



**DEĞİŞKEN KAYA KOŞULLARINDA KAZILAN ENERJİ VE
DERİVASYON TÜNELLERİNİN TASARIM İLKELERİ VE BİR VAKA
ANALİZİ**

Yusuf YAŞAR

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

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

EKİM 2023

ETİK BEYAN

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

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

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

Yusuf YAŞAR

20/10/2023

DEĞİŞKEN KAYA KOŞULLARINDA KAZILAN ENERJİ VE DERİVASYON TÜNELLERİNİN TASARIM İLKELERİ VE BİR VAKA ANALİZİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Yusuf YAŞAR

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Ekim 2023

ÖZET

Tüneller, mühendislik alanındaki en önemli yapılarının başında gelirler. Tüneller, inşa edildikleri zeminlerin genellikle anizotropik ve heterojen davranış gösteren süreksiz yapıları, eklem takımları ve bunların dağılımları, olası kayma düzlemleri, yeraltı suyunun etkisi ve bunlara bağlı olarak zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin sağlıklı olarak belirlenmesindeki güçlükler nedeni ile tasarımları ve projelendirilmesi oldukça güç yapılardır. Tünel geometrisinin değişkenliği, destek elemanlarının özel durumları, yapı-zemin karşılıklı etkileşimi, yük dağılımının karmaşıklığı, tünel açma yönteminin gerilme dağılımına etkisi gibi faktörler de problemin güçlüğünü artıran etkenlerdir. Bu çalışma kapsamında tünel tasarımı ile ilgili olarak bir vaka analizi özelinde baraj derivasyon tüneli 2 boyutlu sonlu elemanlar yöntemi ile modellenmiş ve Mohr-Coulomb yenilme kriterleri kullanılarak zemin parametreleri modele tanımlanmıştır. Uluslararası alanda yaygın olarak kullanılan ve genel kabul gören standartlar ve literatür incelenmiş ve proje alanı için yapılan jeoloji – jeoteknik değerlendirmeler, ampirik olarak önerilen destek sistemleri dikkate alınarak tünelinin kazı destek ve nihai betonarme kaplama tasarımına yönelik yapılan sonlu elemanlar analizleri ile ayrıntılı bir çalışma hazırlanmıştır.

Bilim Kodu : 91105
Anahtar Kelimeler : Tünel, sonlu elemanlar metodu, derivasyon
Sayfa Adedi : 223
Danışman : Prof. Dr. Süleyman PAMPAL

DESIGN PRINCIPLES AND A CASE ANALYSIS OF ENERGY AND DERIVATION
TUNNELS DUGGED IN VARIABLE ROCK CONDITIONS

(M. Sc. Thesis)

Yusuf YAŞAR

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

October 2023

ABSTRACT

Tunnels are one of the most important structures in engineering. Tunnels are very difficult structures to design and project due to the anisotropic and heterogeneous behavior of the discontinuities, joint sets and their distributions, possible slip planes, the effect of groundwater and the difficulties in determining the physical and mechanical properties of the ground accordingly. Factors such as the variability of the tunnel geometry, the special conditions of the support elements, the interaction between the structure and the ground, the complexity of the load distribution, the effect of the tunneling method on the stress distribution are also factors that increase the difficulty of the problem. Within the scope of this study, the dam diversion tunnel was modeled with 2D finite element method and soil parameters were defined to the model by using Mohr-Coulomb failure criteria in a case study related to tunnel design. The widely used and generally accepted standards and literature in the international arena were examined. A detailed study was prepared with the finite element analyzes for the excavation support and final reinforced concrete design of the tunnel, considering the geological – geotechnical evaluations and the empirically suggested support systems for the project area.

Science Code : 91105

Key Words : Tunnel, finite element method, derivation

Page Number : 223

Supervisor : Prof. Dr. Süleyman PAMPAL

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, başta Hocam Sayın Prof. Dr. Süleyman PAMPAL'a ve tez çalışmam konusunda beni motive eden destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan aileme ve iş arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xix
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxxiv
 1. GİRİŞ.....	 1
 2. TÜNEL TASARIM ESASLARI	 5
2.1. Kaya Kütlesi Sınıflandırma Yöntemleri.....	7
2.1.1. Q kaya sınıflaması.....	7
2.1.2. RMR kaya sınıflaması.....	12
2.1.3. GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) Sınıflaması	14
2.1.4. Deformasyon modülü hesaplanması	15
2.1.5. Kaya sınıflaması destek tipleri	16
 3. VAKA ANALİZİ	 19
3.1. Q ve RMR Sistemi Puanlaması	24
3.2. Girdi Parametrelerinin Düzenlenmesi.....	27
3.2.1. Kaya parametreleri	27
3.2.2. Püskürtme beton.....	40
3.2.3. Çelik iksa.....	40
3.2.4. Bulon kapasiteleri.....	41
 4. NÜMERİK ANALİZLER.....	 43

	Sayfa
4.1. Derivasyon Tüneli Sayısal Analizleri	43
4.1.1. Hesap kesitleri	44
4.1.2. Sonlu elemanlar analizi	44
4.2. Derivasyon Tüneli Gevşetme Analizleri.....	45
4.2.1. I. Yöntem - destek sistemi olmadan oluşan deformasyonun hesabı	46
4.3. Tasarım Yükleri	55
4.4. Yük Kombinasyonları	56
4.5. Tünel Üzerine Etkiyen Yükler.....	57
4.6. Destek Sistemi Uygulanması ve Oluşan Deplasmanların Hesabı	58
4.7. Kazı Destek Sistemi Analizi ve Sonuçları	59
4.7.1. 0+024 Kesiti (TİP V)	60
4.7.2. 0+078 Kesiti (TİP II).....	64
4.7.3. 0+158 Kesiti (TİP III)	68
4.7.4. 0+290 Kesiti (TİP III)	72
4.7.5. 0+373 Kesiti (TİP III)	76
4.7.6. 0+480 Kesiti (TİP II).....	80
4.7.7. 0+730 Kesiti (TİP III)	84
4.8. Su Düşümü Analiz Sonuçları.....	88
4.8.1. 0+024 Kesiti analiz sonuçları.....	88
4.8.2. 0+078 Kesiti analiz sonuçları.....	89
4.8.3. 0+158 Kesiti analiz sonuçları.....	90
4.8.4. 0+290 Kesiti analiz sonuçları.....	91
4.8.5. 0+373 Kesiti analiz sonuçları.....	92
4.8.6. 0+480 Kesiti analiz sonuçları.....	93

	Sayfa
4.8.7. 0+730 Kesiti analiz sonuçları.....	94
4.9. Kaplama Beton Analizi ve Sonuçları.....	95
4.10. Derivasyon Yükleme Durumu Analizi ve Sonuçları	96
4.10.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları	96
4.10.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları	99
4.10.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları	103
4.10.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları	106
4.10.5. 0+373 Kesiti - analiz sonuçları	110
4.10.6. 0+480 Kesiti - analiz sonuçları	113
4.10.7. 0+730 Kesiti - analiz sonuçları	117
4.11. İnşaat Sonu Durumu Analizi ve Sonuçları.....	120
4.11.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları	120
4.11.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları	124
4.11.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları	127
4.11.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları	131
4.11.5. 0+373 Kesiti - analiz sonuçları	134
4.11.6. 0+480 Kesiti - analiz sonuçları	138
4.11.7. 0+730 Kesiti - analiz sonuçları	141
4.12. İlk Yükleme Durumu Analizi ve Sonuçları	145
4.12.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları	145
4.12.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları	148
4.12.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları	152
4.12.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları	155
4.13. İşletme Durumu Analizi ve Sonuçları.....	159

