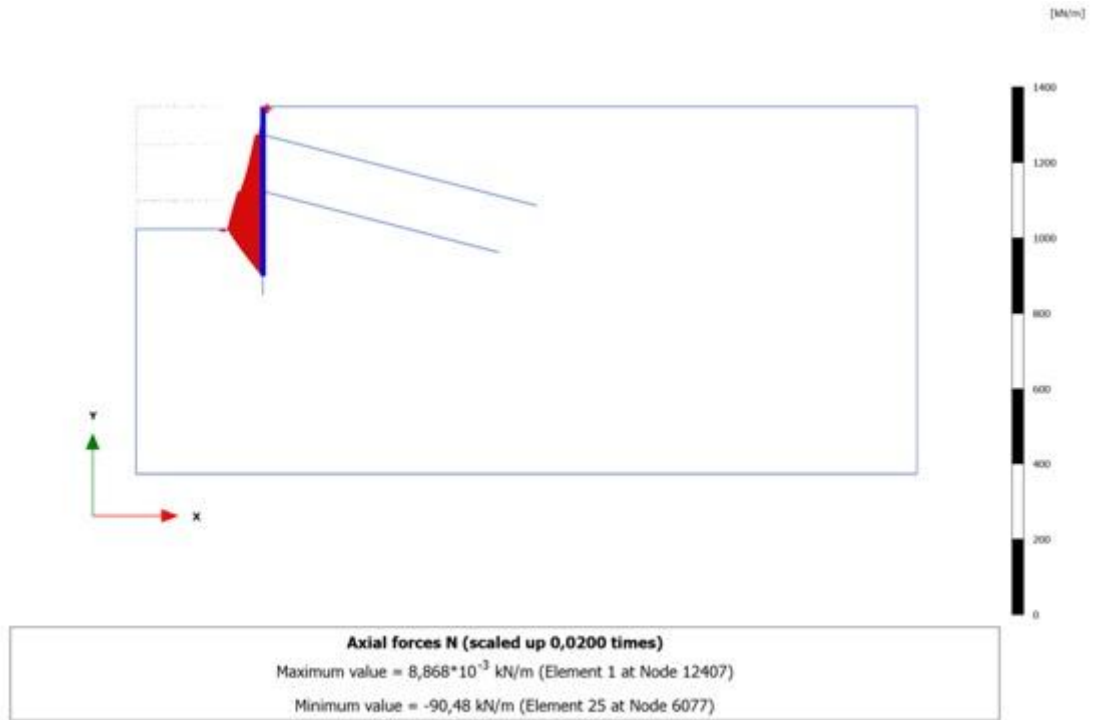
M2 Modellerin Plaxis Sonuçları



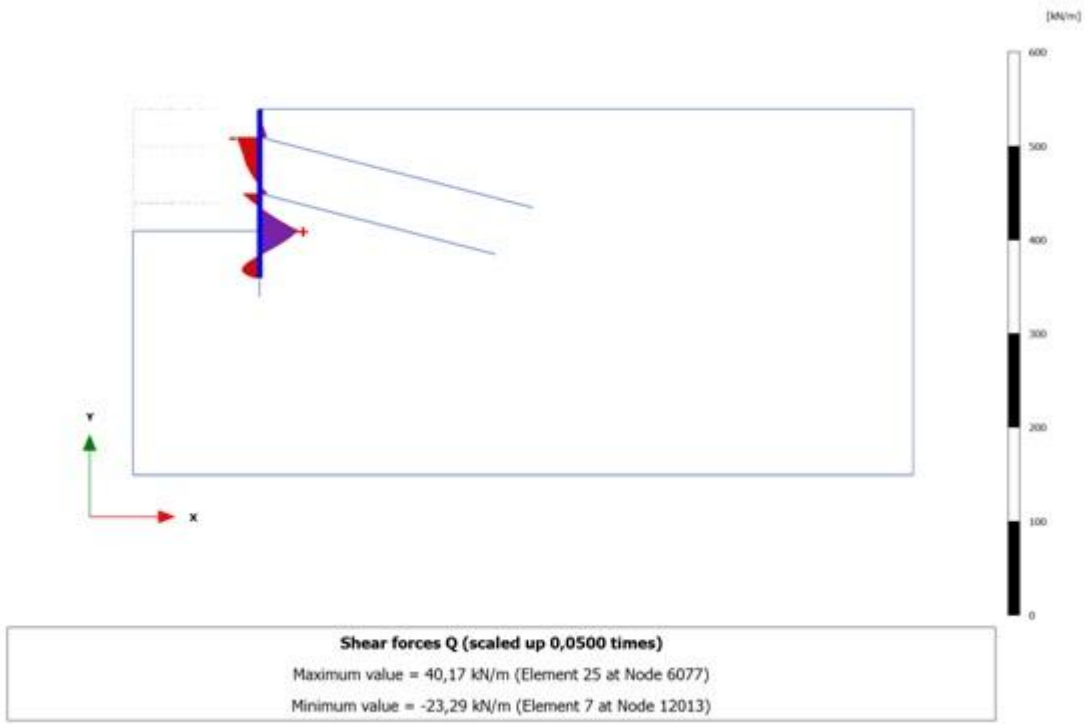
Şekil Ek B.1 M2-60-0 modeli için sistemin toplam yer değıştirmesi [u]



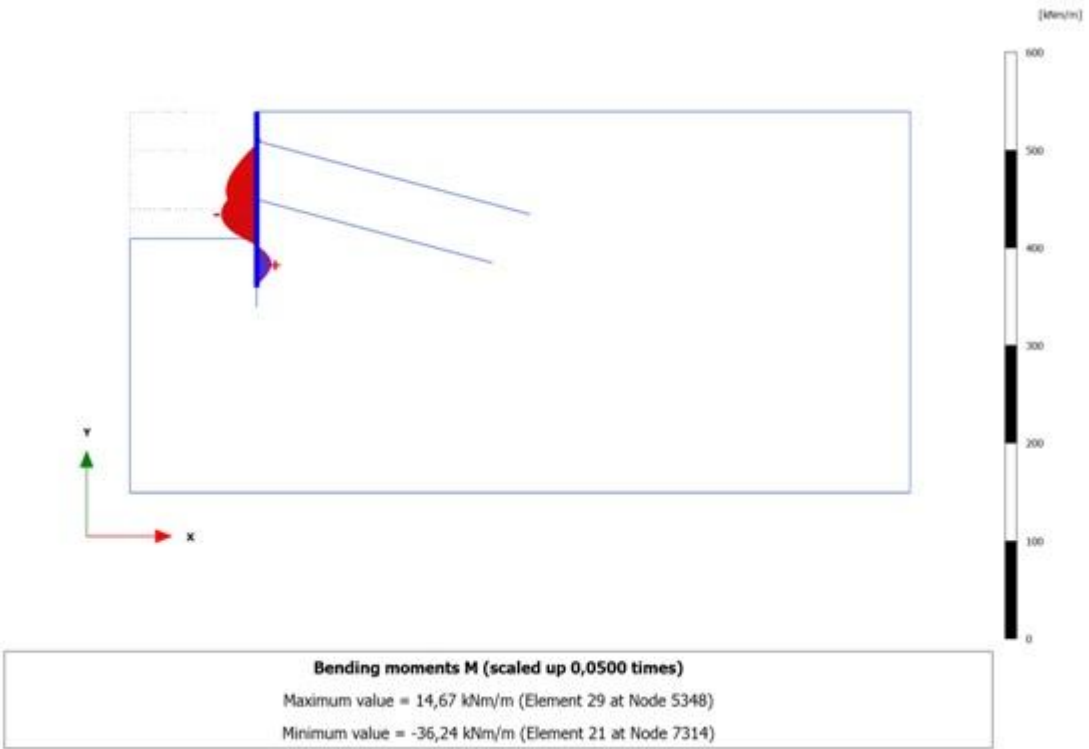
Şekil Ek B.2 M2-60-0 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



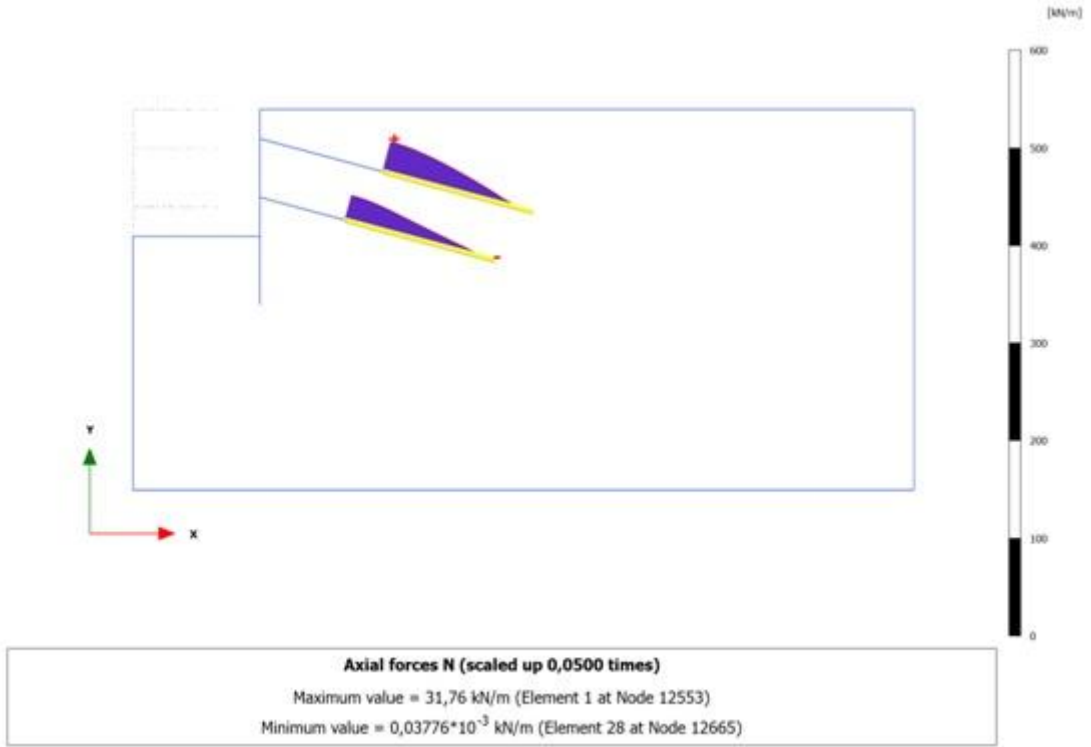
Şekil Ek B.3 M2-60-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



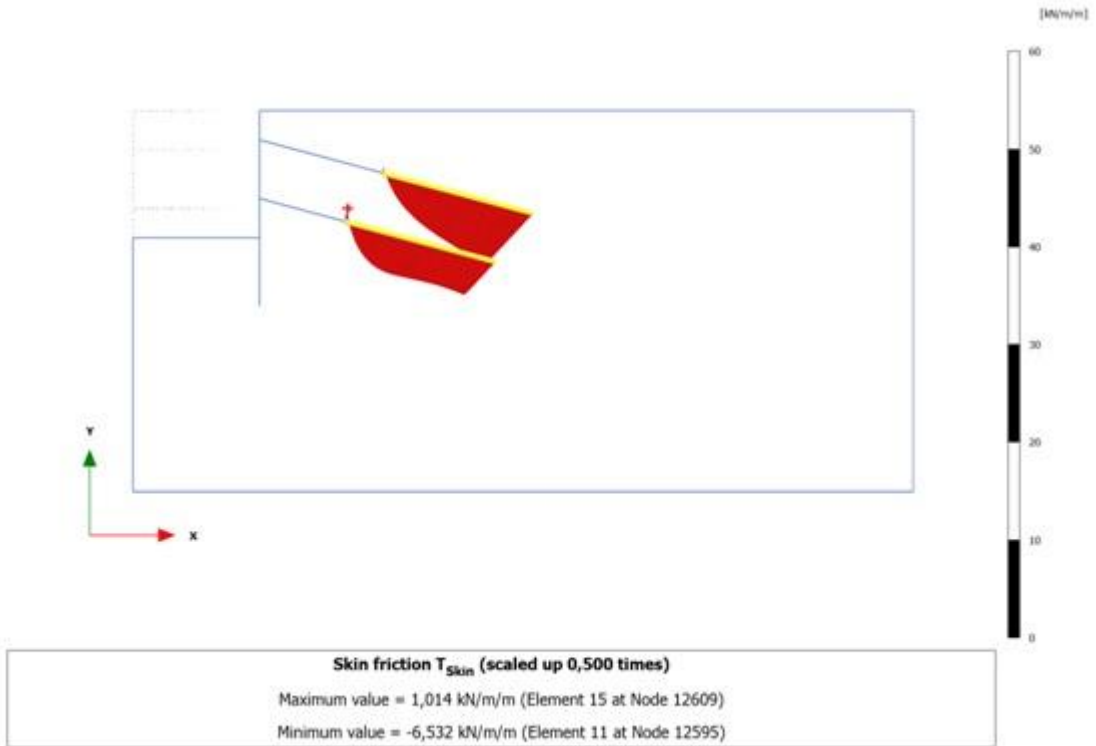
Şekil Ek B.4 M2-60-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



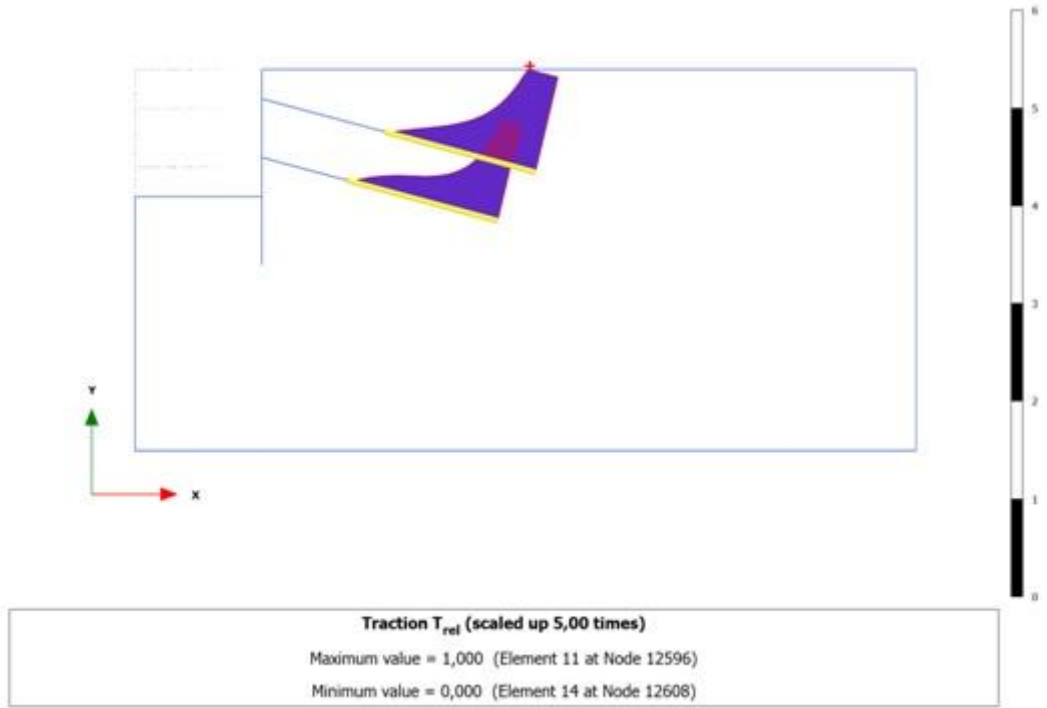
Şekil Ek B.5 M2-60-0 modeli için perde moment kuvveti (M)



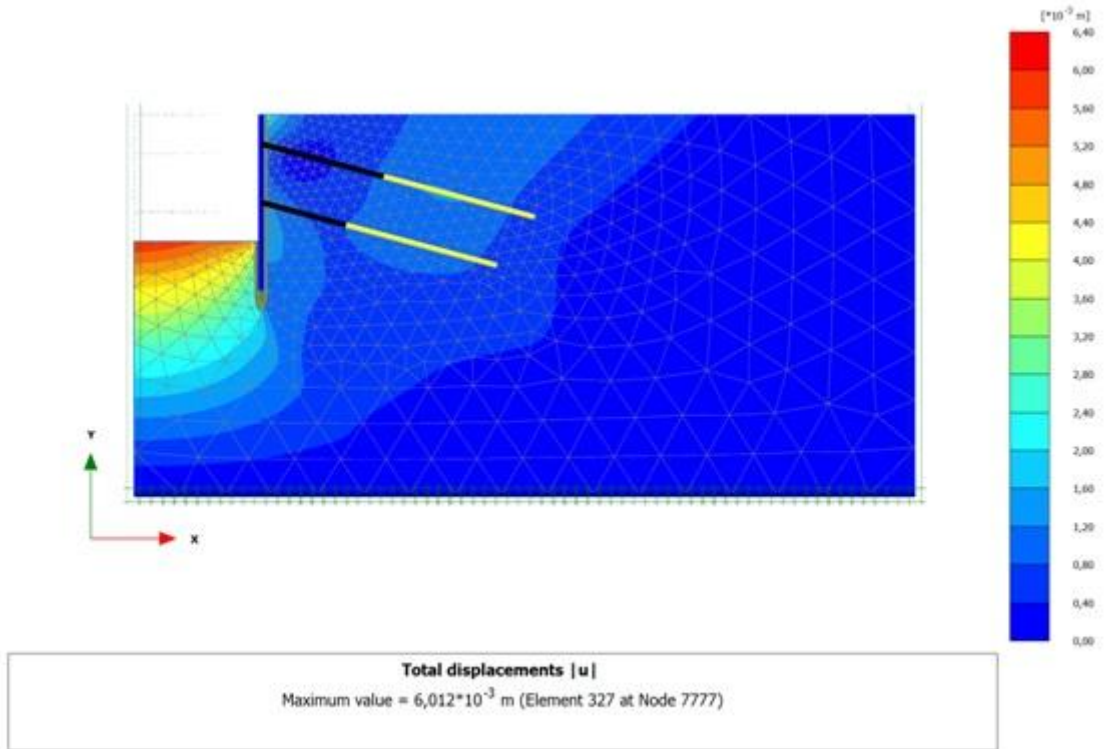
Şekil Ek B.6 M2-60-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



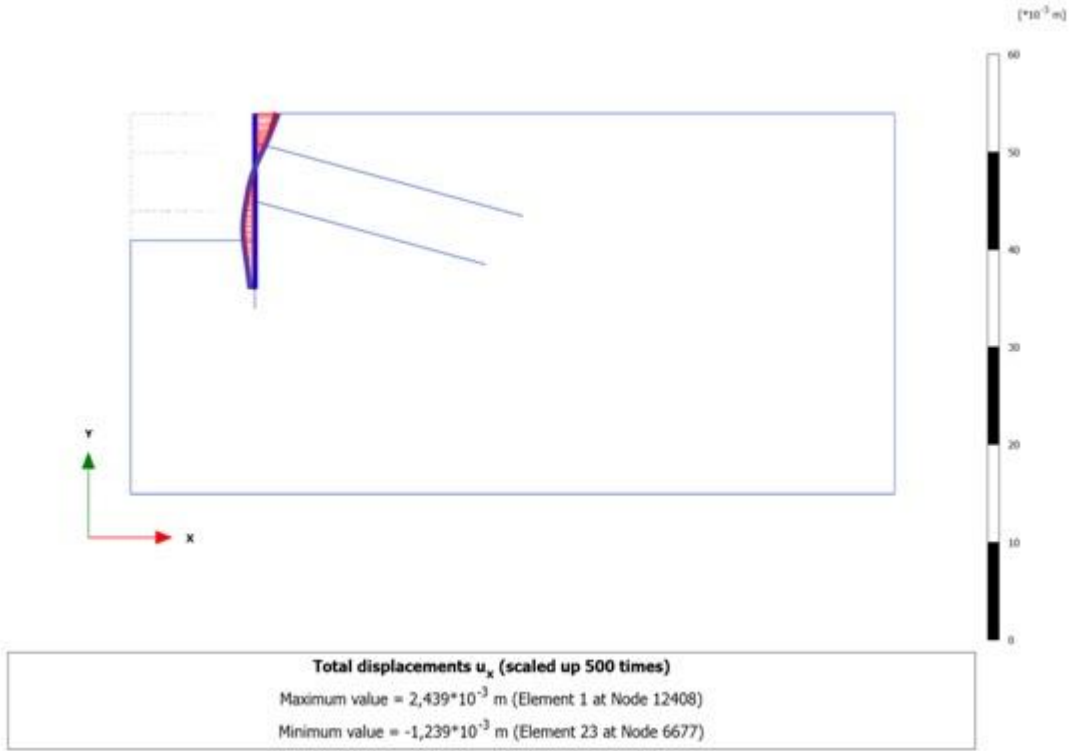
Şekil Ek B.7 M2-60-0 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