	Sayfa
4.13.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları	159
4.13.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları	162
4.13.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları	166
4.13.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları	169
4.14. Onarım Durumu Analizi ve Sonuçları	173
4.14.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları	173
4.14.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları	176
4.14.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları	180
4.14.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları	183
4.14.5. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları	187
4.15. Dış Basınç Durumu Analizi ve Sonuçları	190
4.15.1. Baraj gövde ağırlığı durumu analizi ve sonuçları	190
4.15.2. 0+373 Dış yük analizi	191
5. BETONARME TASARIM	211
5.1. 0+024 Kesiti – Donatı Seçimi	211
5.2. 0+078 Kesiti - Donatı Seçimi	212
5.3. 0+158 Kesiti - Donatı Seçimi	213
5.4. 0+290 Kesiti - Donatı Seçimi	214
5.5. 0+373 Kesiti - Donatı Seçimi	215
5.6. 0+480 Kesiti - Donatı Seçimi	216
5.6. 0+730 Kesiti - Donatı Seçimi	217
6. SONUÇ ÖNERİLER.....	219
KAYNAKLAR	221
ÖZGEÇMİŞ	223

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Kaya kalite göstergesi (RQD).....	7
Çizelge 2.2. Eklem takımı sayısı.....	8
Çizelge 2.3. Eklem pürüzlülük sayısı.	8
Çizelge 2.4. Eklem bozunma sayısı.	9
Çizelge 2.5. Eklem suyu azaltma faktörü.	10
Çizelge 2.6. Gerilme azaltma faktörü.	10
Çizelge 2.7. Gerilme azaltma faktörü	11
Çizelge 2.8. Q değerine göre kayaçların sınıflandırılması.....	12
Çizelge 2.9. RMR değerine göre kayaçların sınıflandırılması.....	12
Çizelge 2.10. RMR sistemi tablosu (After Bieniawski,1989)	13
Çizelge 2.11. GSI Sınıflama Sistemi Çizelgesi	14
Çizelge 2.12. Farklı yeraltı kazısı türleri için orijinal ve güncelleştirilmiş ESR değerleri.	17
Çizelge 3.1. Derivasyon tüneli yakınında açılan sondaj kuyuları.....	21
Çizelge 3.2. Q sınıflaması için kullanılan parametreler özet çizelgesi	24
Çizelge 3.3. RMR sınıflaması özet tablosu.....	25
Çizelge 3.4. GSI sınıflaması özet tablosu	25
Çizelge 3.5. Q sınıflamasına göre önerilen destek sistemleri	25
Çizelge 3.6. Derivasyon tüneli önerilen destek sistemleri.....	26
Çizelge 3.7 Sağlam veya masif kaya kütlesi ile lamine kayaçları da içerecek şekilde düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi.	27

Çizelge	Sayfa
Çizelge 3.8. Modül katsayıları	28
Çizelge 3.9. Örselenme katsayısı değerleri.....	28
Çizelge 3.10. Bazı kayaçlara ait mi (som kayanın kayma direnci) değerleri.	29
Çizelge 3.11. Derivasyon tüneli jeoteknik tasarım parametreleri.....	38
Çizelge 3.12. Hesaplanan deformasyon modülleri özet tablosu	39
Çizelge 3.13. Hesaplanan deformasyon modülleri için özet çizelgesi.....	39
Çizelge 3.14. Püskürtme beton malzeme parametreleri.....	40
Çizelge 3.15. Çelik iksa malzeme parametreleri	40
Çizelge 4.1. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri (0+024 kesiti)	47
Çizelge 4.2. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri.....	48
Çizelge 4.3. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri.....	49
Çizelge 4.4. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri.....	50
Çizelge 4.5. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri.....	51
Çizelge 4.6. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri.....	52
Çizelge 4.7. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri.....	53
Çizelge 4.8. Farklı yükleme durumları ve açıklamaları.....	55
Çizelge 4.9. Derivasyon tüneli yükleme durumlarına göre oluşan basınç kuvvetleri ...	57
Çizelge 4.10. Farklı kaya sınıflarına göre belirlenen kazı destek sistemleri	58
Çizelge 4.11. 0+024 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri.....	98
Çizelge 4.12. 0+024 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	98
Çizelge 4.13. 0+024 Kesiti derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri	99

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.14. 0+078 Kesiti Phase2 analizi derivasyon kesit tesirleri	102
Çizelge 4.15. 0+078 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	102
Çizelge 4.16. 0+078 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri	102
Çizelge 4.17. 0+158 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri.....	105
Çizelge 4.18. 0+158 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri.....	105
Çizelge 4.19. 0+158 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri	106
Çizelge 4.20. 0+290 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri.....	109
Çizelge 4.21. 0+290 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	109
Çizelge 4.22. 0+290 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	109
Çizelge 4.23. 0+373 Kesiti Phase2 derivasyon durumu kesit tesirleri	112
Çizelge 4.24. 0+373 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	112
Çizelge 4.25. 0+373 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	113
Çizelge 4.26. 0+480 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri.....	116
Çizelge 4.27. 0+480 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	116
Çizelge 4.28. 0+480 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	116
Çizelge 4.29. 0+730 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri.....	119
Çizelge 4.30. 0+730 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	119

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.31. 0+730 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri	120
Çizelge 4.32. 0+024 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	123
Çizelge 4.33. 0+024 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	123
Çizelge 4.34. 0+024 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri	123
Çizelge 4.35. 0+078 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	126
Çizelge 4.36. 0+078 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	126
Çizelge 4.37. 0+078 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	127
Çizelge 4.38. 0+158 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	130
Çizelge 4.39. 0+158 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	130
Çizelge 4.40. 0+158 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri	130
Çizelge 4.41. 0+290 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	133
Çizelge 4.42. 0+290 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	133
Çizelge 4.43. 0+290 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	134
Çizelge 4.44. 0+373 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	137
Çizelge 4.45. 0+373 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	137
Çizelge 4.46. 0+373 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri	137
Çizelge 4.47. 0+480 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	140

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.48. 0+480 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	140
Çizelge 4.49. 0+480 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	141
Çizelge 4.50. 0+730 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri	144
Çizelge 4.51. 0+730 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	144
Çizelge 4.52. 0+730 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	144
Çizelge 4.53. 0+024 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri.....	147
Çizelge 4.54. 0+024 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	147
Çizelge 4.55. 0+024 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme bulon eksenel kuvvetleri	148
Çizelge 4.56. 0+078 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri	151
Çizelge 4.57. 0+078 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	151
Çizelge 4.58. 0+078 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	151
Çizelge 4.59. 0+158 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri	154
Çizelge 4.60. 0+158 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	154
Çizelge 4.61. 0+158 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri.....	155
Çizelge 4.62. 0+290 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri	158
Çizelge 4.63. 0+290 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	158
Çizelge 4.64. 0+290 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri	158

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.65. 0+024 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri.....	161
Çizelge 4.66. 0+024 Kesiti Phase2 analiz işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	161
Çizelge 4.67. 0+024 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri	162
Çizelge 4.68. 0+078 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri.....	165
Çizelge 4.69. 0+078 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	165
Çizelge 4.70. 0+078 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri ...	165
Çizelge 4.71. 0+158 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri.....	168
Çizelge 4.72. 0+158 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	168
Çizelge 4.73. 0+158 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri ...	169
Çizelge 4.74. 0+290 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri.....	172
Çizelge 4.75. 0+290 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	172
Çizelge 4.76. 0+290 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri ...	172
Çizelge 4.77. 0+024 Kesiti Phase2 analizi onarım yükleme durumu kesit tesirleri	175
Çizelge 4.78. 0+024 Kesiti phase2 analizi onarım yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	175
Çizelge 4.79. 0+024 Kesiti Phase2 analizi onarım yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri	176
Çizelge 4.80. 0+078 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri.....	179
Çizelge 4.81. 0+078 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	179
Çizelge 4.82. 0+078 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri	179
Çizelge 4.83. 0+158 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri.....	182

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.84. 0+158 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	182
Çizelge 4.85. 0+158 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri	183
Çizelge 4.86. 0+290 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri.....	186
Çizelge 4.87. 0+290 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	186
Çizelge 4.88. 0+290 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri	186
Çizelge 4.89. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri.....	189
Çizelge 4.90. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	189
Çizelge 4.91. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri ...	190
Çizelge 4.92. 0+373 Kesiti Phase2 analizi dış yük onarım durumu kesit tesirleri	195
Çizelge 4.93. 0+373 Kesiti Phase2 analizi dış yük onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	195
Çizelge 4.94. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri ...	195
Çizelge 4.95. Düşük örtü-Barton (2002)-kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri.....	208
Çizelge 4.96. Düşük örtü-Barton (2002)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri.....	208
Çizelge 4.97. Düşük örtü-Sönmez vd. (2006)- kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri..	208
Çizelge 4.98. Düşük örtü-Sönmez vd. (2006)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri.....	208
Çizelge 4.99. Yüksek örtü-Barton (2002)-kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri	209
Çizelge 4.100.Yüksek örtü-Barton (2002)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri	209
Çizelge 4.101. Yüksek örtü-Sönmez vd.(2006)-kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri	209
Çizelge 4.102. Yüksek örtü-Sönmez vd. (2006)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri ..	209
Çizelge 5.1. 0+024 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	211

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.2. 0+024 Kesiti maksimum kesit tesirleri.....	211
Çizelge 5.3. 0+078 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	212
Çizelge 5.4. 0+078 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri.....	212
Çizelge 5.5. 0+0158 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	213
Çizelge 5.6. 0+158 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri.....	213
Çizelge 5.7. 0+290 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	214
Çizelge 5.8. 0+290 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri.....	214
Çizelge 5.9. 0+373 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	215
Çizelge 5.10. 0+373 Kesiti Phase2 dış yük analiz tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri	215
Çizelge 5.11. 0+373 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri.....	215
Çizelge 5.12. 0+480 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	216
Çizelge 5.13. 0+480 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri.....	216
Çizelge 5.14. 0+730 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri.....	217
Çizelge 5.15. 0+730 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri.....	217

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Tünellerde destek basıncı – radyal deformasyon ilişkisi.....	6
Şekil 2.2. Ardışık deformasyon ölçümlerinin değerlendirilmesi	6
Şekil 2.3. Q kaya kütleli sınıflandırma sistemi destekleme türleri	17
Şekil 3.1. Derivasyon tüneli jeolojik boykesiti.....	19
Şekil 3.2. Derivasyon tüneli ve ilgili yapılara ait genel yerleşim planı	20
Şekil 3.3. Tipik tünel en kesiti	20
Şekil 3.4. KM: 0+000 – 0+024 kesimi D=0 giriş portalı.....	30
Şekil 3.5. KM: 0+024 – 0+048 kesimi D=0 tünel orta kesimi -1	30
Şekil 3.6. KM: 0+048 – 0+133 kesimi D=0 tünel orta kesimi -2	31
Şekil 3.7. KM: 0+133 – 0+181 kesimi D=0 tünel orta kesimi -3	31
Şekil 3.8. KM: 0+181 – 0+480 kesimi D=0 tünel orta kesimi -4	32
Şekil 3.9. KM: 0+480 – 0+700 kesimi D=0 tünel orta kesimi -5	32
Şekil 3.10. KM: 0+700 – 0+730 kesimi D=0 tünel orta kesimi -6	33
Şekil 3.11. KM: 0+730 – 0+742 kesimi D=0 çıkış portalı	33
Şekil 3.12. KM: 0+000 – 0+024 kesimi D=0.5 giriş portalı.....	34
Şekil 3.13. KM: 0+024 – 0+048 kesimi D=0.5 tünel orta kesimi -1	34
Şekil 3.14. KM: 0+048 – 0+133 kesimi D=0.5 tünel orta kesimi -2	35
Şekil 3.15. KM: 0+133 – 0+181 kesimi D=0.5 tünel orta kesimi -3	35

Şekil	Sayfa
Şekil 3.16. KM: 0+181 – 0+480 kesimi D=0.5 tünel orta kesimi -4	36
Şekil 3.17. KM: 0+480 – 0+700 kesimi D=0.5 tünel orta kesimi -5	36
Şekil 3.18. KM: 0+700 – 0+730 kesimi D=0.5 tünel orta kesimi -6	37
Şekil 3.19. KM: 0+730 – 0+742 kesimi D=0.5 çıkış portalı	37
Şekil 3.20. Püskürtme betonun zamana bağlı elastisite modülü değişimi.	40
Şekil 4.1. Boyuna deplasman profilleri	46
Şekil 4.2. Oluşturulan Phase2 tünel modeli	47
Şekil 4.3. 0+024 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	48
Şekil 4.4. 0+078 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	49
Şekil 4.5. 0+158 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	50
Şekil 4.6. 0+290 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	51
Şekil 4.7. 0+373 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	52
Şekil 4.8. 0+480 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	53
Şekil 4.9. 0+730 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi	54
Şekil 4.10. 0+024 Kesiti kazı destek sistemi (Tip V)	60
Şekil 4.11. 0+024 Kesiti oluşturulan phase2 modeli	60
Şekil 4.12. 0+024 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	61
Şekil 4.13. 0+024 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	61
Şekil 4.14. 0+024 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	62
Şekil 4.15. 0+024 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı	62

Şekil	Sayfa
Şekil 4.16. 0+024 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı	63
Şekil 4.17. 0+024 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı.....	63
Şekil 4.18. 0+078 Kesiti kazı destek sistemi (Tip II)	64
Şekil 4.19. 0+078 Kesiti oluşturulan Phase2 modeli	64
Şekil 4.20. 0+078 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	65
Şekil 4.21. 0+078 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	65
Şekil 4.22. 0+078 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	66
Şekil 4.23. 0+078 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı	66
Şekil 4.24. 0+078 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı	67
Şekil 4.25. 0+078 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı.....	67
Şekil 4.26. 0+158 Kesiti kazı destek sistemi (Tip III)	68
Şekil 4.27. 0+158 Kesiti oluşturulan Phase2 modeli	68
Şekil 4.28. 0+158 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	69
Şekil 4.29. 0+158 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	69
Şekil 4.30. 0+158 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	70
Şekil 4.31. 0+158 Kesiti, püskürtme betona etki eden moment dağılımı	70
Şekil 4.32. 0+158 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı	71
Şekil 4.33. 0+158 Kesit destekleme etkileşim diyagramı.....	71

Şekil	Sayfa
Şekil 4.34. 0+290 Kesiti kazı destek sistemi (Tip III)	72
Şekil 4.35. 0+290 Kesiti oluşturulan Phase2 modeli	72
Şekil 4.36. 0+290 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	73
Şekil 4.37. 0+290 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	73
Şekil 4.38. 0+290 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	74
Şekil 4.39. 0+290 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı	74
Şekil 4.40. 0+290 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı	75
Şekil 4.41. 0+290 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı.....	75
Şekil 4.42. 0+373 Kesiti kazı destek sistemi (Tip III)	76
Şekil 4.43. 0+373 Kesiti oluşturulan phase2 modeli	76
Şekil 4.44. 0+373 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	77
Şekil 4.45. 0+373 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	77
Şekil 4.46. 0+373 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	78
Şekil 4.47. 0+373 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı	78
Şekil 4.48. 0+373 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı.....	79
Şekil 4.49. 0+373 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı.....	79
Şekil 4.50. 0+480 Kesiti kazı destek sistemi (Tip II)	80
Şekil 4.51. 0+480 Kesiti oluşturulan phase 2 modeli	80
Şekil 4.52. 0+480 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	81