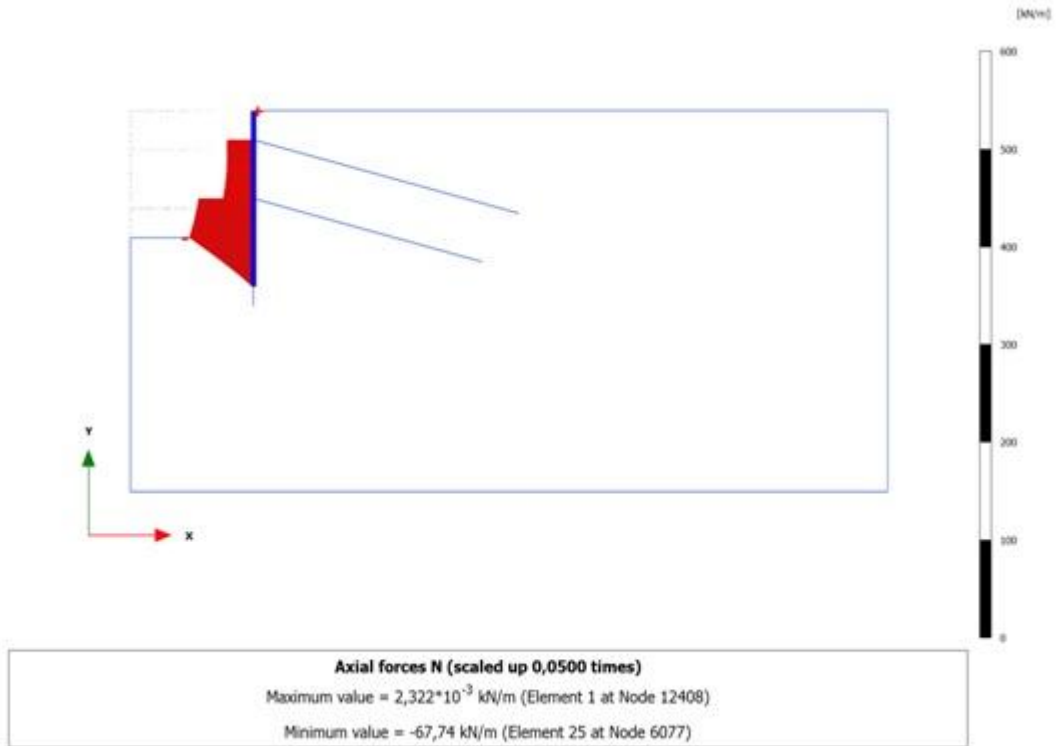
Şekil Ek B.8 M2-60-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



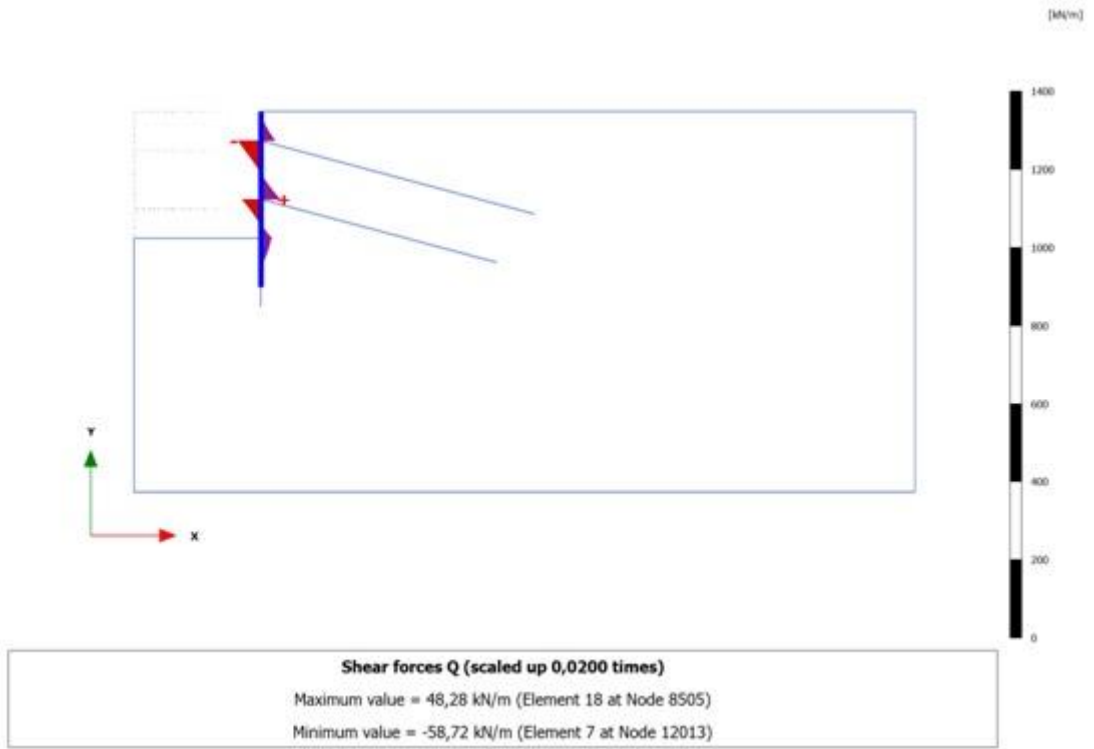
Şekil Ek B.9 M2-60-100 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi $[u]$



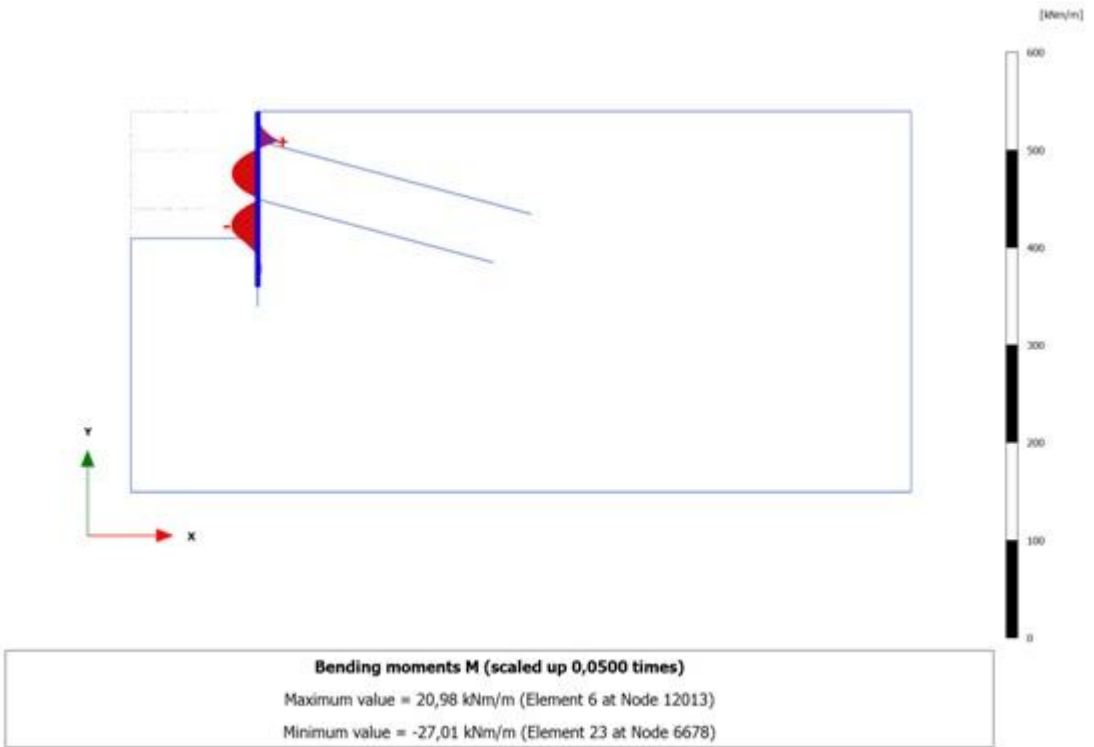
Şekil Ek B.10 M2-60-100 modeli için perde yatay yer değiştirmesi [u_x]



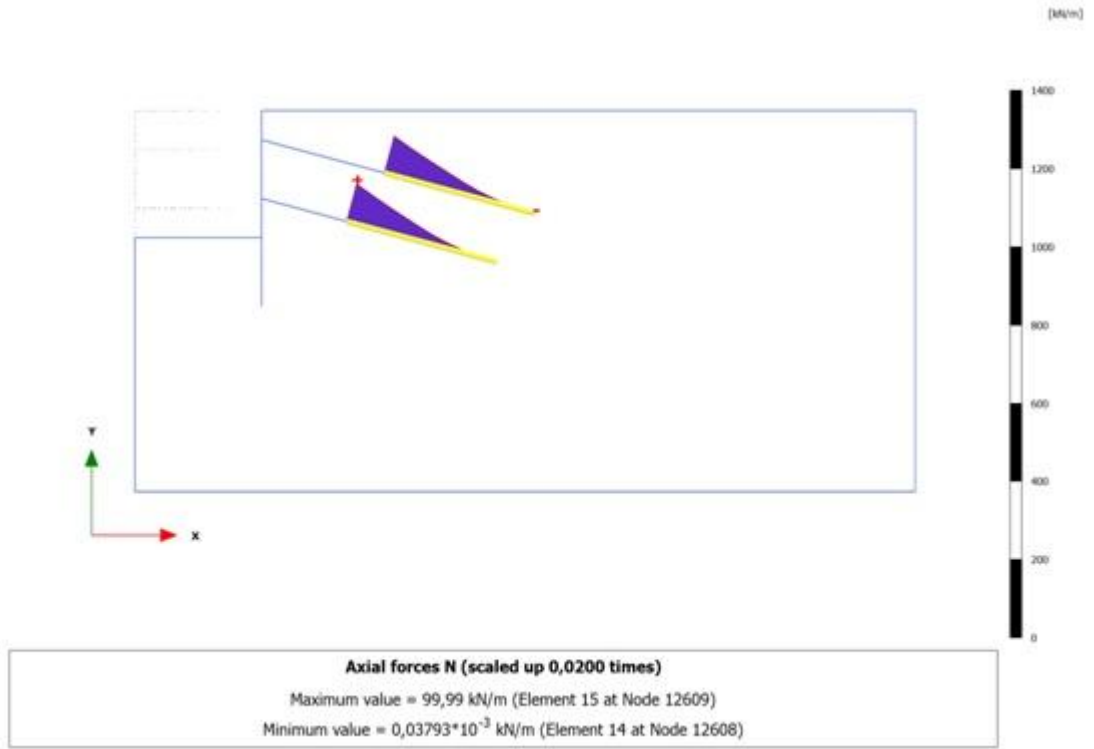
Şekil Ek B.11 M2-60-100 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



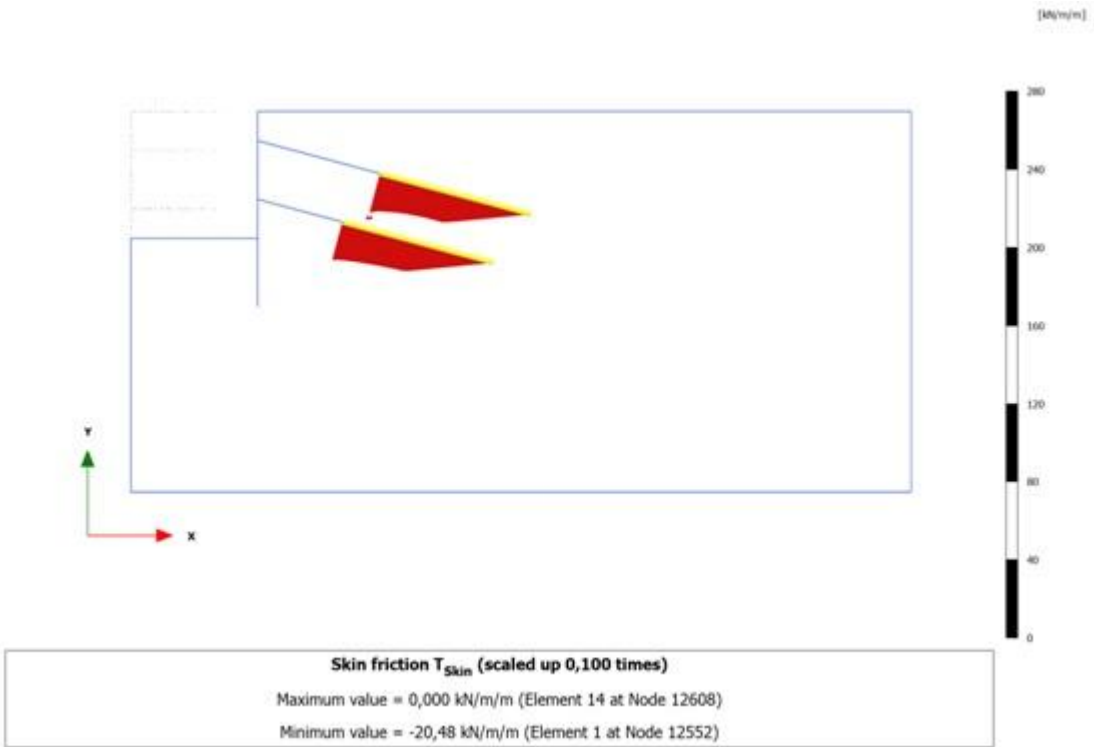
Şekil Ek B.12 M2-60-100 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



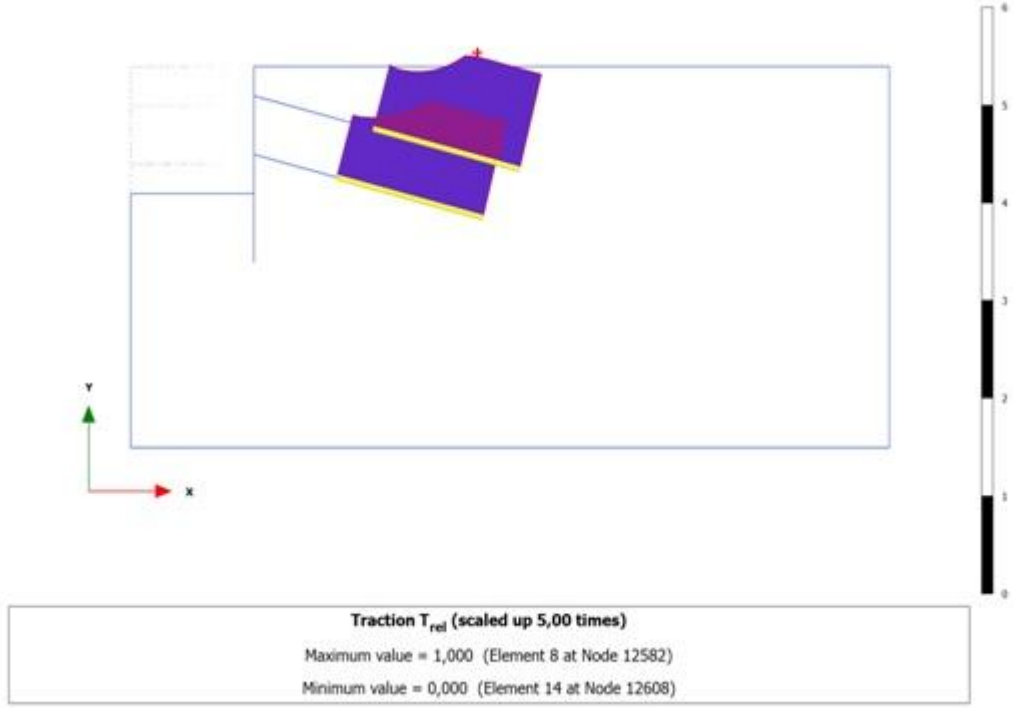
Şekil Ek B.13 M2-60-100 modeli için perde moment kuvveti (M)



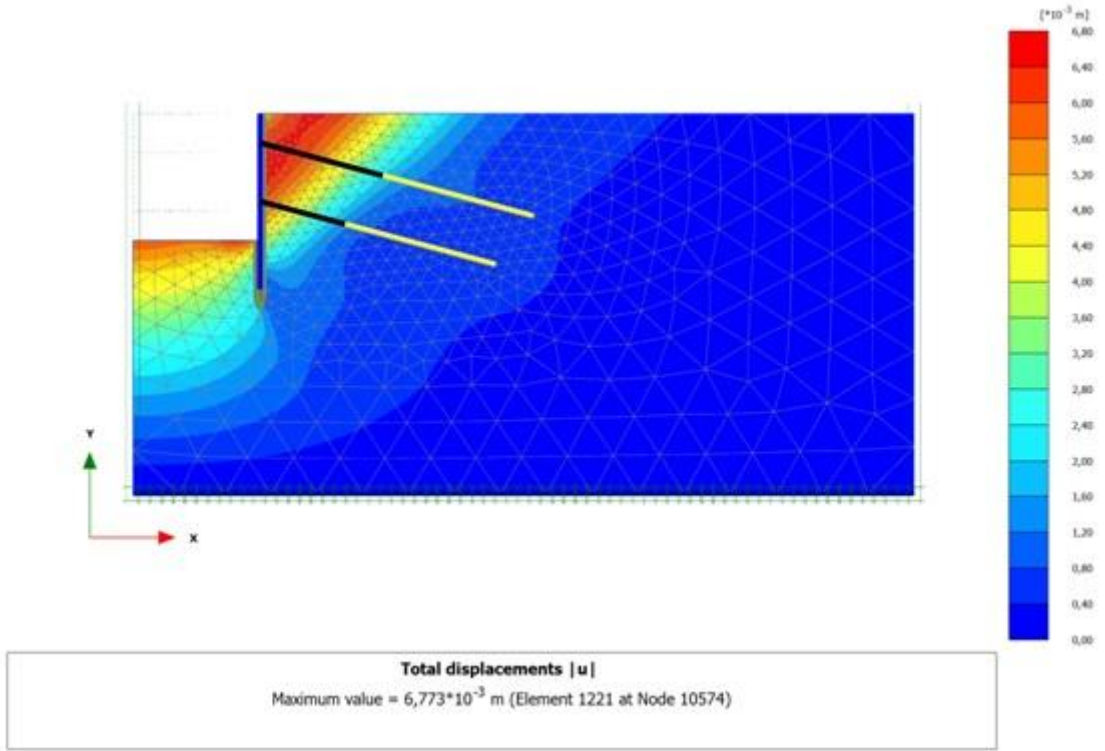
Şekil Ek B.14 M2-60-100 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



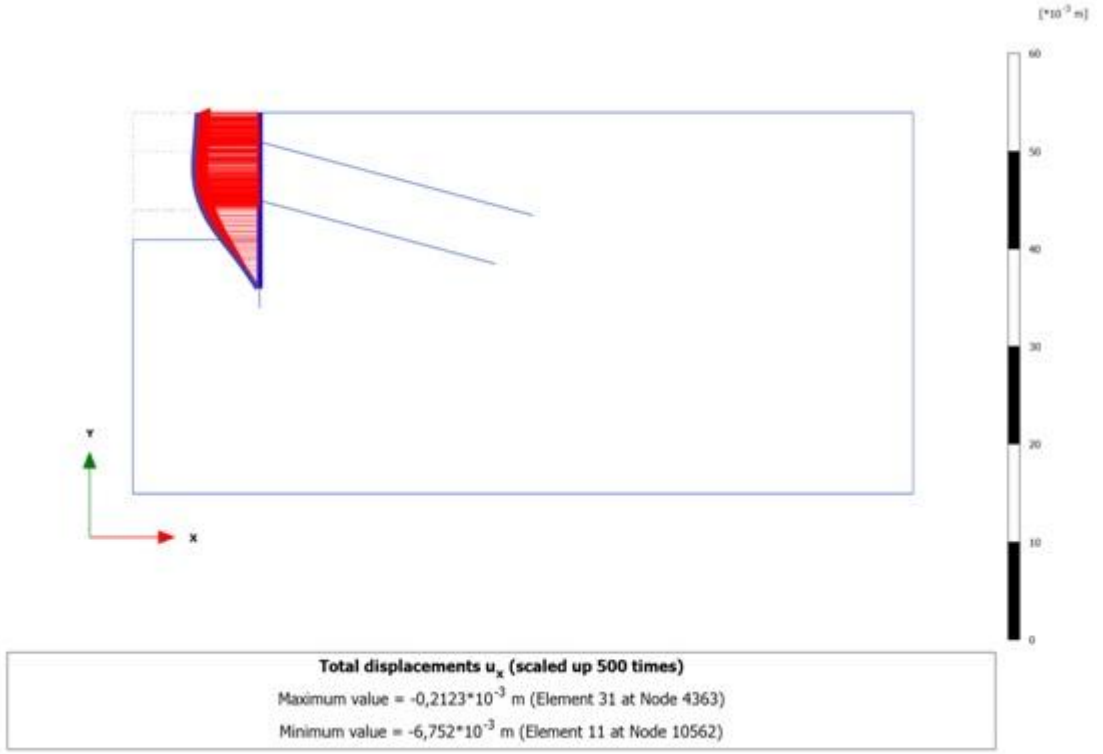
Şekil Ek B.15 M2-60-100 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



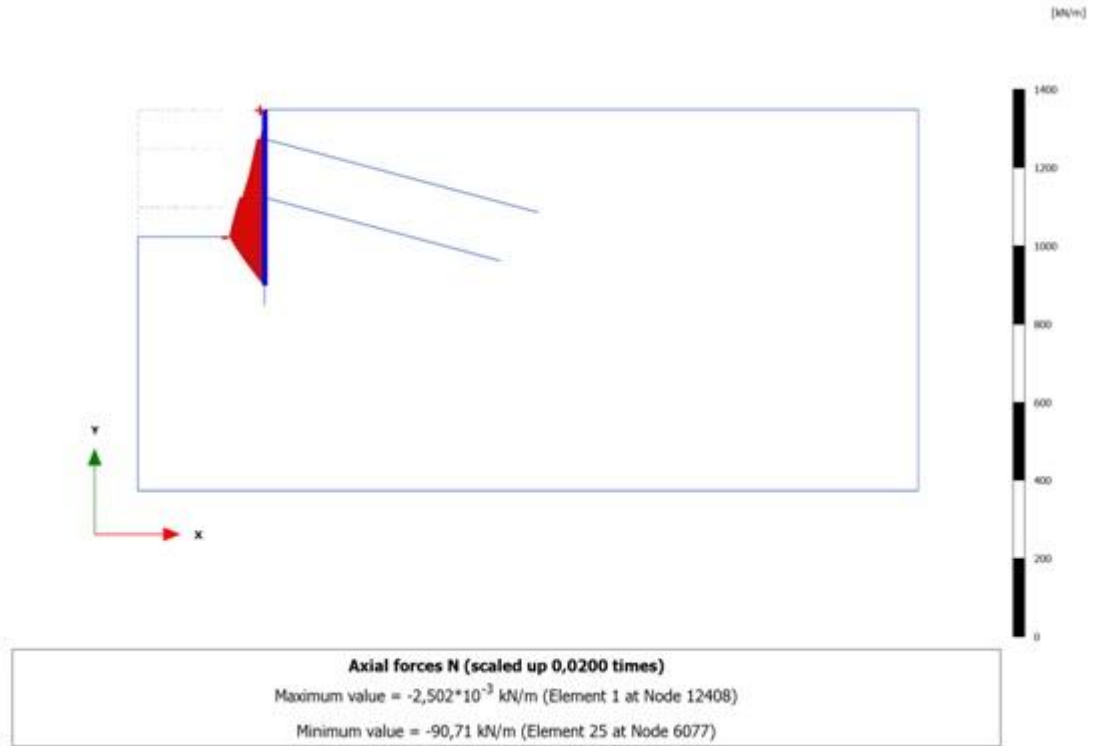
Şekil Ek B.16 M2-60-100 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



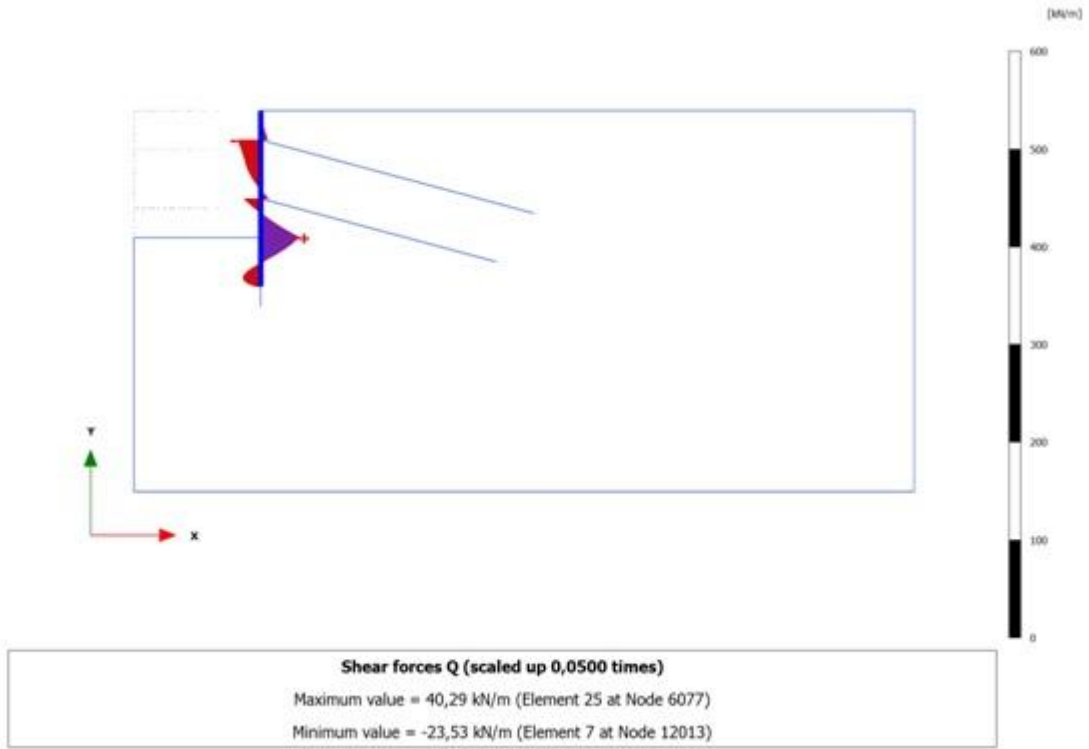
Şekil Ek B.17 M2-100-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi $[u]$



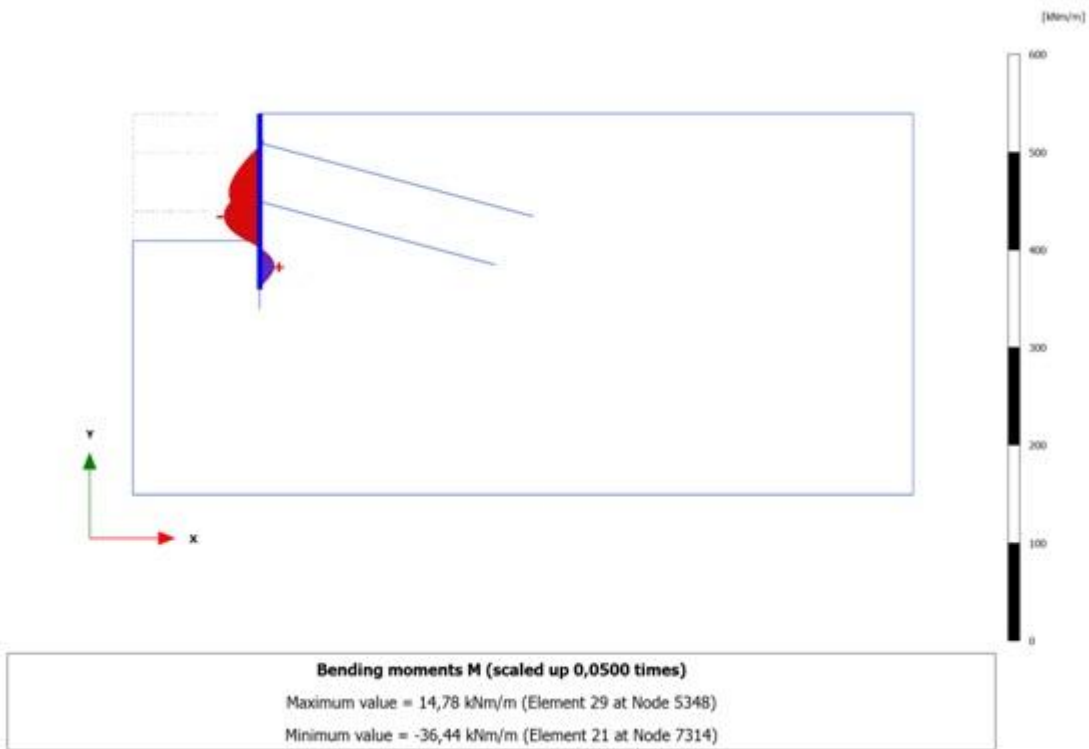
Şekil Ek B.18 M2-100-0 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



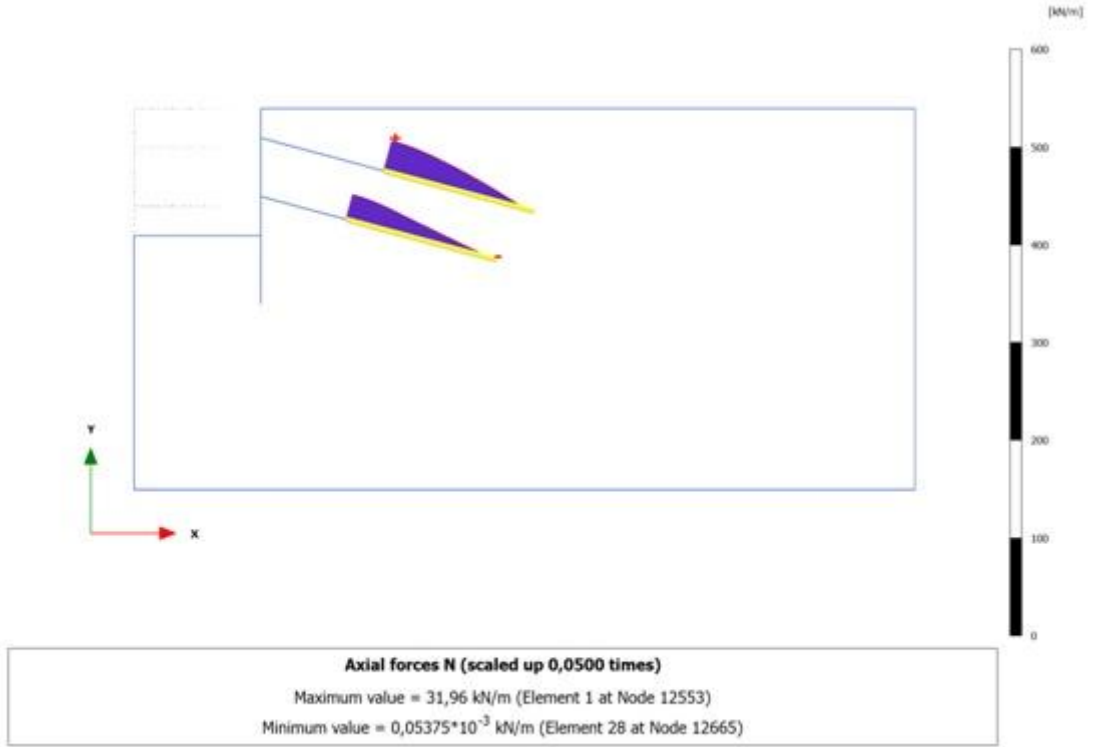
Şekil Ek B.19 M2-100-0 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



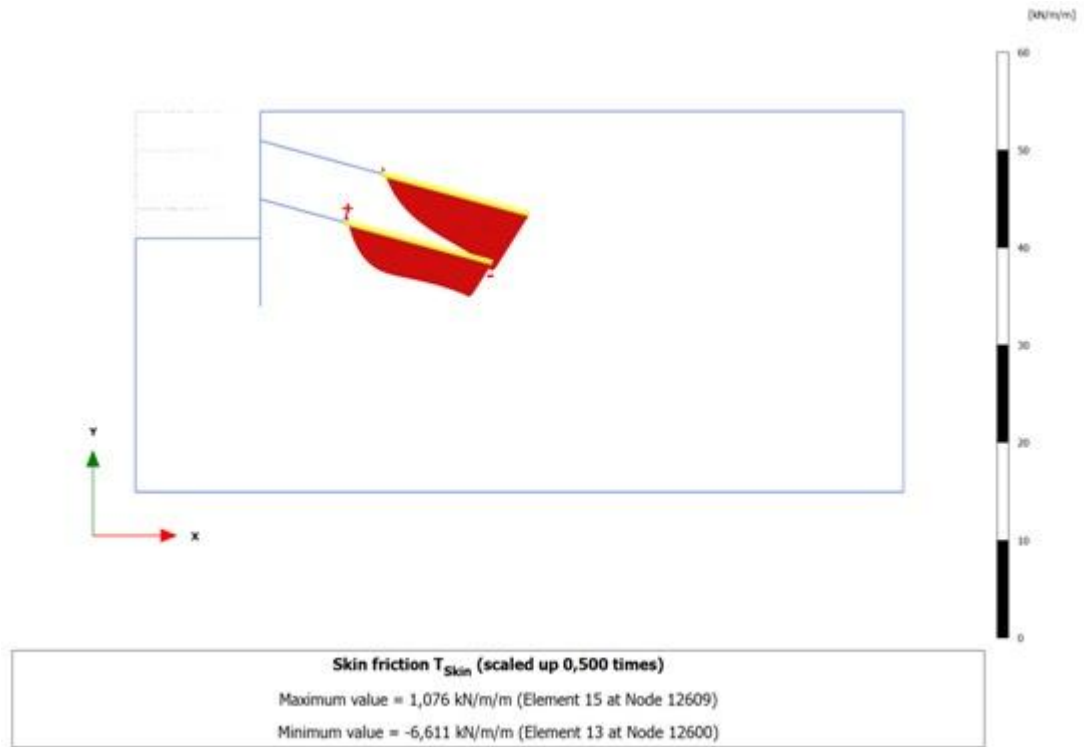
Şekil Ek B.20 M2-100-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



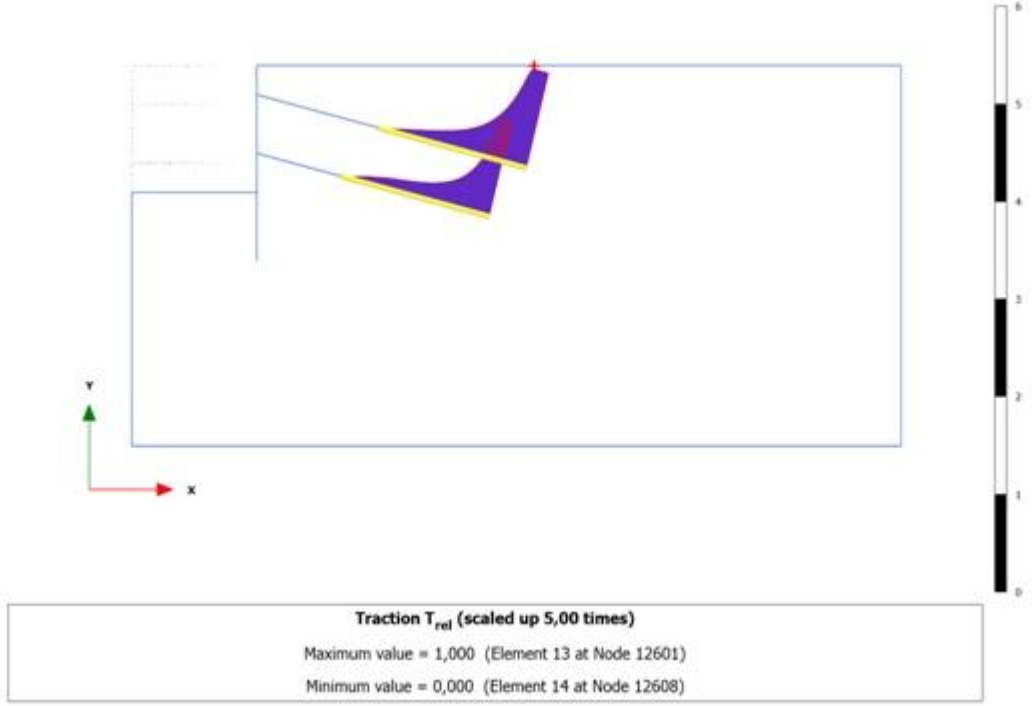
Şekil Ek B.21 M2-100-0 modeli için perde moment kuvveti (M)



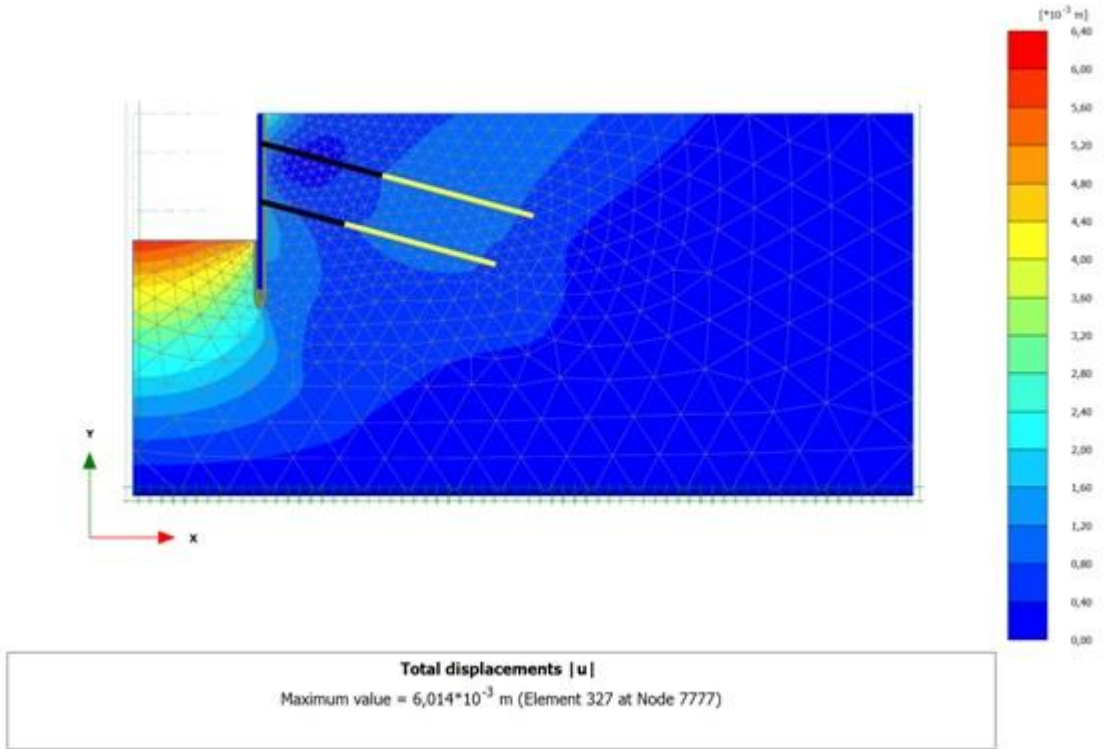
Şekil Ek B.22 M2-100-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