Şekil	Sayfa
Şekil 4.53. 0+480 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	81
Şekil 4.54. 0+480 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	82
Şekil 4.55. 0+480 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı	82
Şekil 4.56. 0+480 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı	83
Şekil 4.57. 0+480 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı.....	83
Şekil 4.58. 0+730 Kesiti kazı destek sistemi (Tip IV).....	84
Şekil 4.59. 0+730 kesiti oluşturulan Phase 2 modeli	84
Şekil 4.60. 0+730 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar	85
Şekil 4.61. 0+730 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar	85
Şekil 4.62. 0+730 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı	86
Şekil 4.63. 0+730 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı	86
Şekil 4.64. 0+730 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı	87
Şekil 4.65. 0+730 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı.....	87
Şekil 4.66. 0+024 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı.....	88
Şekil 4.67. 0+024 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı.....	88
Şekil 4.68. 0+078 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı.....	89
Şekil 4.69. 0+024 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı	89
Şekil 4.70. 0+158 Kesiti durumu ve boşluk suyu basıncı.....	90

Şekil	Sayfa
Şekil 4.71. 0+158 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı.....	90
Şekil 4.72. 0+290 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı.....	91
Şekil 4.73. 0+290 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı.....	91
Şekil 4.74. 0+373 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı.....	92
Şekil 4.75. 0+373 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı.....	92
Şekil 4.76. 0+480 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı.....	93
Şekil 4.77. 0+480 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı	93
Şekil 4.78. 0+730 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı.....	94
Şekil 4.79. 0+730 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı.....	94
Şekil 4.80. Tip Phase2 modeli	95
Şekil 4.81. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	96
Şekil 4.82. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	96
Şekil 4.83. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	97
Şekil 4.84. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	97
Şekil 4.85. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	98
Şekil 4.86. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	99
Şekil 4.87. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	100

Şekil	Sayfa
Şekil 4.88. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	100
Şekil 4.89. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	101
Şekil 4.90. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılım	101
Şekil 4.91. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	103
Şekil 4.92. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	103
Şekil 4.93. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	104
Şekil 4.94. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	104
Şekil 4.95. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	105
Şekil 4.96. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	106
Şekil 4.97. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	107
Şekil 4.98. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	107
Şekil 4.99. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	108
Şekil 4.100. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	108
Şekil 4.101. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	110
Şekil 4.102. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	110
Şekil 4.103. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	111
Şekil 4.104. 0+373 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	111
Şekil 4.105. 0+373 Kesiti bulon - eksenel kuvvet dağılımı.....	112
Şekil 4.106. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	113

Şekil	Sayfa
Şekil 4.107. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	114
Şekil 4.108. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	114
Şekil 4.109. 0+480 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	115
Şekil 4.110. 0+480 Kesiti bulon - eksenel kuvvet dağılımı	115
Şekil 4.111. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	117
Şekil 4.112. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	117
Şekil 4.113. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	118
Şekil 4.114. 0+730 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	118
Şekil 4.115. 0+730 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	119
Şekil 4.116. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	120
Şekil 4.117. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	121
Şekil 4.118. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	121
Şekil 4.119. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	122
Şekil 4.120. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	122
Şekil 4.121. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	124
Şekil 4.122. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	124
Şekil 4.123. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	125
Şekil 4.124. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	125
Şekil 4.125. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	126

Şekil	Sayfa
Şekil 4.126. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	127
Şekil 4.127. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	128
Şekil 4.128. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	128
Şekil 4.129. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	129
Şekil 4.130. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	129
Şekil 4.131. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	131
Şekil 4.132. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	131
Şekil 4.133. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	132
Şekil 4.134. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	132
Şekil 4.135. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	133
Şekil 4.136. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	134
Şekil 4.137. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	135
Şekil 4.138. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	135
Şekil 4.139. 0+373 Kesiti tünel kaplaması - kesme kuvveti.....	136
Şekil 4.140. 0+373 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	136
Şekil 4.141. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	138
Şekil 4.142. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	138
Şekil 4.143. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	139
Şekil 4.144. 0+480 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	139

Şekil	Sayfa
Şekil 4.145. 0+480 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	140
Şekil 4.146. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	141
Şekil 4.147. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	142
Şekil 4.148. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	142
Şekil 4.149. 0+730 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	143
Şekil 4.150. 0+730 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	143
Şekil 4.151. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	145
Şekil 4.152. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	145
Şekil 4.153. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	146
Şekil 4.154. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	146
Şekil 4.155. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	147
Şekil 4.156. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	148
Şekil 4.157. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	149
Şekil 4.158. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	149
Şekil 4.159. 0+078 kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	150
Şekil 4.160. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	150
Şekil 4.161. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	152
Şekil 4.162. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	152
Şekil 4.163. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	153

Şekil	Sayfa
Şekil 4.164. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	153
Şekil 4.165. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	154
Şekil 4.166. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	155
Şekil 4.167. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	156
Şekil 4.168. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	156
Şekil 4.169. 0+290 Kesiti tünel kaplaması - kesme kuvveti.....	157
Şekil 4.170. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	157
Şekil 4.171. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	159
Şekil 4.172. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	159
Şekil 4.173. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	160
Şekil 4.174. 0+024 Kesiti tünel Kaplaması Kesme Kuvveti	160
Şekil 4.175. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	161
Şekil 4.176. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	162
Şekil 4.177. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	163
Şekil 4.178. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	163
Şekil 4.179. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	164
Şekil 4.180. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	164
Şekil 4.181. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	166
Şekil 4.182. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	166

Şekil	Sayfa
Şekil 4.183. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	167
Şekil 4.184. 0+158 Kesiti tünel Kaplaması - Kesme Kuvveti	167
Şekil 4.185. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	168
Şekil 4.186. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	169
Şekil 4.187. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	170
Şekil 4.188. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	170
Şekil 4.189. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	171
Şekil 4.190. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	171
Şekil 4.191. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	173
Şekil 4.192. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	173
Şekil 4.193. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	174
Şekil 4.194. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	174
Şekil 4.195. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	175
Şekil 4.196. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı.....	176
Şekil 4.197. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri.....	177
Şekil 4.198. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	177
Şekil 4.199. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	178
Şekil 4.200. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	178
Şekil 4.201. 0+158 Kesiti tünel Kaplaması eksenel kuvvet dağılımı	180

Şekil	Sayfa
Şekil 4.202. 0+158 Kesiti tünel kaplaması moment değerleri	180
Şekil 4.203. 0+158 Kesiti tünel kaplaması moment dağılımı	181
Şekil 4.204. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	181
Şekil 4.205. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	182
Şekil 4.206. 0+290 Kesiti tünel kaplaması eksenel kuvvet dağılımı	183
Şekil 4.207. 0+290 Kesiti tünel kaplaması moment değerleri	184
Şekil 4.208. 0+290 Kesiti tünel kaplaması moment dağılımı	184
Şekil 4.209. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	185
Şekil 4.210. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	185
Şekil 4.211. 0+373 Kesiti tünel kaplaması eksenel kuvvet dağılımı	187
Şekil 4.212. 0+373 kesiti tünel kaplaması moment değerleri	187
Şekil 4.213. 0+373 Kesiti tünel kaplaması moment dağılımı	188
Şekil 4.214. 0+373 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	188
Şekil 4.215. 0+373 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	189
Şekil 4.216. Tünel profili düzleminde kurulan nümerik model	190
Şekil 4.217. Tünel tavan seviyesine gelen ilave gerilmelerin dağılımı	191
Şekil 4.218. 0+373 Kesiti dış yük modeli	192
Şekil 4.219. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı	192
Şekil 4.220. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı	193

Şekil	Sayfa
Şekil 4.221. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı.....	193
Şekil 4.222. 0+373 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti	194
Şekil 4.223. 0+373 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı	194
Şekil 4.224. Düşük örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı	196
Şekil 4.225. Düşük örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen moment dağılımı	196
Şekil 4.226. Düşük örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı	197
Şekil 4.227. Düşük örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı.....	197
Şekil 4.228. Düşük örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı.....	198
Şekil 4.229. Düşük örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı	198
Şekil 4.230. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı	199
Şekil 4.231. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı.....	199
Şekil 4.232. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı.....	200
Şekil 4.233. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen kuvvet dağılımı.....	200
Şekil 4.234. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen moment dağılımı.....	201

Şekil	Sayfa
Şekil 4.235. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen kesme	201
Şekil 4.236. Yüksek örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı	202
Şekil 4.237. Yüksek örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen moment dağılımı	202
Şekil 4.238. Yüksek örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı	203
Şekil 4.239. Yüksek örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı	203
Şekil 4.240. Yüksek örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen moment dağılımı	204
Şekil 4.241. Yüksek örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı	204
Şekil 4.242. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı	205
Şekil 4.243. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen moment dağılımı	205
Şekil 4.244. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı	206
Şekil 4.245. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı	206
Şekil 4.246. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen moment dağılımı	207
Şekil 4.247. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen kesme kuvveti dağılımı	207
Şekil 5.1. Ø14/200 için oluşturulan karşılıklı etkileşim diyagramı	218
Şekil 5.2. Ø28/200 için oluşturulan karşılıklı etkileşim diyagramı	218

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklamalar
m	Metre
D	Tünel çapı
c	Kohezyon
Ø	İçsel sürtünme açısı
E	Elastisite modülü
γ	Birim hacim ağırlık
J_a	Eklem alterasyon sayısı
J_n	Eklem takım sayısı
J_r	Eklem pürüzlülük sayısı
J_w	Eklem su indirgeme faktörü
J_v	Hacimsel eklem sayısı
Q	Tünelcilik niteliği indeksi
m_b	m _i kaya malzemesi katsayısının indirgenmiş değeri
m_i	Kaya türüne bağlı olarak değişen sabit
s	Kaya kütlesi sabiti
a	Kaya kütlesi sabiti
v	Poisson oranı

Kısaltmalar	Açıklamalar
GSI	Jeolojik dayanım indeksi
NATM	Yeni Avusturya tünelcilik metodu
RMR	Kaya kütle indeksi
RQD	Kaya kalite değeri
Q	Kaya kütlesi sınıflandırma sistemi

1. GİRİŞ

Tüneller, yeryüzünden farklı amaçlarla yer altında hedeflenen lokasyonlara ulaşabilmek için kazılarla oluşturulan yeraltı açıklıklarıdır [1]. Tünel tasarımında deneyimlenen zorluklar göz önüne alındığında bilinmeyen parametrelerin belirlenmesi en önemli konulardan biridir. Çünkü zemin yapısı çelik ve beton gibi öngörülebilir ve yapısal özellikleri tahmin edilebilir malzemelerden oluşmadığı için yapılan analizlerin sonuçlarını büyük oranda etkilemektedir [2].

Tüneller kendi içerisinde hizmet ve ulaştırma tünelleri olarak 2 ana başlık altında incelenebilir. Hizmet tünelleri genel olarak esas amaca hizmet eden, altyapı tünelleri, derivasyon tünelleri, enerji tünelleri vb. olarak sayılabilir. Ulaştırma tünelleri ise karayolu, demiryolu, metro, yaya tünelleri gibi hizmet tünellerine kıyasla daha büyük açıklıklarda ilerlenen tünellerdir. Hizmet tünelleri sınıfında anılan derivasyon tünelleri bir baraj yapımında ilk olarak inşa edilen ve suyun akışını kontrol ve yönlendirmek amacıyla tasarlanan barajın en önemli yapılarından biridir. Bu yüzden derivasyon tünelleri tasarım ve inşaat aşamasında hassas ve titiz çalışmaları beraberinde getirmektedir.

Derivasyon tünelleri kaplamalarına etkiyen yüklerin yanı sıra ilaveten iç ve dış su basınçlarını da karşılaması gerekir. Bu çalışmadaki temel amaç farklı yükleme durumlarında, derivasyon tüneline farklı nümerik yöntemlerin karşılaştırılarak optimum çözümlerinin sunulması ve sistematik bir çalışmanın gerçekleştirilmesidir.

Yıllar boyu gelişen teknoloji ile beraber hem tünel açma yöntemleri, hem de analiz yöntemleri büyük bir hızla gelişmektedir. Bilgisayar teknolojileri sayesinde, uzun ve derin yapıların jeolojik ve jeoteknik verilerinin toplanması ve değerlendirilmesindeki sorunlar da dikkate alındığında tünel tasarımında farklı yöntemlerin beraber kullanılması gereklidir. Tünellerin projelendirilmesinde deneyimsel (ampirik) ve sayısal olmak üzere iki ana yöntem bulunmaktadır. Belirsizliklerin giderilmesi için deneyimsel (ampirik) yöntemlerle beraber sayısal yöntemlerinde kullanılması gerekmektedir.

Deneyimsel yöntemler önceden açılmış tünellerden elde edilen deneyimlere dayanmaktadır ve kendi içinde nicel ve nitel yöntemler olarak iki grup altında incelenebilirler. Nicel

yöntemlerde kaya kütlesi sınıflandırma yaklaşımlarımdaki nicel değerlendirmelere dayalı tünel tasarımları yapılır Nicel yöntemlerden en çok kullanılanlardan iki tanesi sırasıyla Q (Quality) kaya kütlesi sınıflama sistemi ve RMR (Rock Mass Rating) kaya kütlesi sınıflama sistemi örnek olarak verilebilir. Bunun yanında nitel yöntemlerde ise daha önceden açılan tünellerden elde edilen deneyimlerden yararlanılır. Bu kapsamda Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) olarak bilinen ÖNORM B-2203 yöntemi nitel yöntemlere en iyi örnek olarak verilebilir. Tünellerin projelendirilmesi ve yapımı sırasında tek başına nicel veya tek başına nitel yöntemleri kullanmak yerine her iki sisteminde beraber kullanıp dayanıklı ve uygun bir destekleme ve imalat sürecinin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Bilgisayar teknolojilerinin gelişmesiyle beraber daha önceki yıllarda yapılan analitik çözümler yerini sonlu elemanlar yöntemine (finite element method) bırakmıştır. Bunun yanında sonlu farklar yöntemi (finite difference method), sınır elemanlar yöntemi (boundary elements methods) ve ayrık elemanlar yöntemi (discrete/distinct element method) de ayrıca bilgisayarlı analizlerde geoteknik problemlerin çözümlerinde sıkça kullanılmaktadır. Bilgisayar teknolojisini gelişmesiyle beraber basit geometrilerin yanı sıra karmaşık geometrilerin doğruya yakın bir şekilde analiz edilebilmesi kolaylaşmıştır.

Sayısal yöntemler, kullanılan malzeme modelleri ve girilen parametre ve geometrilerin etkinliğine göre yapı – zemin etkileşimini olabildikçe doğru yansıtabilmektedir. Ancak, yapılan sınırlı saha ve laboratuvar çalışmaları nedeniyle zemin parametrelerinin çok tutarlı bir şekilde elde edilmesi neredeyse olanaksızdır. Ayrıca, kullanılan yazılımın ve yöntemin kapasitesi iyi araştırılmalı ve anlaşılmalıdır. Bu nedenle sayısal yöntemlerin sonuçlarına kesin sonuçlar gözüyle bakmamakla beraber sadece yol gösterici olarak kullanmak ve elde edilen sonuçları iyi bir şekilde değerlendirmek gerekir.

Tezin içerdiği bölümler ve bu bölümlerin kapsamı aşağıdaki gibidir:

Bölüm 1’de tez çalışmasının içeriğinin özeti, araştırmanın amacı, araştırmanın önemi ve literatür çalışmaları ile ilgili bilgiler anlatılmaktadır.