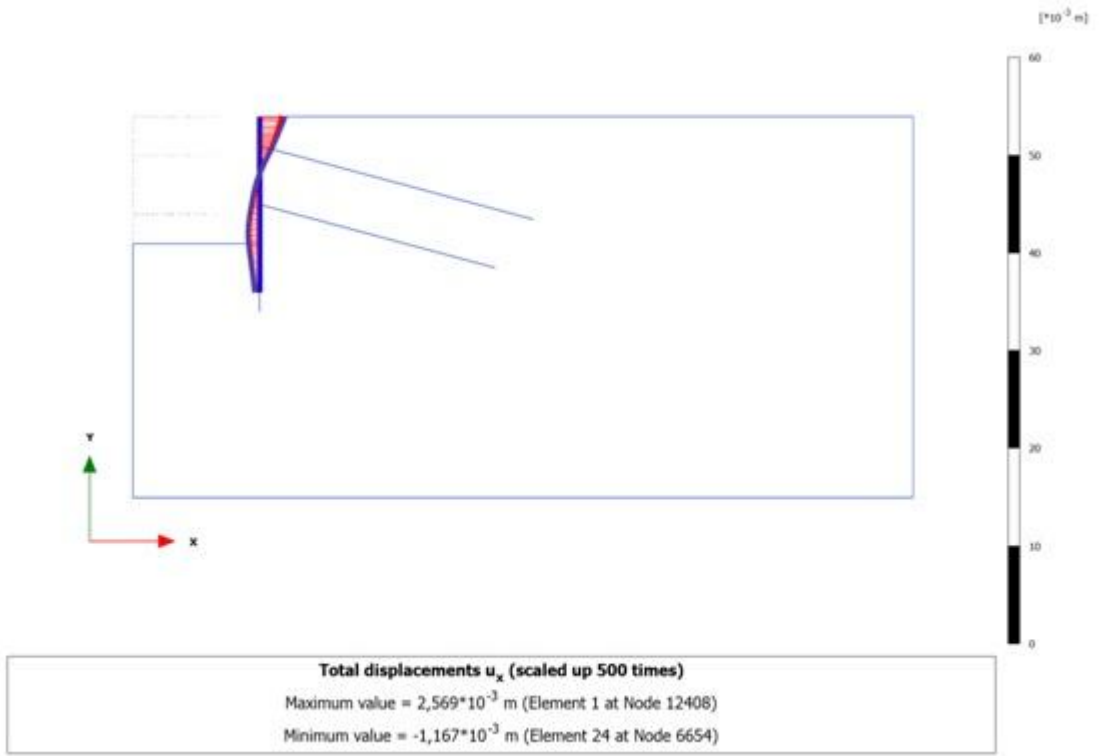
Şekil Ek B.23 M2-100-0 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



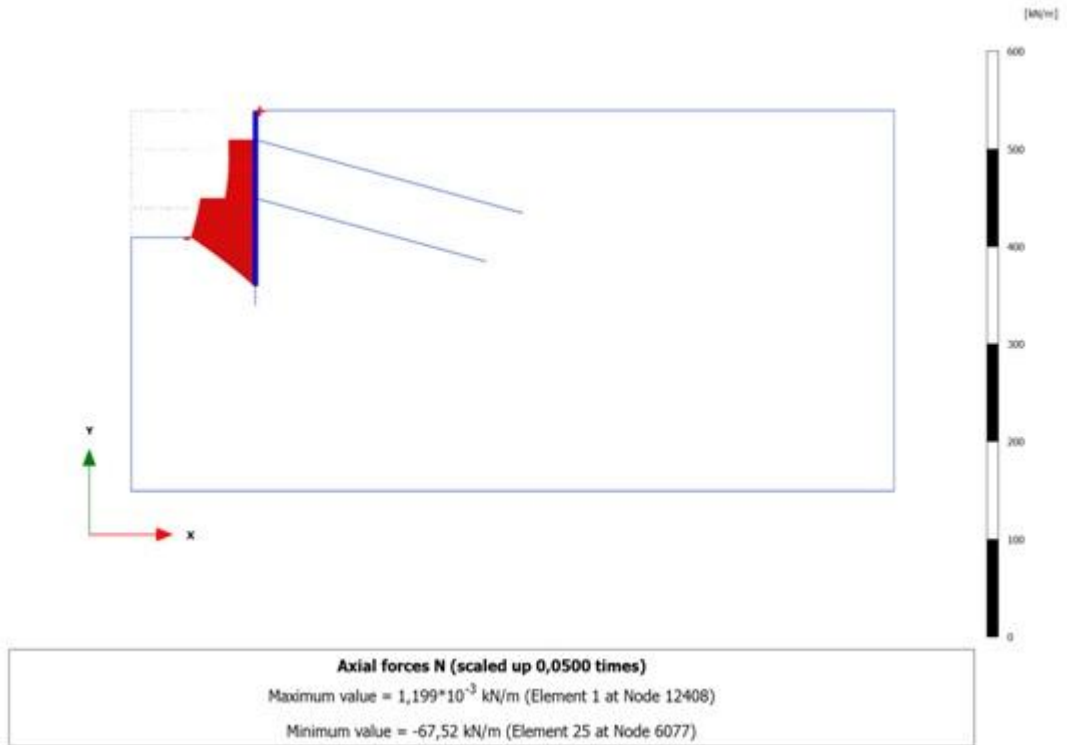
Şekil Ek B.24 M2-100-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



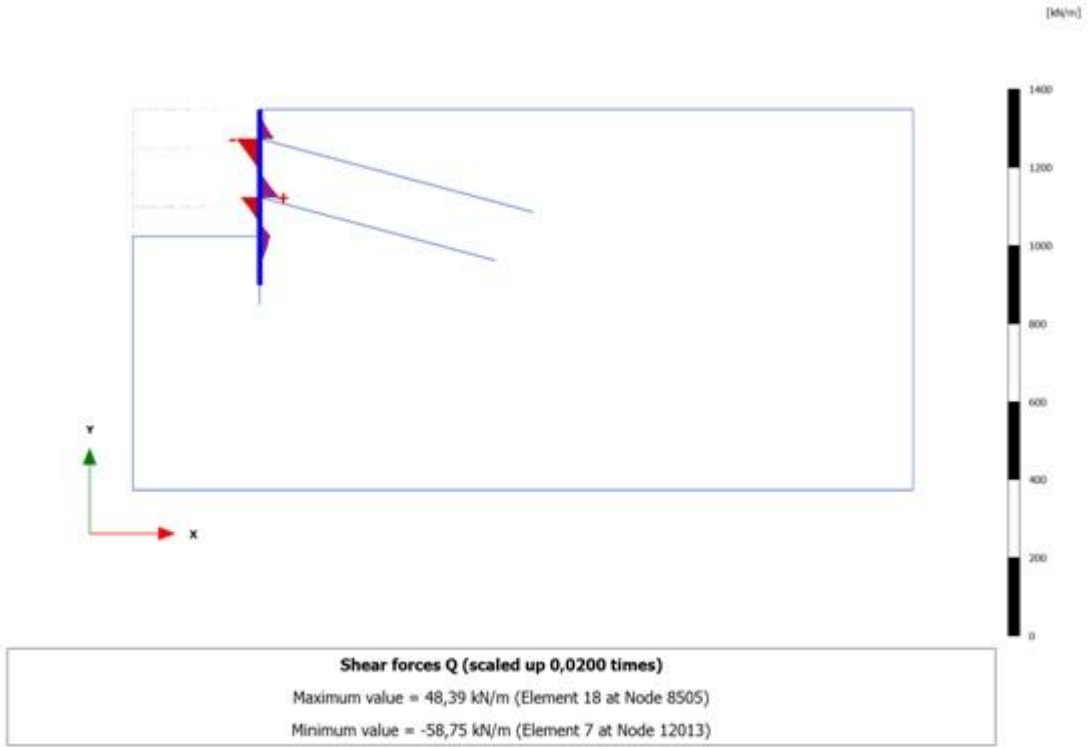
Şekil Ek B.25 M2-100-100 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



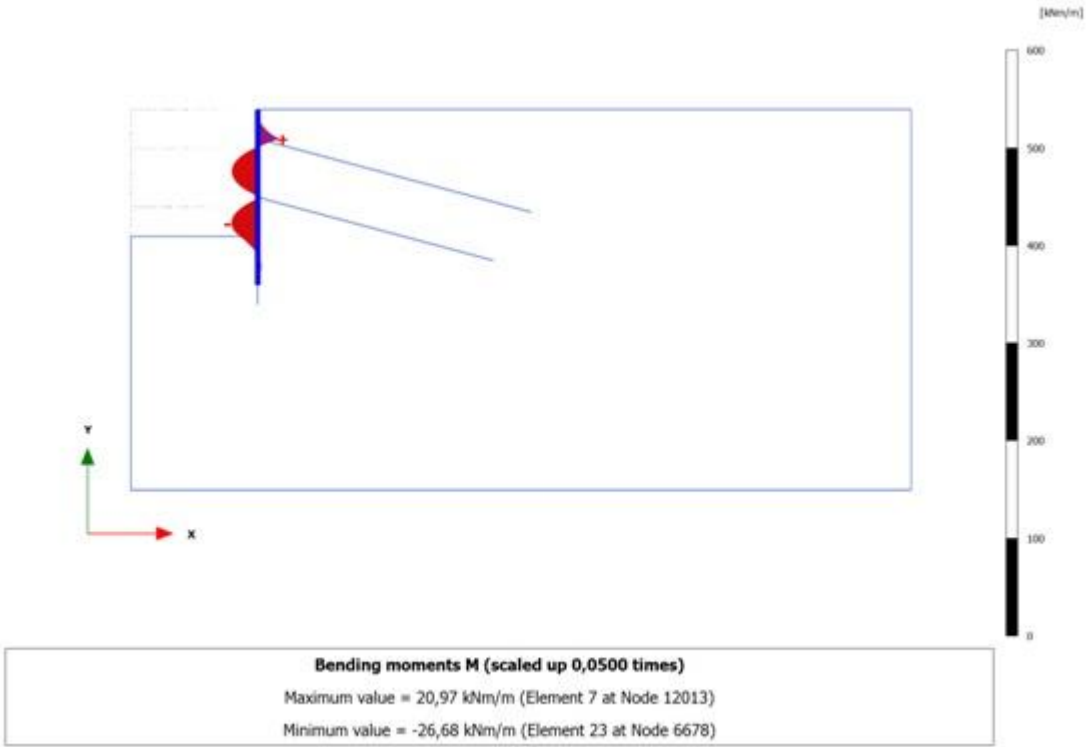
Şekil Ek B.26 M2-100-100 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



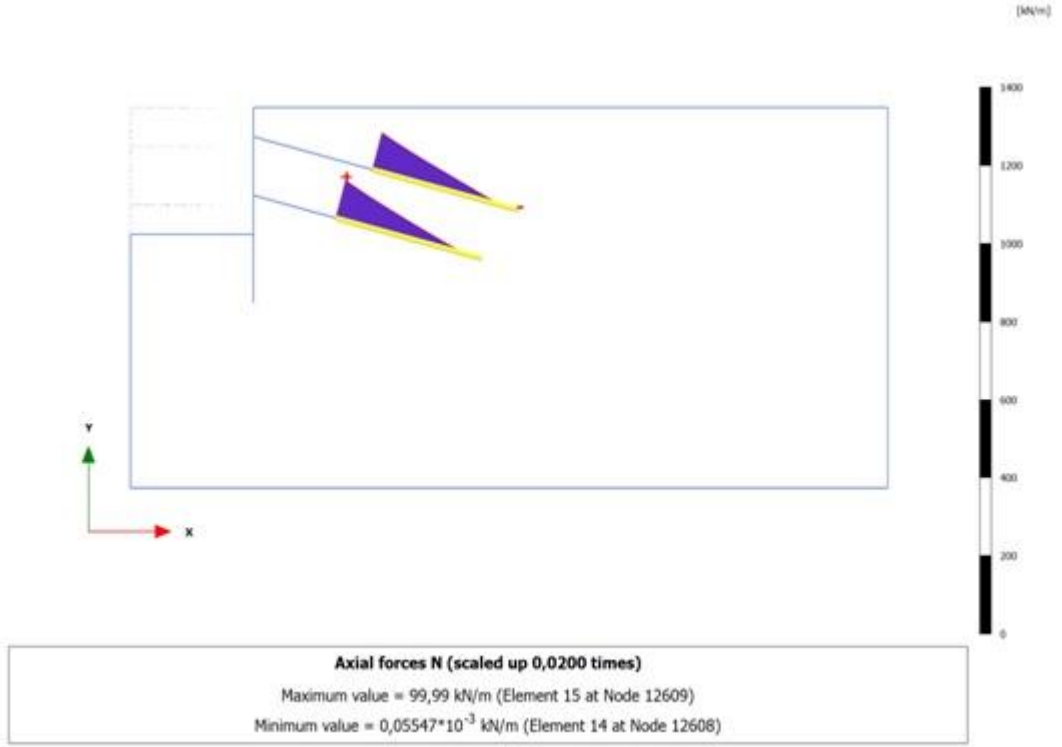
Şekil Ek B.27 M2-100-100 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



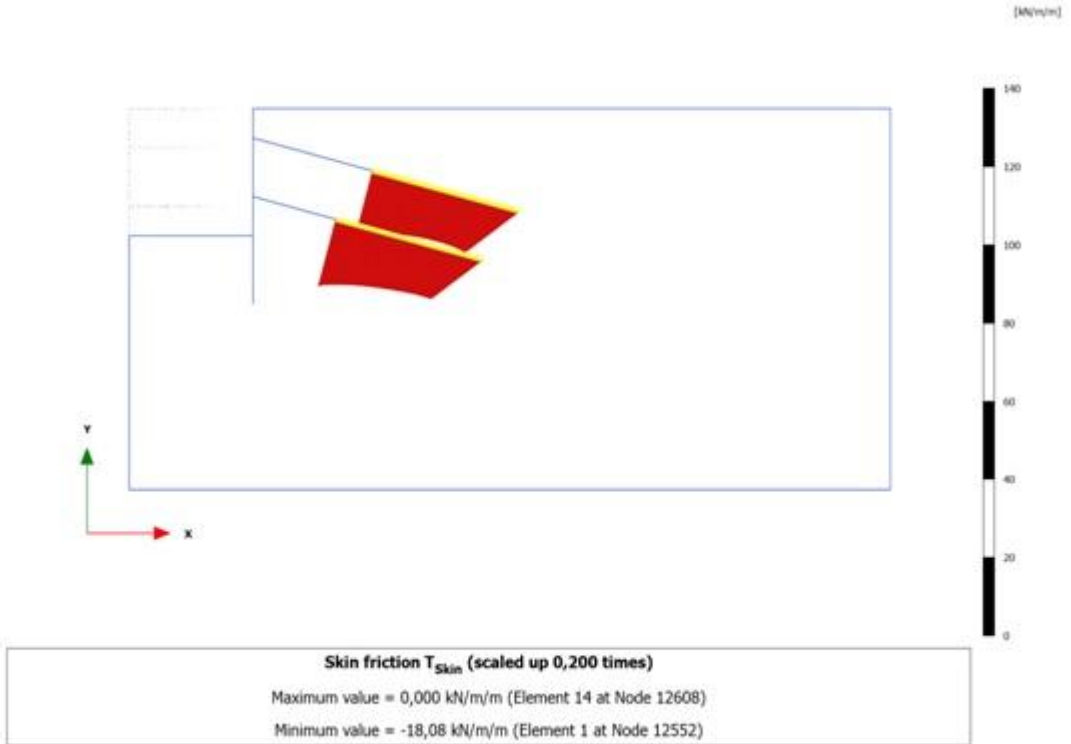
Şekil Ek B.28 M2-100-100 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



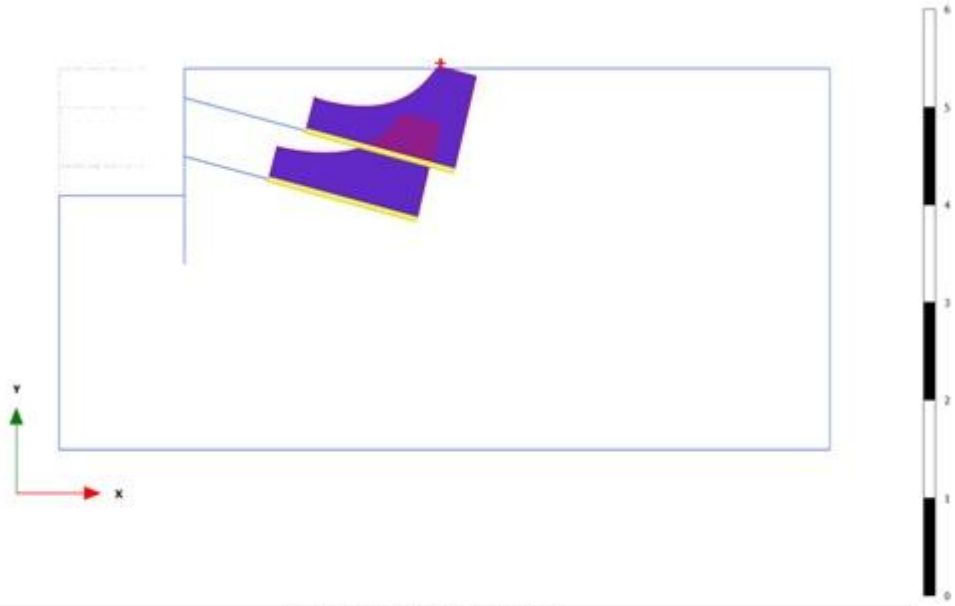
Şekil Ek B.29 M2-100-100 modeli için perde moment kuvveti (M)



Şekil Ek B.30 M2-100-100 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)

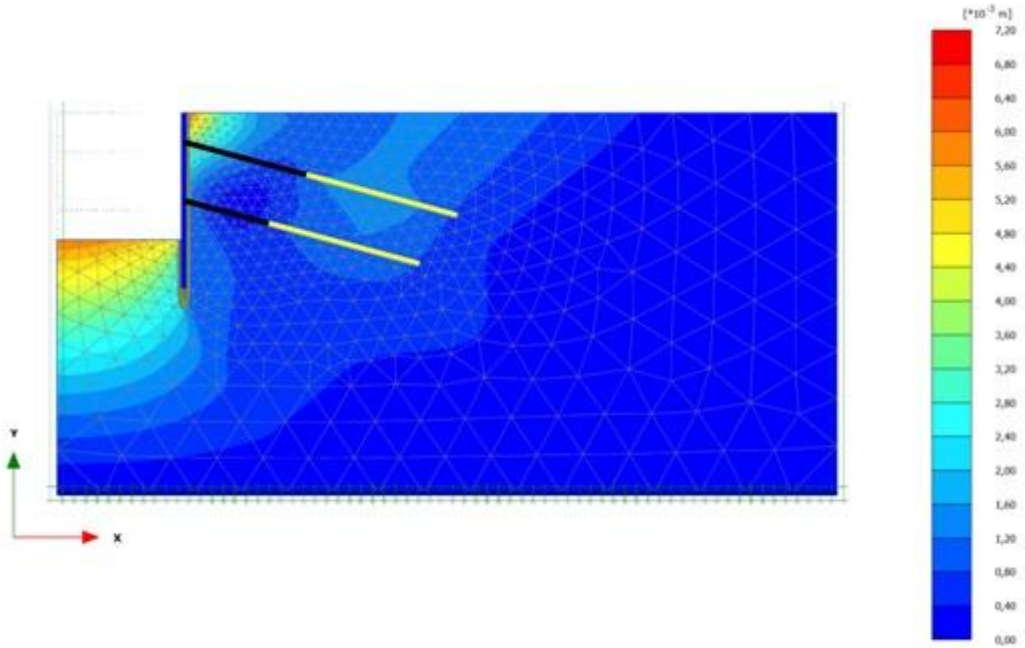


Şekil Ek B.31 M2-100-100 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



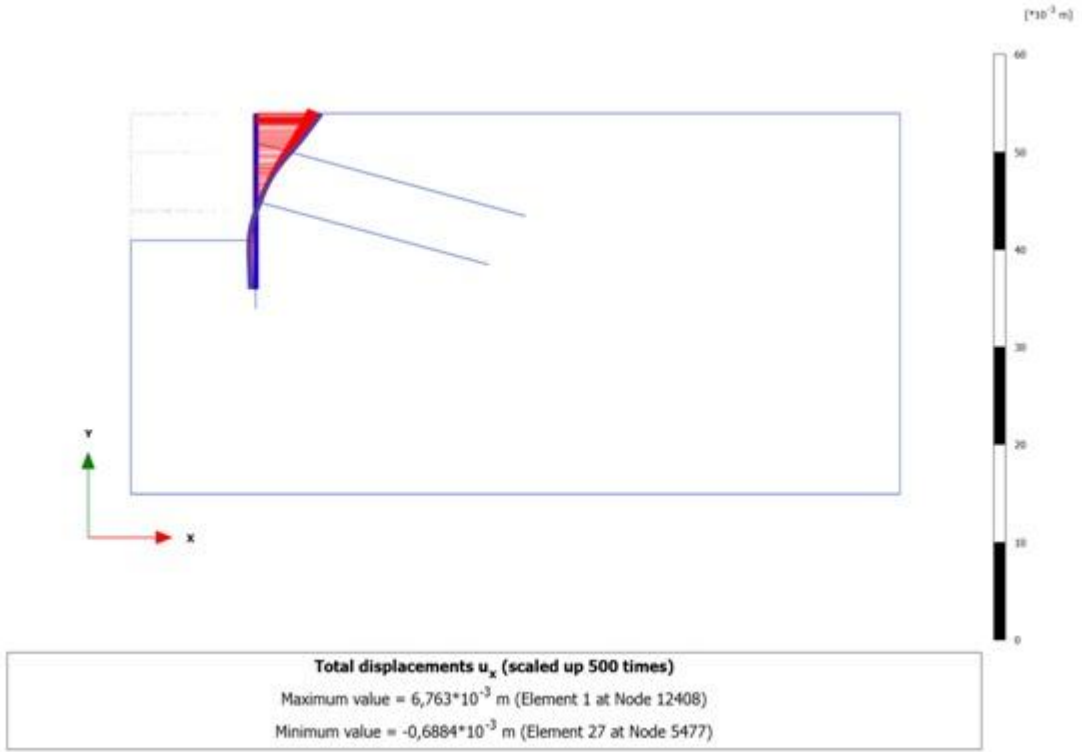
Traction T_{rel} (scaled up 5,00 times)
 Maximum value = 1,000 (Element 11 at Node 12593)
 Minimum value = 0,000 (Element 14 at Node 12608)