Bölüm 2’de tünel tasarımlarında kullanılacak olan kaya parametrelerinin elde edilmesinde kullanılan yöntemler ve destek sistemlerinin belirlenmesi için kullanılan

abaklara yer verilmiştir.

Bölüm 3’te bir önceki bölümde bahsedilen yöntemler ışığında bir vaka analizi özelinde sahaya özel belirlenen kaya parametreleri ve destek sistemi malzeme parametreleri sunulmuştur.

Bölüm 4’de belirlen parametreler ve hesap yöntemleri kullanılarak derivasyon tünelinin farklı kesimlerine ait; gevşetme analizleri, kazı destek sistemine ait deformasyon sonuçları ve nihai kaplamaya ait farklı yükleme durumlarında meydana gelen kesit tesirleri sunulmuştur.

Bölüm 5’de analizler sonucu elde edilen kesit tesirlerinin özeti ve betonarme tasarım anlamında sınırlılıkları gösterilmiştir.

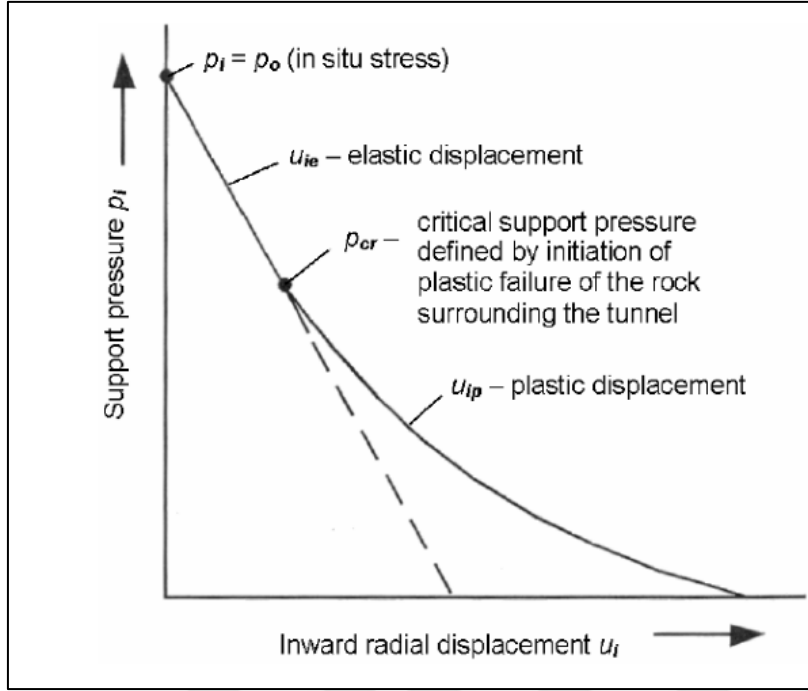
Bölüm 6’da gerçekleştirilen çalışmanın özeti, yapılacak olan çalışmalar için öneriler ve nümerik analizler neticesinde elde edilen sonuçlar irdelenmektedir.

2. TÜNEL TASARIM ESASLARI

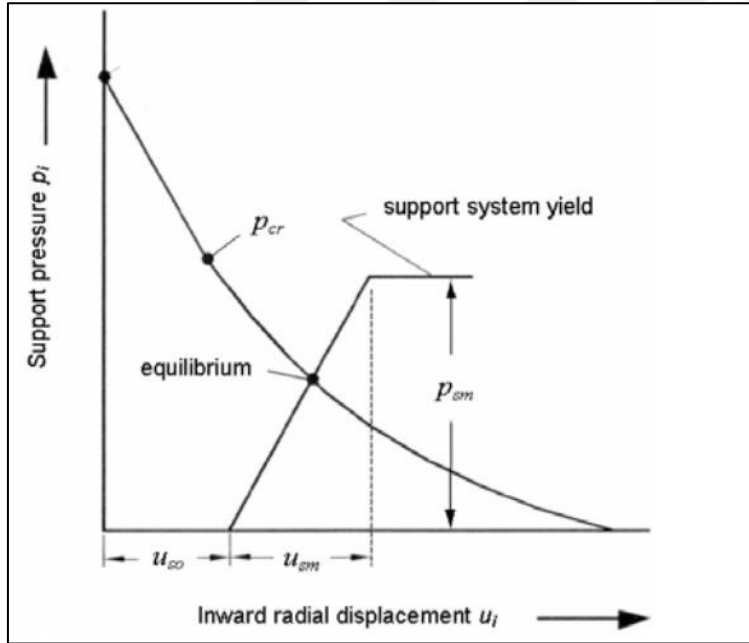
Tünellerin açılması sırasında kazı işlemeleri yaparken tünel kazısı etrafında zamana bağlı olarak meydana gelecek olan gerilmeler seçilmiş olan kazı tekniği ile yakından bağlantılıdır. Bunlardan bahsedilen NATM (Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi) amacı zemine kendi kendisini taşıtma amacı gütmektedir. Tünelin kazısı devam ederken kabul edilebilir sınırlar içerinde kalmak koşuluyla kayanın bir miktar deformasyon yapmasına izin verilir. Bu sayede tünel kazı etrafında kemerleşme meydana getirerek yk yan duvarlara aktarılmaktadır. Tünel aynasında üç boyutlu olarak meydana gelen bu kemerleşme etkisi kazının devam ettiği sırada aynadan uzaklaşılmaya başlandığı anda iki boyutlu hale gelir.

Tünel için belirlenen geçici destek sistemleri, örtü yükünden dolayı ta kısmına etkiyen düşey yükleri ve yan duvarlara etkiyen yanal yükleri taşımaktan ziyade meydana gelmesi beklenen plastik deformasyonları kontrol altına alarak süreksizliklerin meydana getirdiği aşırı gevmeleri önlemek için imal edilir. Bu nedenle uygulanacak olan destek sisteminin aşırı rijit olması değil kayada meydana gelecek olan deformasyonlara uyum sağlayacak şekilde esnek olması en önemli noktadır. Kaya kendi yükünü taşıyamayacak kadar zayıf ise, kullanılan destek kaya taşıma kapasitesine yaklaştıktan sonra dengeye ulaşabilmesi için gerekli olan ilave i basıncı sağlayarak sistemi güvenli hale getirir.

NATM kazı yönteminde deformasyon ve deplasman ölçümlerinin düzenli bir şekilde takip edilerek elde edilen sonuçların doğru bir şekilde değerlendirilmesi çok önemlidir. Bu sayede destek sistemin yerleştirilme zamanı, kazı işlemeleri sırasında kaya aşırı deformasyon yaparak duraylılığını kaybetmeden önceki en uygun an olarak belirlenebilir. Böylece meydana gelmesi muhtemel olan elastik ve plastik deformasyonlara olabildiğince izin vererek destek sistemlerine gereksiz ve aşırı yükleme yapılmasının önüne geçilmelidir. Yöntemin ana ilkesi şekil 2.1’de gösterilmiştir. Bu yaklaşımda esas, şekildeki F ve E noktalarını olabildiğince Yük-Deformasyon eğrisinin minimum değerine yaklaştıracak en uygun destek uygulama zamanının belirlenmesidir. Uygulamada bu amaca ancak tavan, duvar ve taban çizgilerinin çok hassas ölçümlerle izlenmesi yoluyla ulaşılabilir. Radyal deformasyonların zamanla değişimine göre doğru destekleme zamanının nasıl belirleneceği şekil 2.2’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Tünellerde destek basıncı – radyal deformasyon ilişkisi [3]



Şekil 2.2. Ardışık deformasyon ölçümlerinin değerlendirilmesi [3]

2.1. Kaya Kütlesi Sınıflandırma Yöntemleri

Tünel boyunca gözlenen tünel kayasının kütle özellikleri göz önüne alınarak Q ve RMR tünel sınıflamaları yapılmalıdır. Bu sınıflamaların sonucunda ortaya çıkan destek tipleri birlikte yorumlanarak destek tipi kategorileri ortaya çıkarılarak bu destek tipi kategorilerine karşılık gelen destek tipleri belirlenmelidir.

2.1.1. Q kaya sınıflaması

Q Sınıflama Sistemi, Barton tarafından 1973-1974 yılları arasında geliştirilmiş bir kaya kütlesi tasnif sistemidir. Kaya tünellilik kalitesi Q, 6 parametrenin fonksiyonu olarak "Eş. 2.1" deki gibi hesaplanmaktadır.

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (2.1)$$

Bu eşitlikte; *RQD*: Kaya kalite göstergesi, *J_n*:Eklem takım sayısı, *J_r*: Eklem pürüzlülük sayısı *J_a*: Eklem alterasyon sayısı, *J_w*: Eklem su azaltma faktörü, *SRF*: Gerilme azaltma faktörüdür. "Eş. 2.4" de "*RQD/J_n*" kaya kütlesinin yapısını ve blok boyutunu; *J_r/J_a* dolgu veya dolgusuz süreksizlik yüzeylerinin pürüzlülük ve süreksizlik karakteristiklerini, dolayısıyla makaslama dayanımını ve "*J_w/SRF*" etkin gerilme koşullarını temsil etmektedir. Yukarıda formülde belirtilen Q değerini belirleyen parametreler Çizelge 2.1, Çizelge 2.2, Çizelge 2.3, Çizelge 2.4, Çizelge 2.5, Çizelge 2.6 ve Çizelge 2.7 verilen tablolardan elde edilmektedir.

Çizelge 2.1. Kaya kalite göstergesi (RQD) [4]

RQD	Kaya kalite göstergesi tanımı
0-25	Çok zayıf
25-50	Zayıf
50-75	Orta
75-90	İyi
90-100	Çok iyi (Mükemmel)
Not: RQD<10 (0 dahil) ise Q'nun hesaplanmasında RQD için 10 gibi nominal bir değer kullanılır.	

Çizelge 2.2. Eklem takımı sayısı [5]

Eklem takımı sayısı	(Jn)
A. Masif, eklem çok az veya hiç yok	0.5-1.0
B. Bir eklem takımı	2
C. Bir eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	3
D. İki eklem takımı	4
E. İki eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	6
F. Üç eklem takımı	9
G. Üç eklem takımı ve gelişigüzel eklemeler	12
H. Dört veya daha fazla eklem takımı, gelişigüzel çok fazla sayıda, küp şekeri görünümünde	15
I. Parçalanmış kaya, toprak görünümünde	20
Not: -Ara kesitler (kesişen tüneller için $(3.0 \times J_n)$ kullanılır. -Tünel girişleri için $(2.0 \times J_n)$ kullanılır.	

Çizelge 2.3. Eklem pürüzlülük sayısı [5]

Eklem pürüzlülük sayısı	(Jr)
Süreksizlik yüzeyi temasta veya 10 cm'den az makaslama hareketiyle temasta	
A. Süreksiz eklemeler	4
B. Pürüzlü veya düzensiz dalgalı	3
C. Düz, dalgalı	2
D. Sürtünme izli, dalgalı	1.5
E. Pürüzlü veya düzensiz, düzlemsel	1.5
F. Düz, düzlemsel	1.0
G. Sürtünme izli, düzlemsel	0.5
Not: -İlgili süreksizlik takımının ortalama aralığı 2m'den daha büyük ise, Jr'ye 1.0 ilave edilebilir. -En az dirence göre yönelmesi koşuluyla, çizgiselliklere sahip düz sürtünme yüzeyli süreksizlikler için $J_r = 0.5$ alınabilir.	
Makaslama hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanmadığında	
H. Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıkta kil minerali içeren zon	1.0
I. Süreksizlik yüzeylerinin birbirine temasını önleyecek yeterli kalınlıktaki kumlu, çakıllı ya da parçalanmış zon	1.0

Çizelge 2.4. Eklem bozunma sayısı [5]

Eklem bozunma sayısı	(Ja)	ϕ
a) Süreksizlik yüzeyleri temasta (Mineral dolgu yada kil kaplaması yok)		
A. Sıkıca bağlanmış sert, yumuşamayan, geçirimsiz dolgu (örneğin kuvars veya epidot)	0.75	–
B. Bozunmamış eklem yüzeyleri, yalnızca yüzeysel kirlenme	1.0	25-35
C. Az bozunmuş eklem yüzeyleri, yumuşamayan mineral kaplamaları, kum taneleri, kum içermeyen kaya parçaları vd.	2.0	25-30
D. Siltli veya kumlu-kil sıvamaları, küçük kilfraksiyonu (yumuşak değil)	3.0	20-25
E. Yumuşamayan veya düşük sürtünmeli kil mineral sıvamaları, örneğin: kaolinit veya mika. Ayrıca klorit, talk, jips, grafit vs. ve az miktarda şişen killer	4.0	8-16
b) 10 cm'den az bir kayma hareketiyle süreksizlik yüzeylerinin teması sağlanabildiğinde (İnce mineral dolgu)		
F. Kum taneleri, kil içermeyen parçalanmış kaya vd.	4.0	25-30
G. Aşırı konsolide olmuş, yumuşamayan kil mineral dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	6.0	16-24
H. Orta veya düşük derecede konsolide olmuş yumuşamayan kil minerali dolguları (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az)	8.0	12-16
I. Şişen kil dolguları, örneğin; montmorillonit (sürekli ancak kalınlığı 5 mm'den az) Jadeğeri şişen kil boyutundaki tanelerin yüzdesine ve suyun etkisine bağlıdır	8-12	6-12
c) Süreksizlik yüzeylerinde kayma durumunda temas yok (İnce mineral dolgu)		
J) Parçalanmış kaya veya kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	6-8 veya 8-12	6-24
K) Siltli veya kumlu kil zonları veya bantları, düşük kil fraksiyonu (yumuşamayan)	5	-
L) Kalın, sürekli kil zonları veya bantları (kilin tanımlanması için G, H ve J maddelerine bakınız)	10-13 veya 13-20	6-24

Çizelge 2.5. Eklem suyu azaltma faktörü [5]

Eklem suyu azaltma faktörü	Jw	Yaklaşık su basıncı (kgf/cm ²)
A.Kuru kazılar ya da küçük sızma, örneğin yerel olarak < 5 lt/dk	1	<1
B.Orta derecede su gelişi veya basınç, yer yersüreksizliklerdeki dolguların yıkanması	0.66	1-2.5
C.Dolgusuz, süreksizlik içeren, dayanımlı kayadabüyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç	0.5	2.5-10
D.Büyük miktarda su gelişi veya yüksek basınç, süreksizlik dolgularının aşırı derecede yıkanması	0.33	2.5-10
E.Patlatmada son derece aşırı su gelişi veya subasıncı, zamanla azalan	0.2-0.1	10
F.Zamanla azalmaksızın devam eden son derecede aşırı su gelişi veya basıncı	0.1-0.05	>10
Not: -C ve F faktörleri kaba tahminlerdir. Drenaj ölçümleri yapılırsa Jw arttırılır. -Buz oluşumundan kaynaklanan özel problemler dikkate alınmamıştır.		