Şekil Ek B.32 M2-100-100 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})

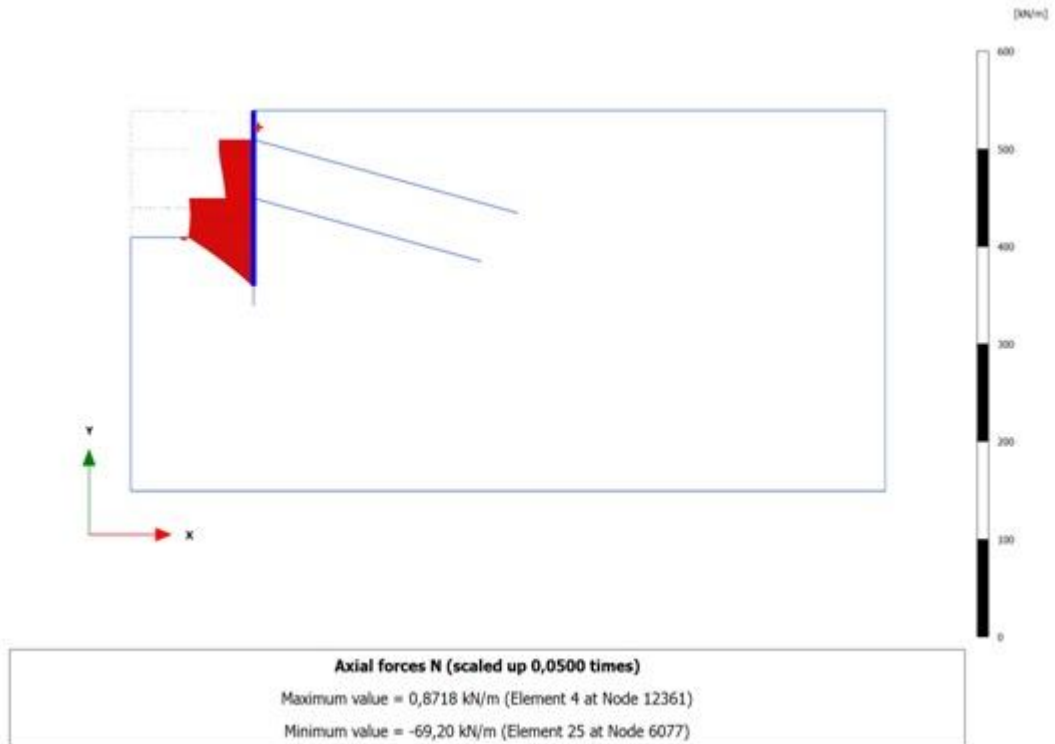


Total displacements [u]
 Maximum value = $6,837 \cdot 10^{-3}$ m (Element 1222 at Node 12491)

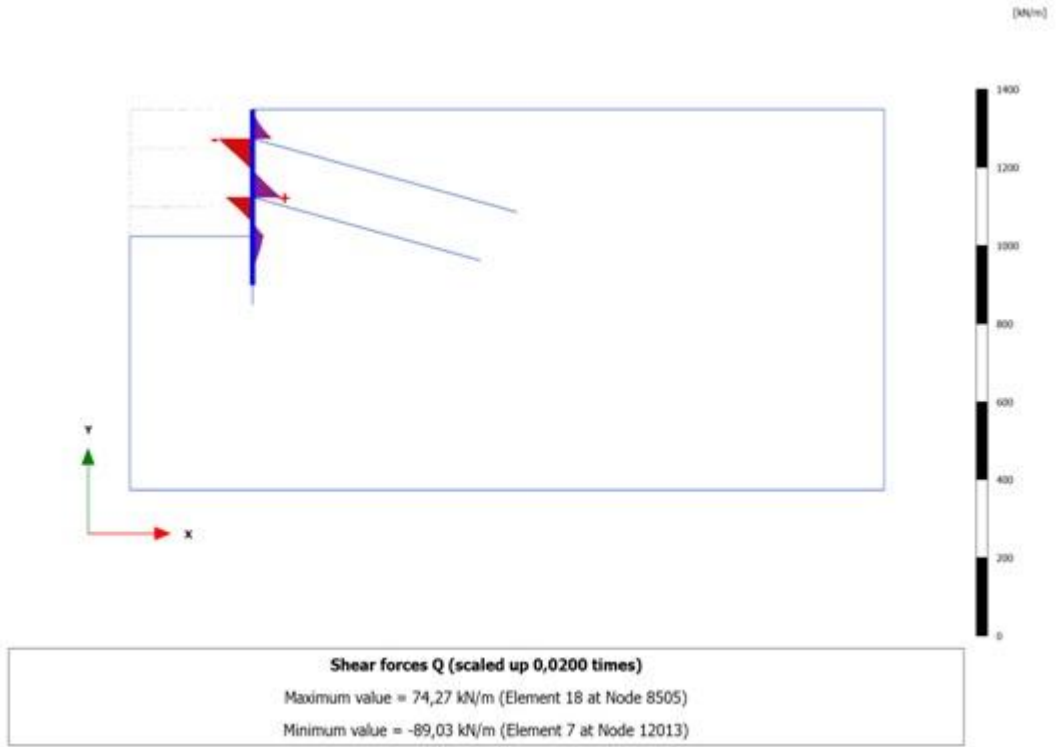
Şekil Ek B.33 M2-100-150 modeli için sistemin toplam yer değişirmesi [u]



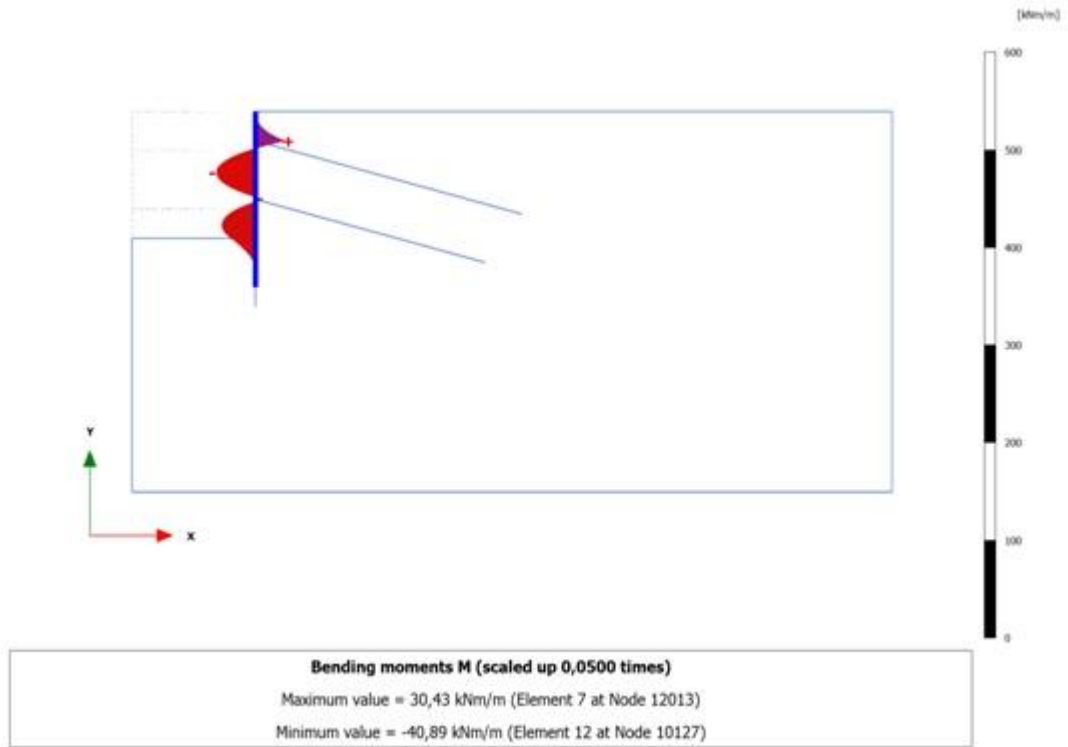
Şekil Ek B.34 M2-100-150 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



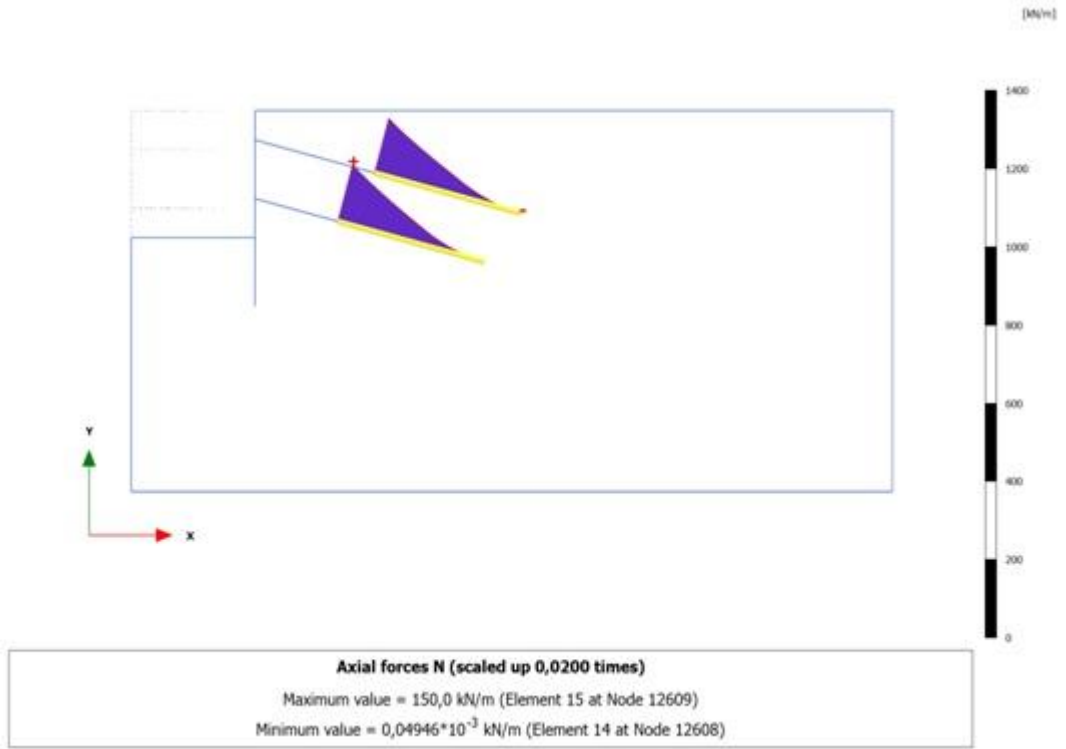
Şekil Ek B.35 M2-100-150 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



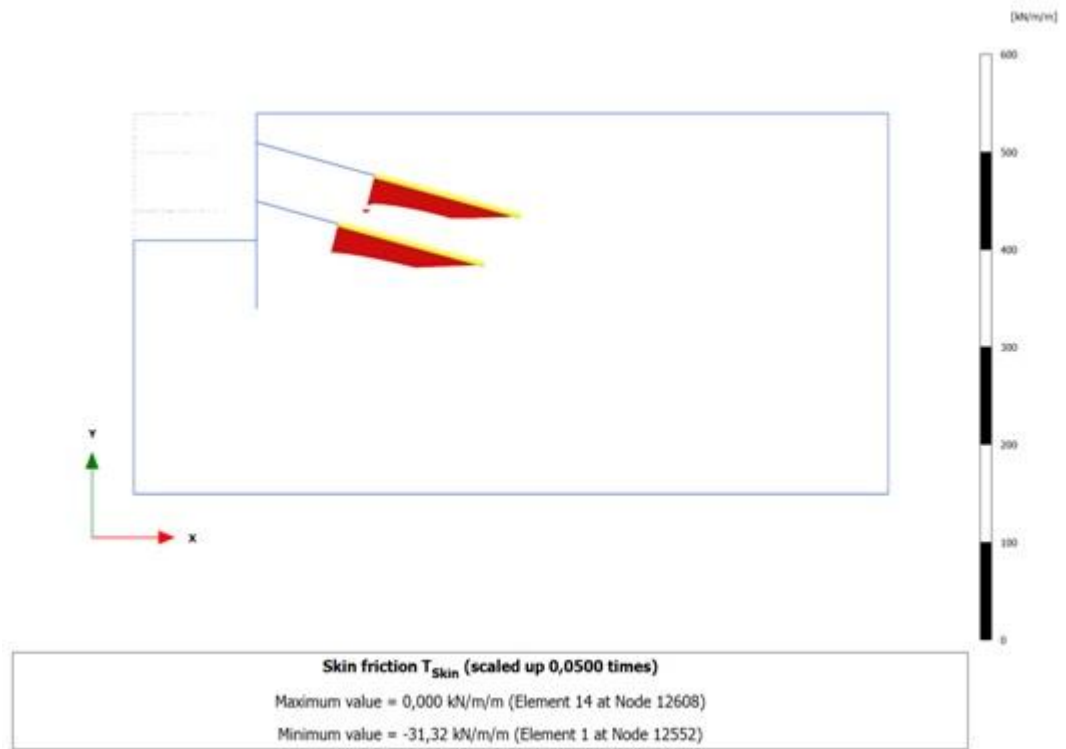
Şekil Ek B.36 M2-100-150 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



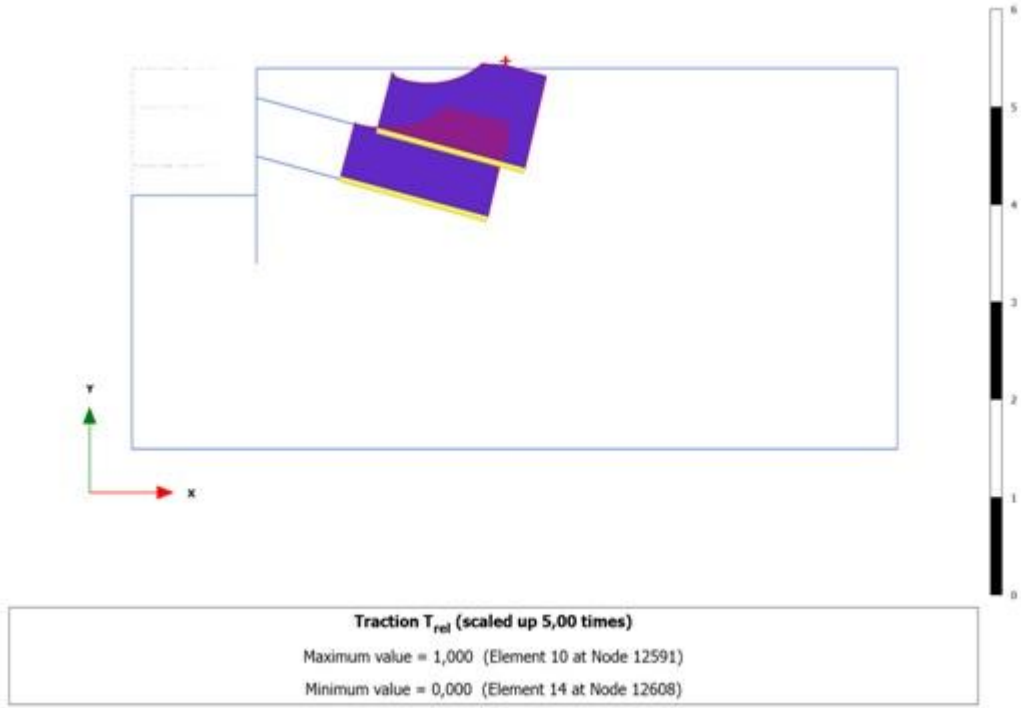
Şekil Ek B.37 M2-100-150 modeli için perde moment kuvveti (M)



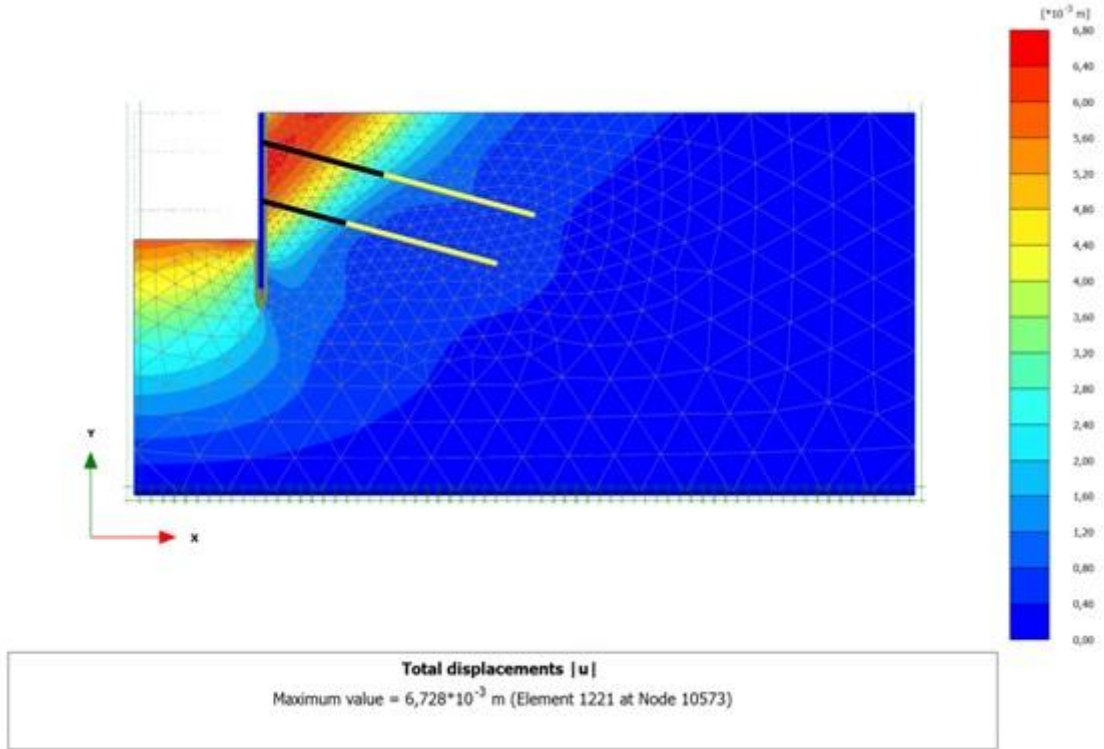
Şekil Ek B.38 M2-100-150 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



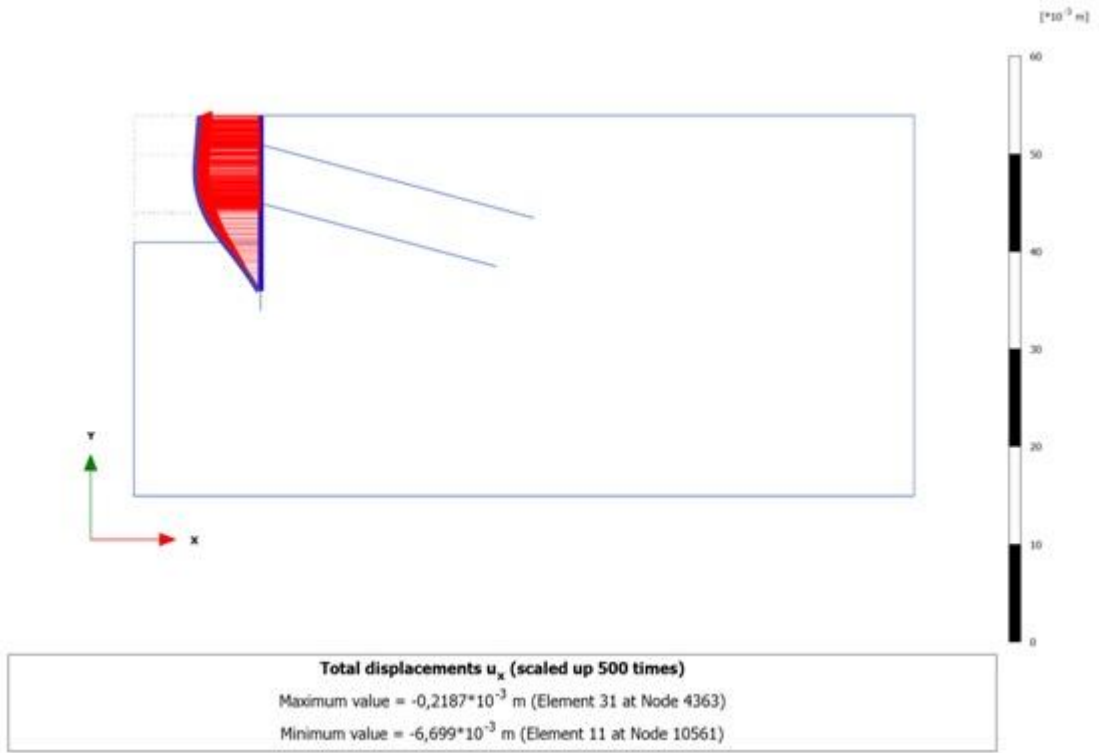
Şekil Ek B.39 M2-100-150 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



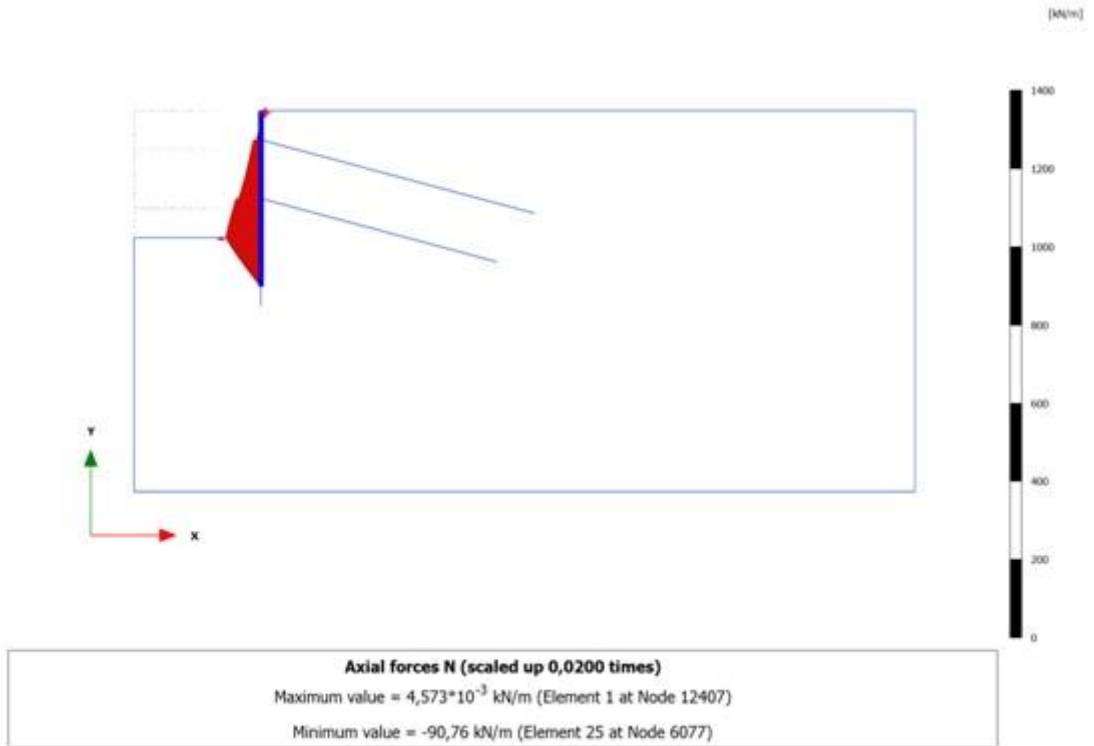
Şekil Ek B.40 M2-100-150 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



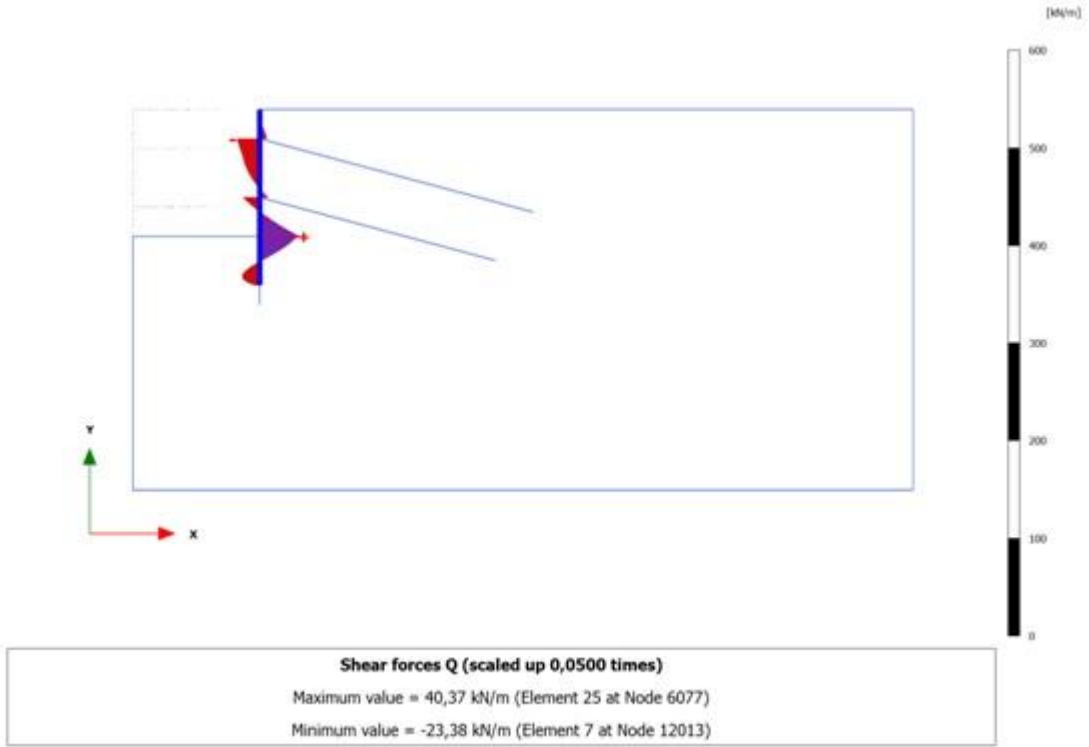
Şekil Ek B.41 M2-150-0 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



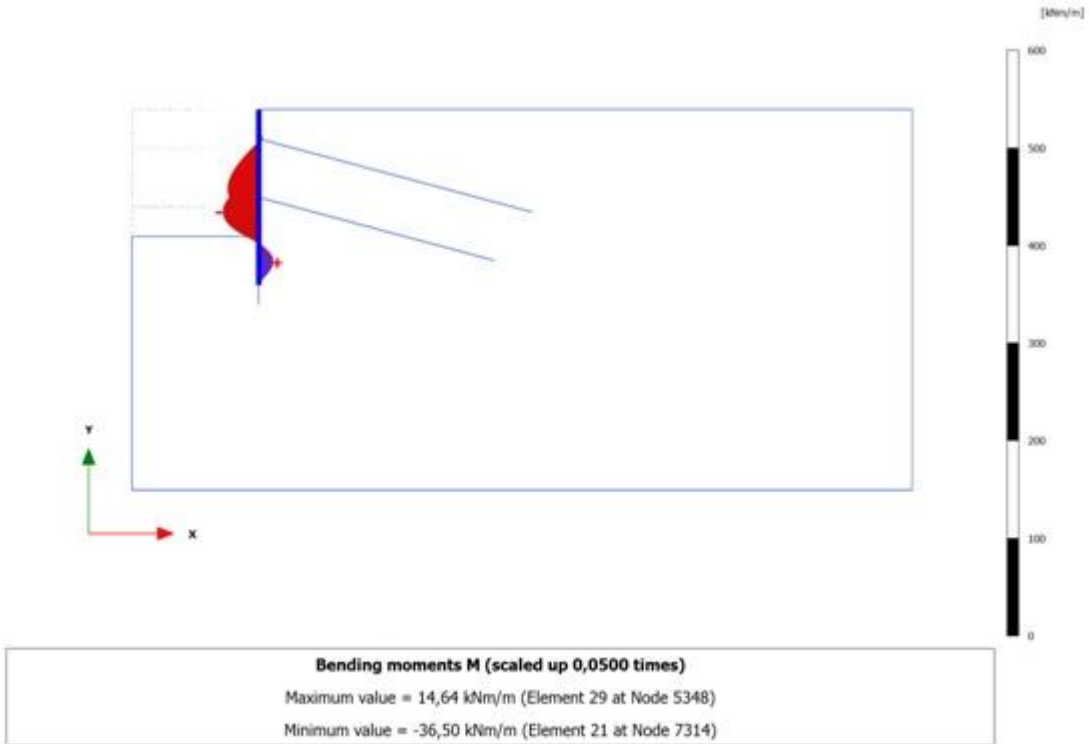
Şekil Ek B.42 M2-150-0 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



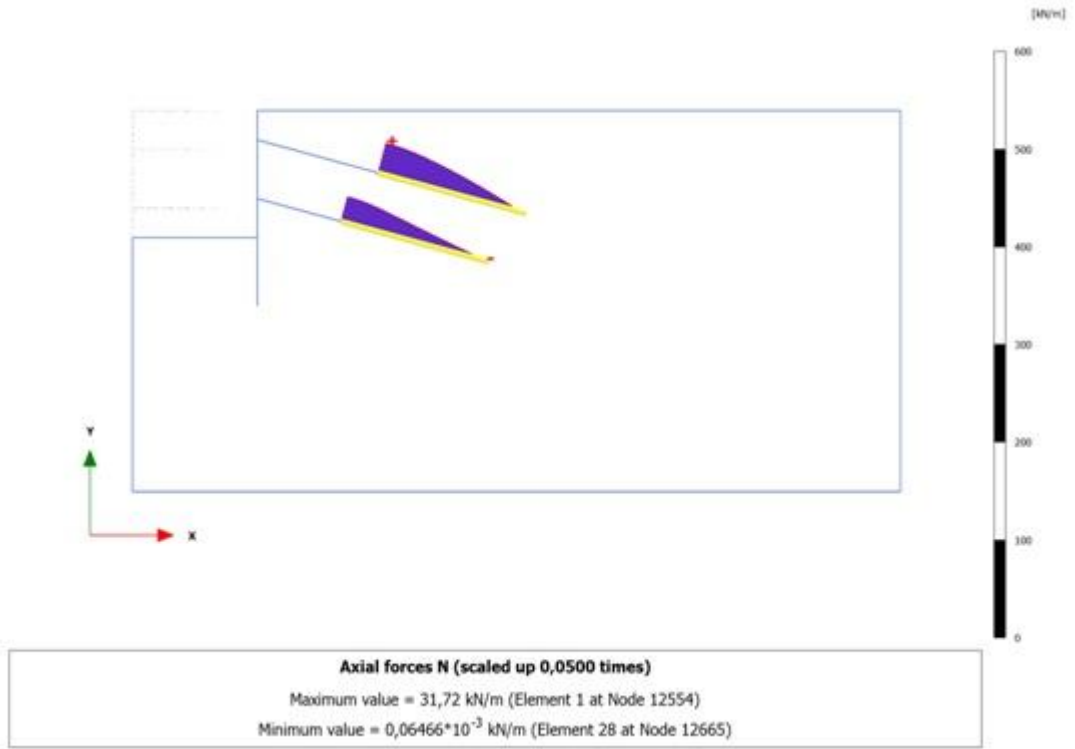
Şekil Ek B.43 M2-150-0 modeli için perde aksel kuvveti (N)



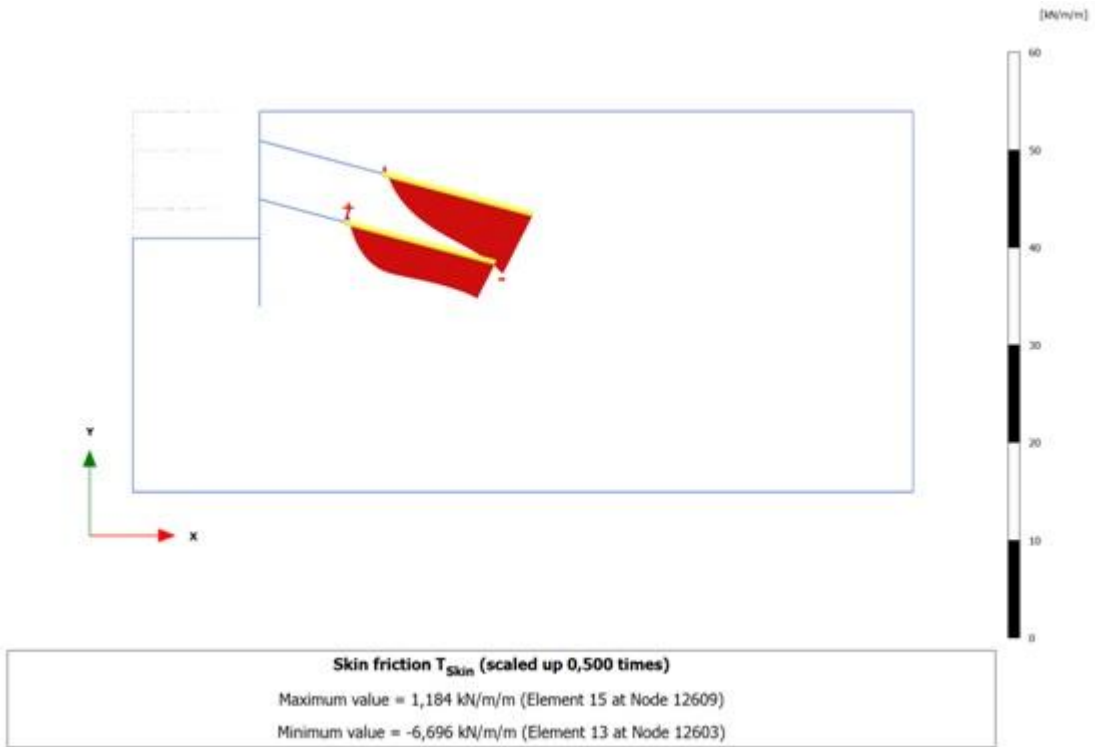
Şekil Ek B.44 M2-150-0 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



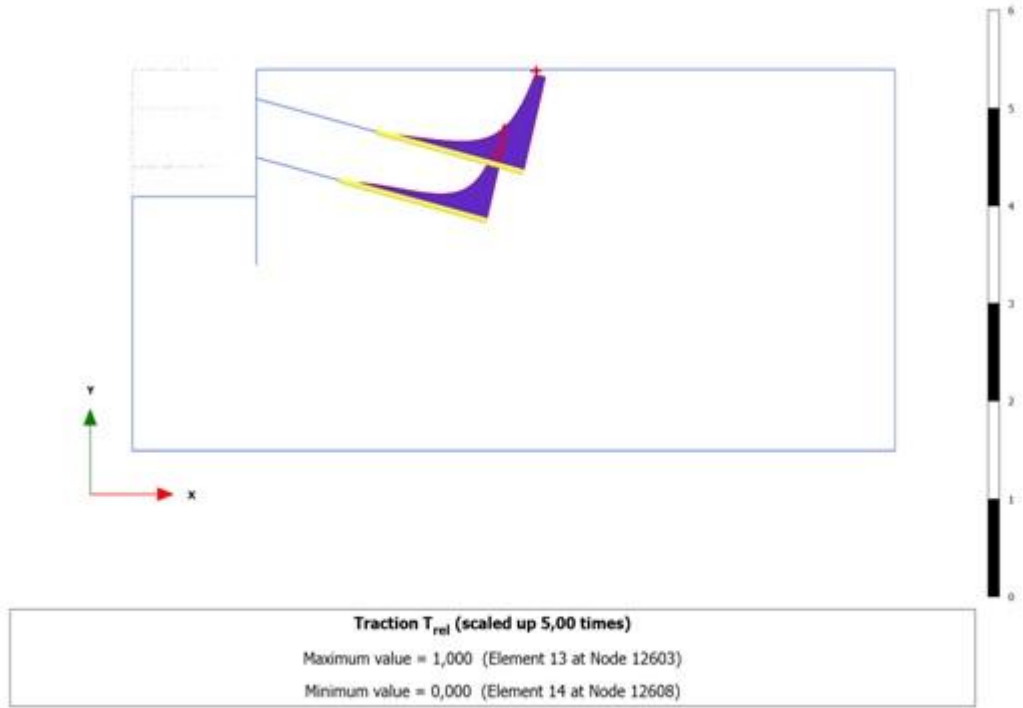
Şekil Ek B.45 M2-150-0 modeli için perde moment kuvveti (M)



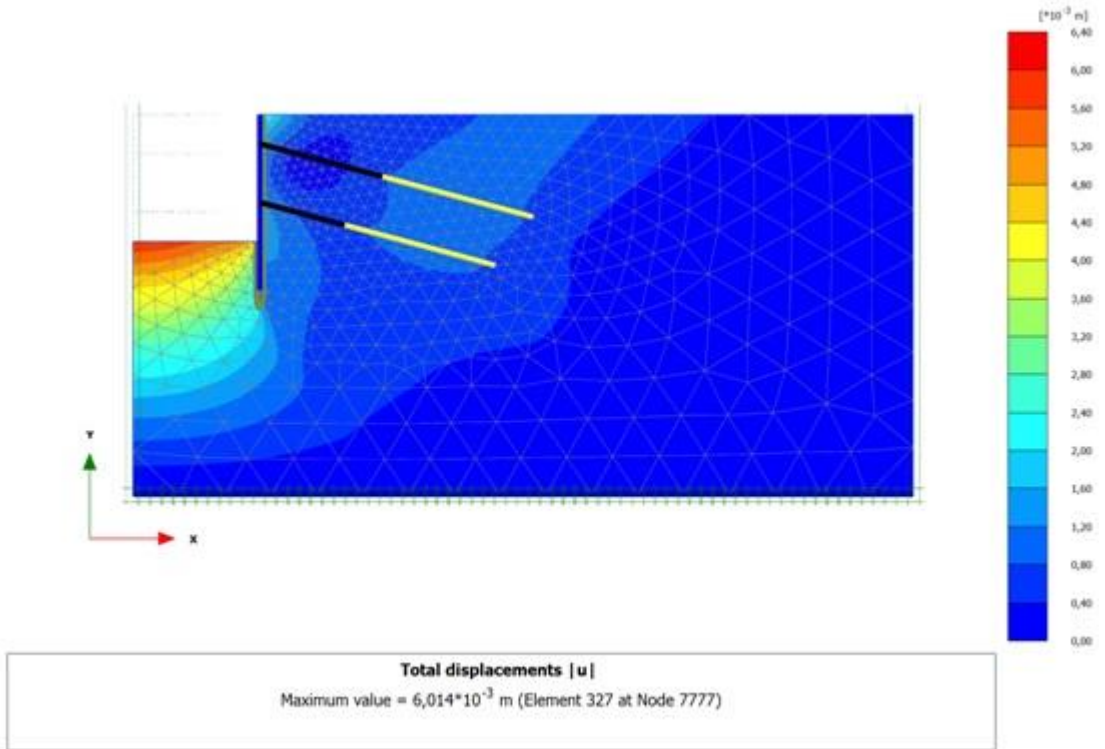
Şekil Ek B.46 M2-150-0 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



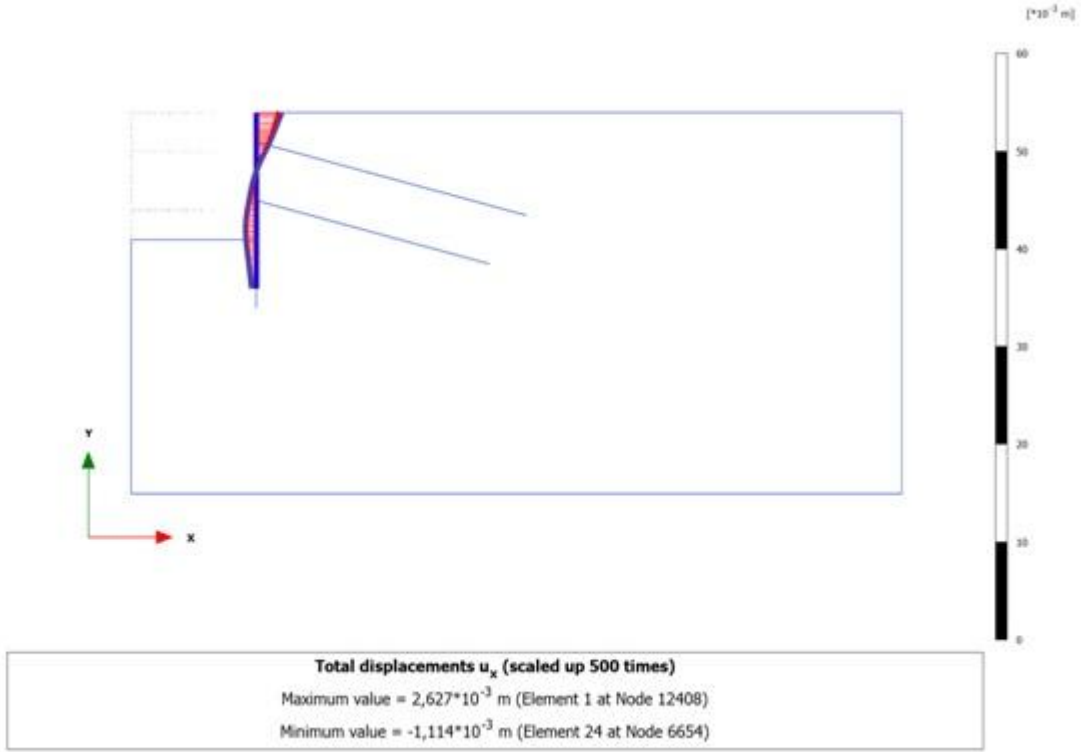
Şekil Ek B.47 M2-150-0 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



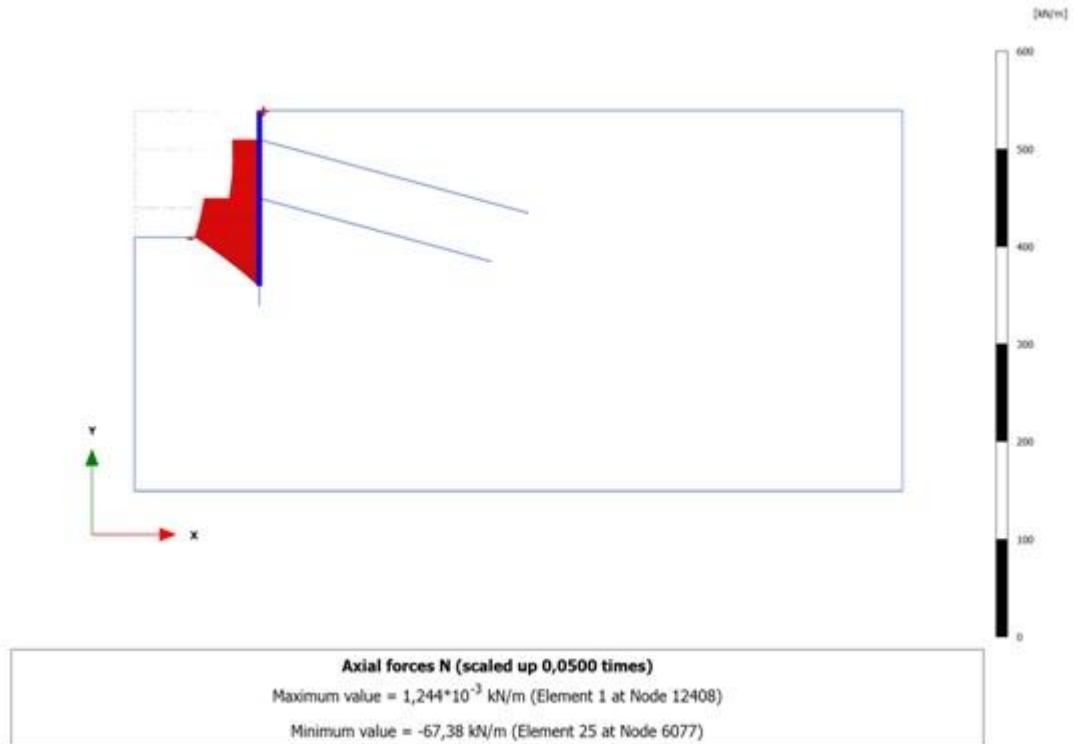
Şekil Ek B.48 M2-150-0 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



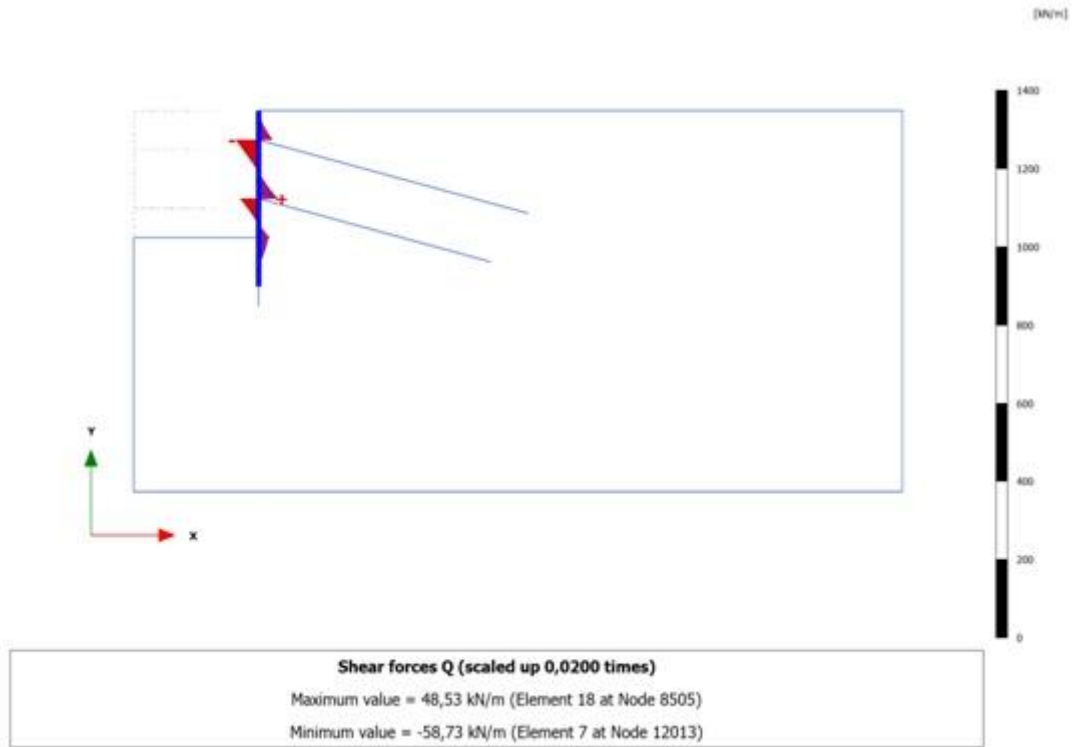
Şekil Ek B.49 M2-150-100 modeli için sistemin toplam yer değiştirmesi [u]



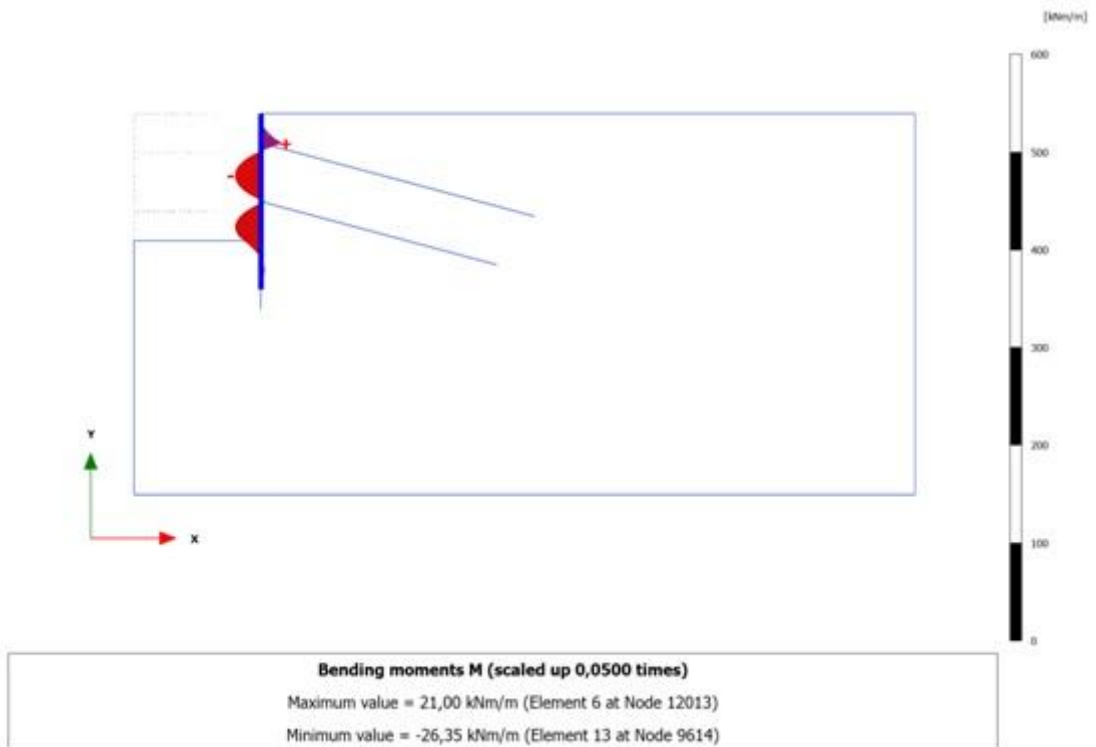
Şekil Ek B.50 M2-150-100 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



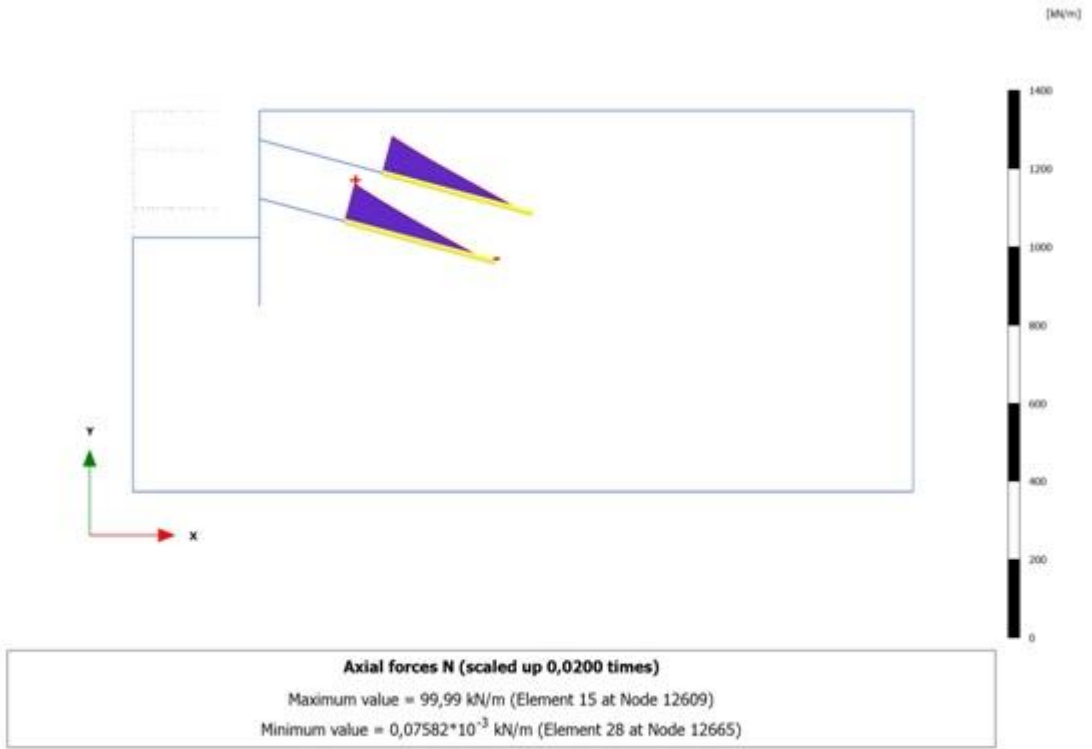
Şekil Ek B.51 M2-150-100 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



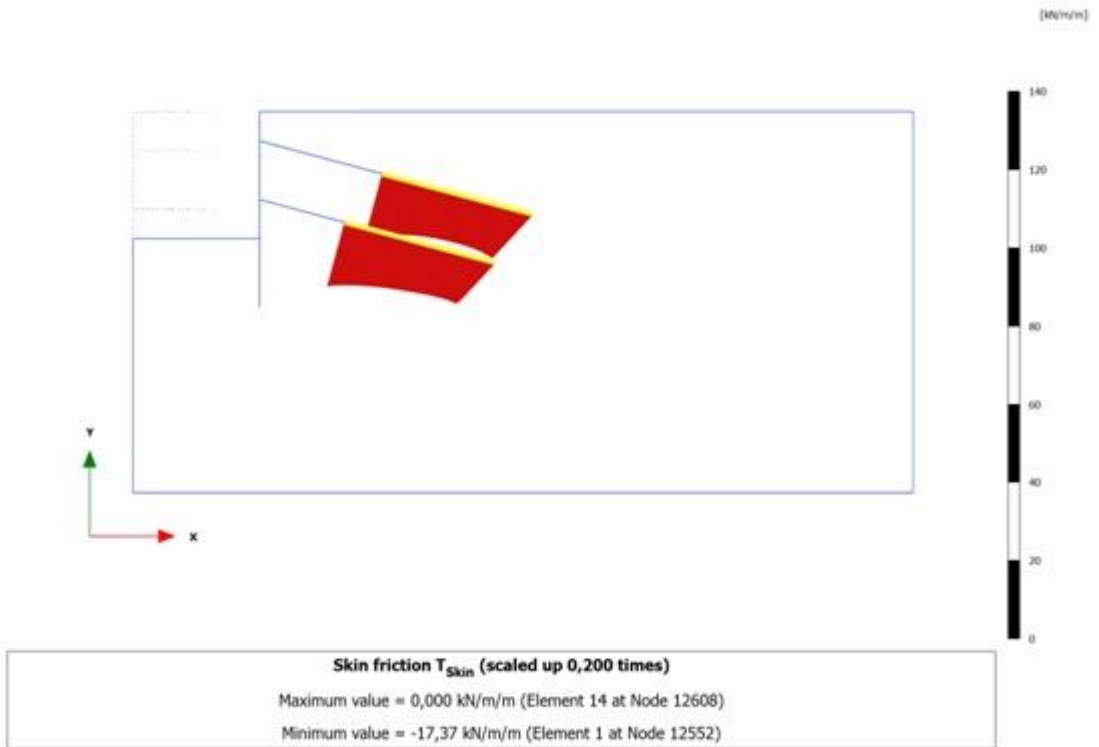
Şekil Ek B.52 M2-150-100 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



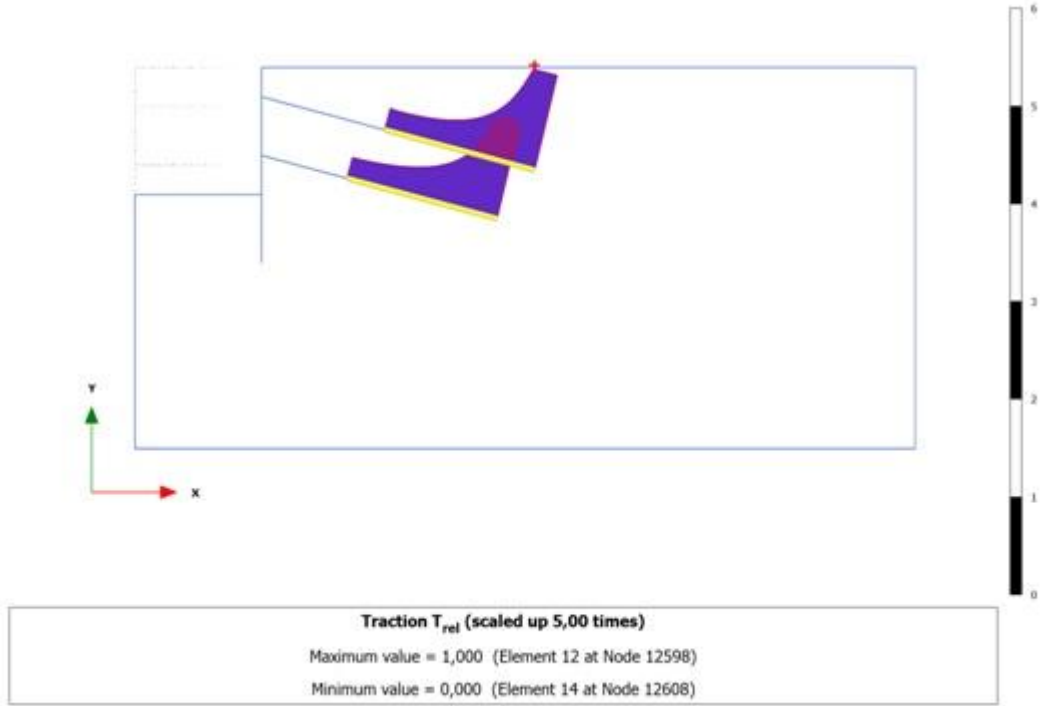
Şekil Ek B.53 M2-150-100 modeli için perde moment kuvveti (M)



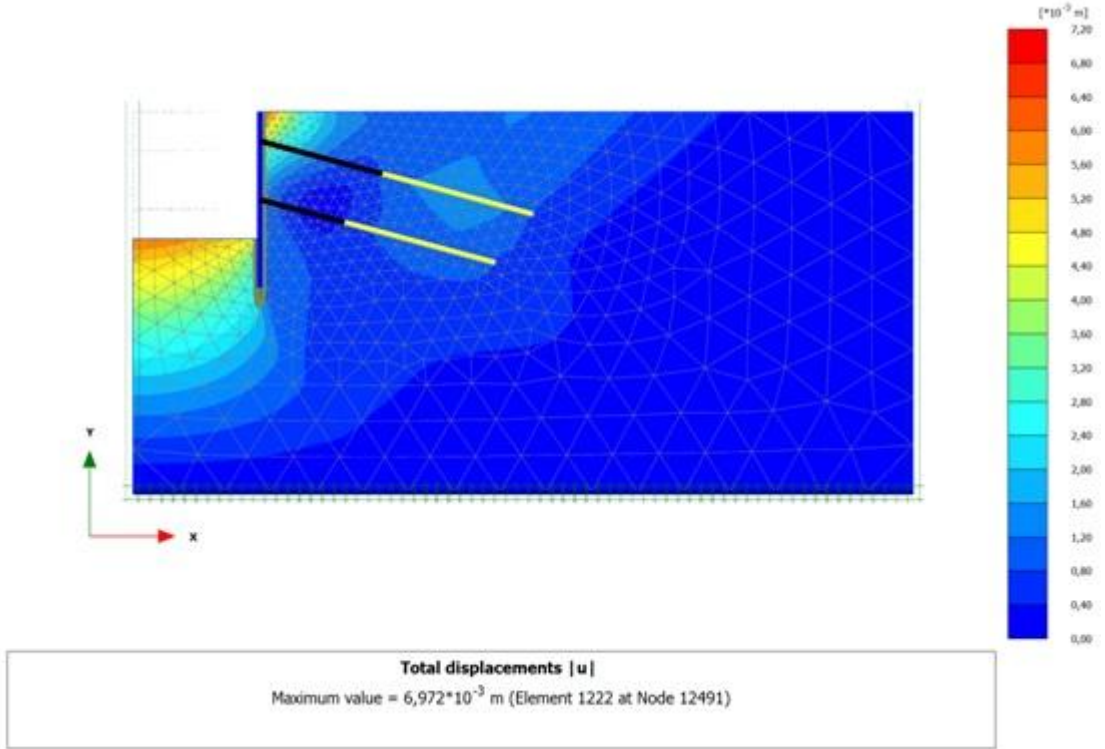
Şekil Ek B.54 M2-150-100 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



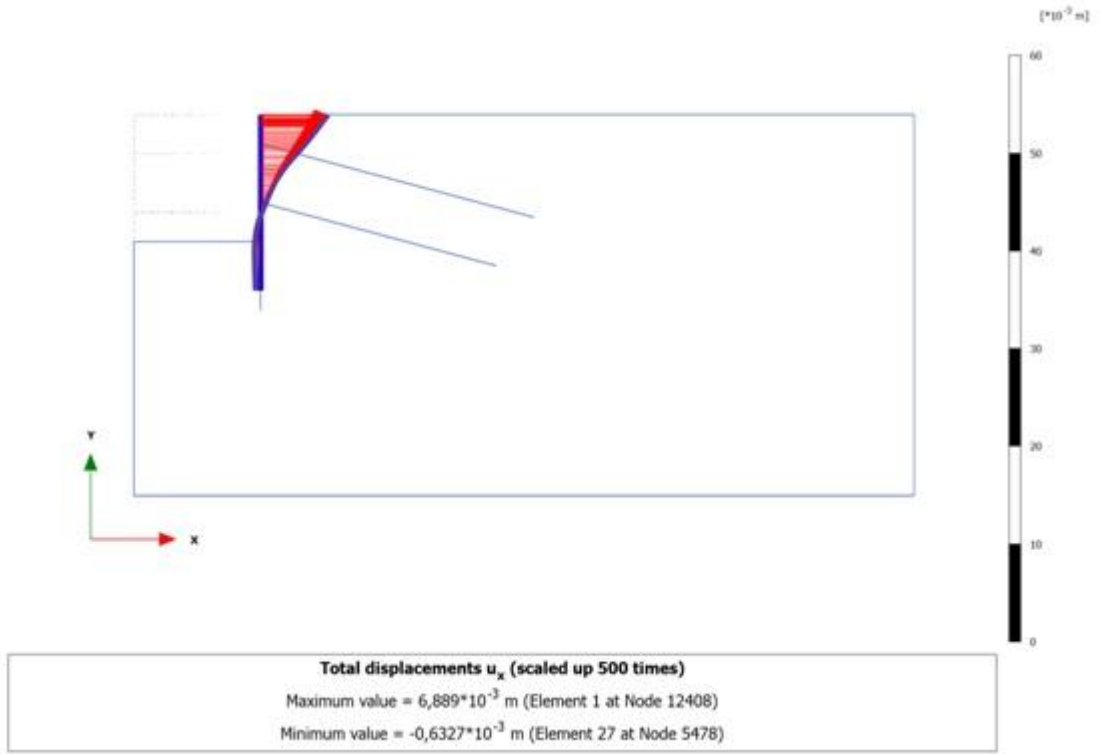
Şekil Ek B.55 M2-150-100 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



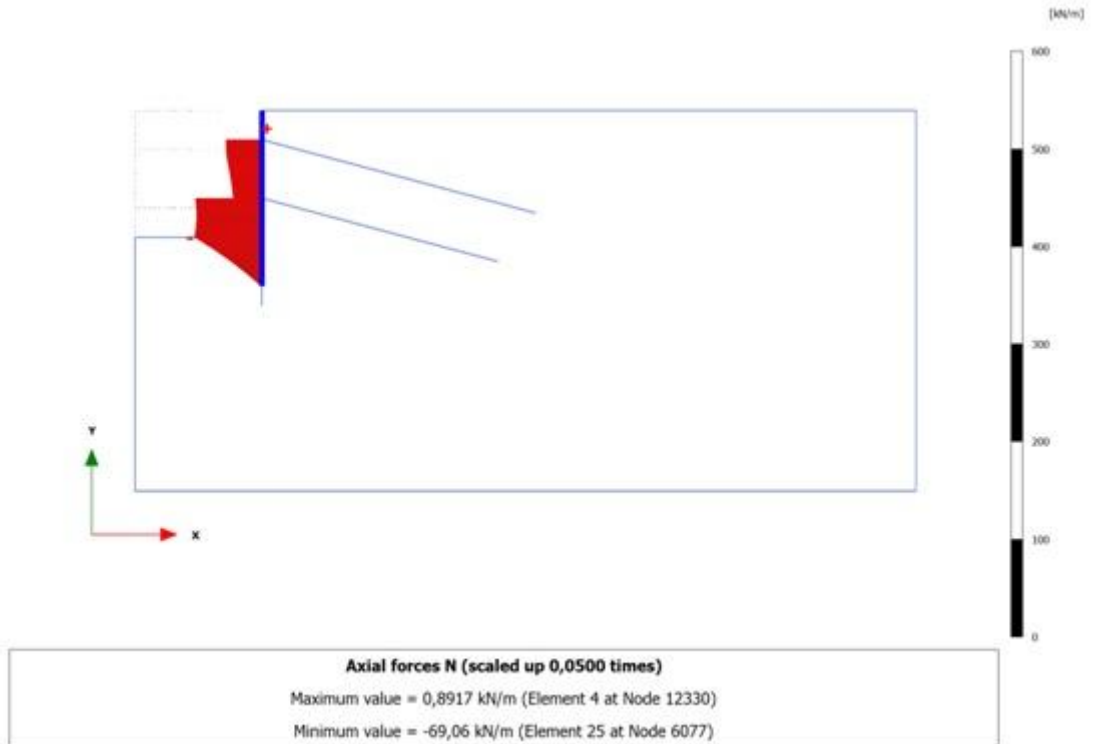
Şekil Ek B.56 M2-150-100 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})



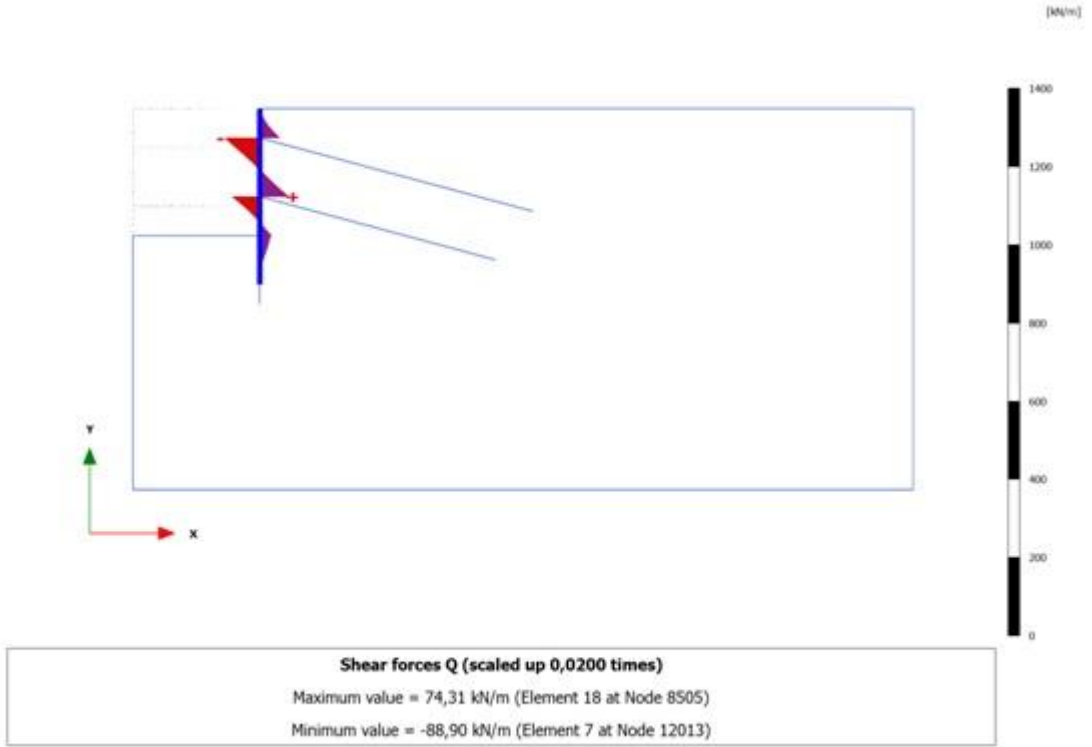
Şekil Ek B.57 M2-150-150 modeli için sistemin toplam yer değıştirmesi [u]



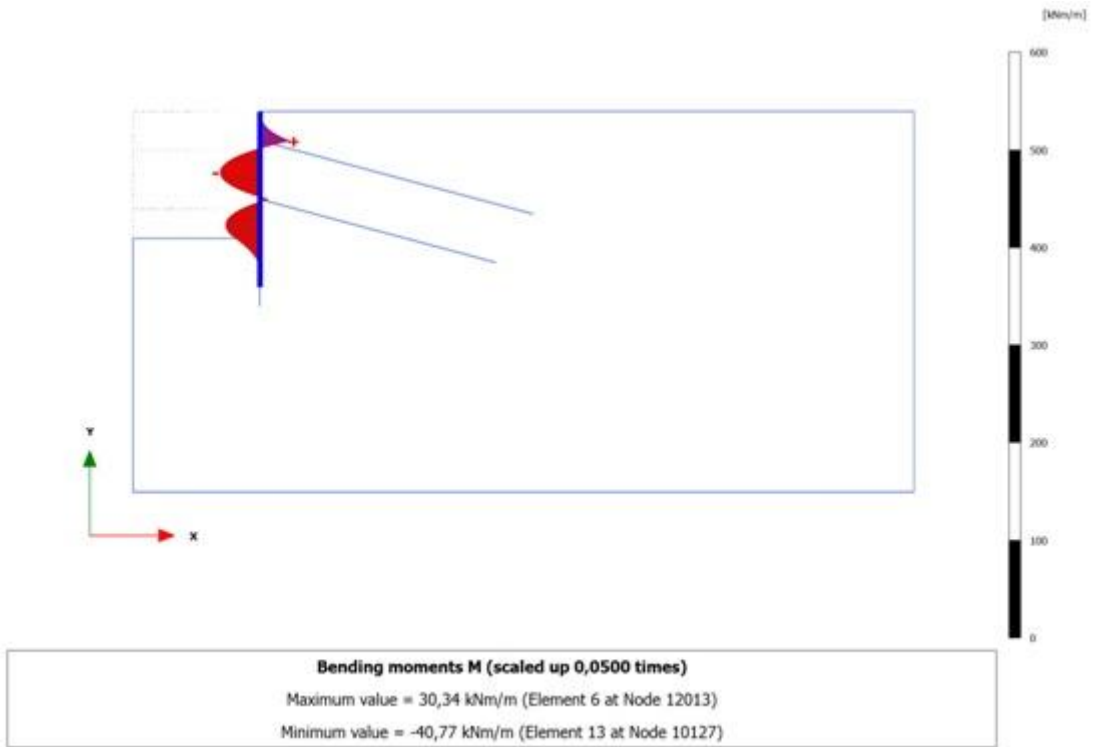
Şekil Ek B.58 M2-150-150 modeli için perdenin yatay yer değiştirmesi [u_x]



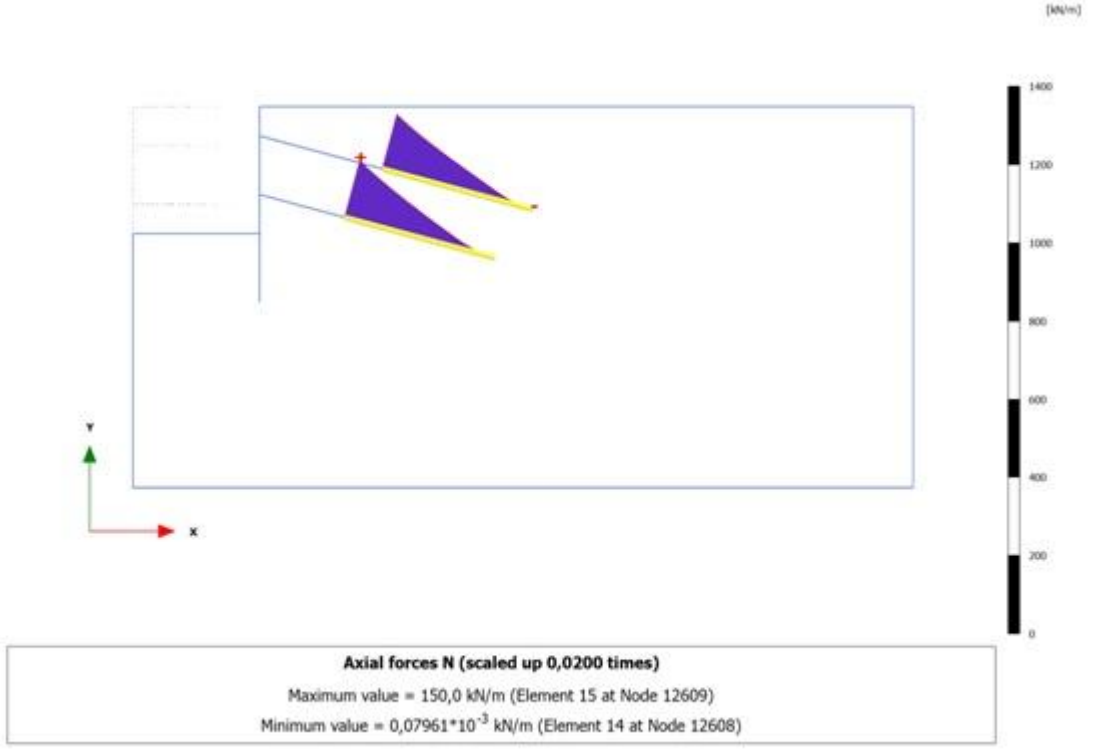
Şekil Ek B.59 M2-150-150 modeli için perde eksenel kuvveti (N)



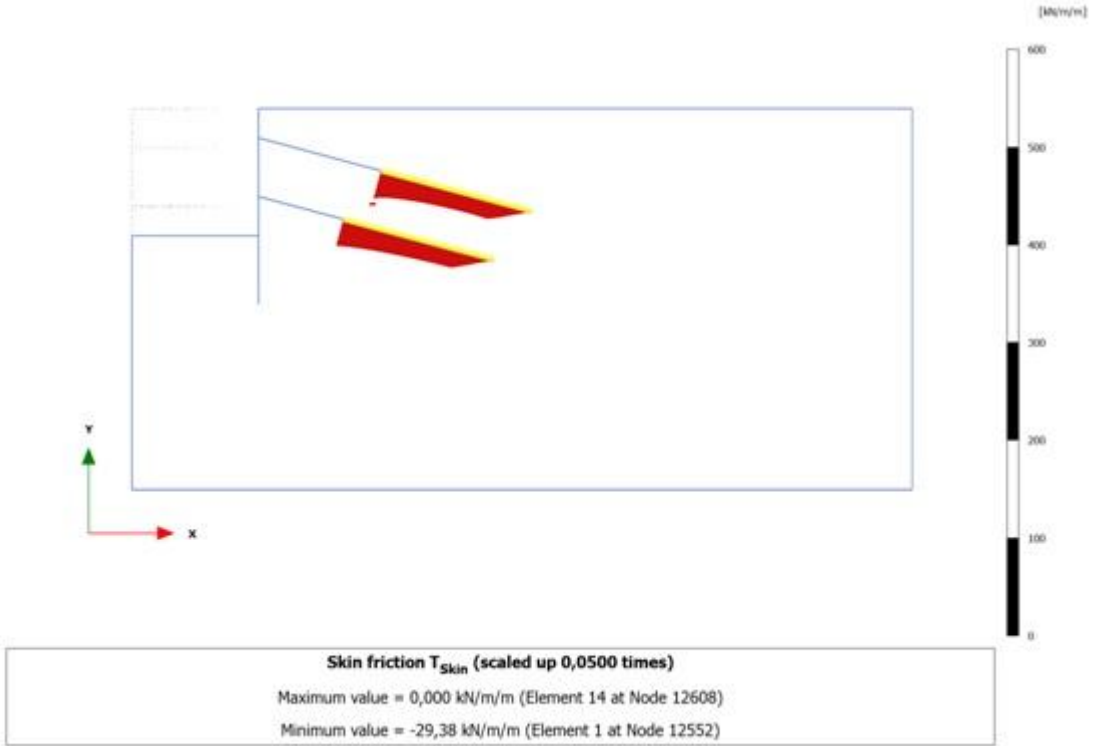
Şekil Ek B.60 M2-150-150 modeli için perde kesme kuvveti (Q)



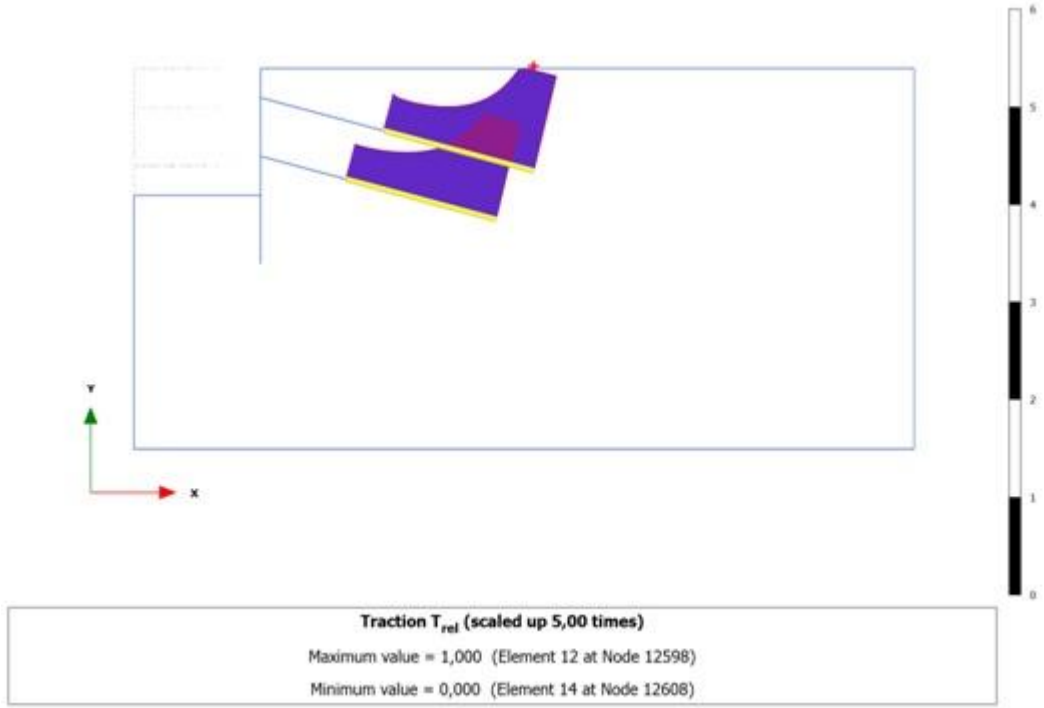
Şekil Ek B.61 M2-150-150 modeli için perde moment kuvveti (M)



Şekil Ek B.62 M2-150-150 modeli için ankraj kökü boyunca normal kuvvet değişimi (N)



Şekil Ek B.63 M2-150-150 modeli için ankraj birim çevre sürtünmesi kuvveti (T_{skin})



Şekil Ek B.64 M2-150-150 modeli için relatif birim çevre sürtünme kuvveti (T_{rel})

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Özlem Beril ERZENOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : 03.01.1988 – Yenimahalle / ANKARA
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : b.erzenoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	İnş. Müh. / Geoteknik	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	İnş. Müh.	Eskişehir Osmangazi Üniv.	2009

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi/Türü/Yeri
2010-2011	Enar Mühendislik Mimarlık ve Danışmanlık Ltd. Şti. / İSTANBUL	İnşaat Mühendisi
2009-2010	Prota Mühendislik Proje ve Danışmanlık A.Ş. / ANKARA	İnşaat Mühendisi