Çizelge 2.6. Gerilme azaltma faktörü [6]

GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ	SRF
a) Kazıyı kesen zayıf zonlar, tünel kazılırken kaya kütlelerinin gevşemesine neden olabilirler	
A. Kil veya kimyasal olarak ayrıışmış kaya içeren zayıf zonlar, çok gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	10
B. Kil veya kimyasal olarak ayrıışmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği < 50 m)	5.0
C. Kil veya kimyasal olarak ayrıışmış kaya içeren tek bir zayıf zon (kazı derinliği > 50 m)	2.5
D. Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, gevşek çevre kayacı (herhangi bir derinlikte)	7.5
E. Kil içermeyen dayanımlı kayada birden fazla makaslama zonu, (kazı derinliği < 50m)	5.0
F.Kil içermeyen dayanımlı kayada tek bir makaslama zonu, (kazı derinliği >50 m)	2.5
G Gevşek ve açık süreksizlikler, fazla süreksizlik içeren “küp şekeri” görünümlü (herhangi bir derinlikte)	5.0
Not: Kayma zonları yalnızca kazıyı etkiliyor, ancak kesmiyorsa, SRF için yukarıda verilen değerler %25-50 dolaylarında azaltılmaktadır.	

Çizelge 2.7. Gerilme azaltma faktörü

GERİLME AZALTMA FAKTÖRÜ		SRF	
b) Dayanımlı kaya, kaya gerilmesi sorunları	σ_{ci} / σ_1	$\sigma_{\theta} / \sigma_{ci}$	SRF
H. Düşük gerilme, yüzeye yakın	>200	<0.01	2.5
I. Orta derecede gerilme	200-10	0.01-0.3	1
J. Yüksek gerilme, çok sıkı yapı (genellikle duraylı, yan duvar duraylılığı açısından uygun olmayabilir)	10-5	0.3-0.4	0.5-2
K. Masif kayada 1 saatlik bir süreden sonra orta derecede dilimlenme	5-3	0.5-0.65	5-50
L. Masif kayada 1 birkaç dakikadan sonradilimlenme ve kaya patlaması	3-2	0.65-1	50-200
M. Masif kayada aşırı kaya patlaması ve ani dinamik deformasyon	<2	>1	200-400
Not: -Oldukça anizotrop bakir bir gerilme alanı için (ölçülebilirse): $5 \leq \sigma_1 / \sigma_3 \leq 10$ olduğunda, σ_c 0.75 σ_c'ye, $\sigma_1 / \sigma_3 > 10$ ise ve 0.5 σ_c'ye düşürülür. Burada: σ_c tek eksenli basınç dayanımı, σ_{θ} en büyük teğetsel gerilme (elastik kuramdan tahmin edilen) ve σ_1 ile σ_3 de en büyük ve en küçük asal gerilmelerdir. -Tavan yüksekliğinin genişliğinden az olduğu durumlarla ilgili birkaç vaka kaydı mevcuttur. Bu tip durumlarda SRF'nin 2,5'den 5'e çıkarılması önerilir. -Sıkışan kaya vakaları $H > Q^{1/3}$ derinlik koşulunda meydana gelebilir Kayakütlesinin basınç dayanımı $q = 0.7 \gamma Q^{1/3}$ (MPa) eşitliğinden tahmin edilebilir. Burada: γ kayanın birim hacim ağırlığıdır (kN/m³)			
c) Yüksek kaya basıncının etkisi altında dayanımsız kayaçta plastik akma			
N. Az sıkıştıran kaya basıncı		1-5	5-10
O. Aşırı sıkıştıran kaya basıncı		>5	10-20
d) Suyun varlığına bağlı olarak kimyasal şişme aktivitesi			
P. Düşük kaya basıncı			5-10
R. Çok yüksek kaya basıncı			10-15

Q sınıflamasına ait verilen tablolarda belirtilen parametrelerden elde edilen değerler vasıtasıyla kaya kütlesinin Q değeri hesaplanarak Çizelge 2.8'den kaya kütlesi sınıfı belirlenebilmektedir.

Çizelge 2.8. Q değerine göre kayaçların sınıflandırılması

Q Değeri	Kaya Sınıfı
0.001-0.01	Son Derece Zayıf
0.01-0.1	Çok Fazla Zayıf
0.1-1	Çok Zayıf
1-4	Zayıf
4-10	Orta
10-40	Sağlam
40-100	Çok Sağlam
100-400	Çok Fazla Sağlam
400-1000	Son Derece Sağlam

2.1.2. RMR kaya sınıflaması

RMR kaya sınıflama sistemi kavramı ilk kez Bieniawski tarafından ortaya atılmıştır [6]. Q sınıflaması, tünelin “desteksiz durma süresine” ilişkin ayrıntılı veri içermemektedir. Bu nedenle RMR sınıflamasının kazının desteksiz durma süresine ilişkin özelliğinden yararlanmak zorunlu olmaktadır.

Çizelge 2.9. RMR değerine göre kayaçların sınıflandırılması [7]

Sınıf No	RMR Puanı	Tanımlama
I	100-81	Çok İyi Kaya
II	80-61	İyi Kaya
III	60-41	Orta Kaya
IV	40-21	Zayıf Kaya
V	<20	Çok Zayıf Kaya

Çizelge 2.10. RMR sistemi tablosu (After Bieniawski,1989) [8]

A. CLASSIFICATION PARAMETERS AND THEIR RATINGS									
Parameter			Range of values						
1	Strength of intact rock material	Point-load strength index	>10 MPa	4 - 10 MPa	2 - 4 MPa	1 - 2 MPa	For this low range - uniaxial compressive test is preferred		
		Uniaxial comp. strength	>250 MPa	100 - 250 MPa	50 - 100 MPa	25 - 50 MPa	5 - 25 MPa	1 - 5 MPa	< 1 MPa
	Rating		15	12	7	4	2	1	0
2	Drill core Quality RQD		90% - 100%	75% - 90%	50% - 75%	25% - 50%	< 25%		
	Rating		20	17	13	8	3		
3	Spacing of discontinuities		> 2 m	0.6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
	Rating		20	15	10	8	5		
4	Condition of discontinuities (See E)		Very rough surfaces Not continuous No separation Unweathered wall rock	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Slightly weathered walls	Slightly rough surfaces Separation < 1 mm Highly weathered walls	Stickensided surfaces or Gouge < 5 mm thick or Separation 1-5 mm Continuous	Soft gouge >5 mm thick or Separation > 5 mm Continuous		
	Rating		30	25	20	10	0		
5	Groundwater	Inflow per 10 m tunnel length (litre)	None	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
		(Joint water pressure) (Major principal stress)	0	< 0.1	0.1 - 0.2	0.2 - 0.5	> 0.5		
		General conditions	Completely dry	Damp	Wet	Dripping	Flowing		
	Rating		15	10	7	4	0		
B. RATING ADJUSTMENT FOR DISCONTINUITY ORIENTATIONS (See F)									
Strike and dip orientations			Very favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very Unfavourable		
Ratings	Tunnels & mines		0	-2	-5	-10	-12		
	Foundations		0	-2	-7	-15	-25		
	Slopes		0	-5	-25	-50			
C. ROCK MASS CLASSES DETERMINED FROM TOTAL RATINGS									
Rating			100 ← 81	80 ← 61	60 ← 41	40 ← 21	< 21		
Class number			I	II	III	IV	V		
Description			Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock		
D. MEANING OF ROCK CLASSES									
Class number			I	II	III	IV	V		
Average stand-up time			20 yrs for 15 m span	1 year for 10 m span	1 week for 5 m span	10 hrs for 2.5 m span	30 min for 1 m span		
Cohesion of rock mass (kPa)			> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 100		
Friction angle of rock mass (deg)			> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15		
E. GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF DISCONTINUITY conditions									
Discontinuity length (persistence)			< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m		
Rating			6	4	2	1	0		
Separation (aperture)			None	< 0.1 mm	0.1 - 1.0 mm	1 - 5 mm	> 5 mm		
Rating			6	5	4	1	0		
Roughness			Very rough	Rough	Slightly rough	Smooth	Stickensided		
Rating			6	5	3	1	0		
Infilling (gouge)			None	Hard filling < 5 mm	Hard filling > 5 mm	Soft filling < 5 mm	Soft filling > 5 mm		
Rating			6	4	2	2	0		
Weathering			Unweathered	Slightly weathered	Moderately weathered	Highly weathered	Decomposed		
Rating			6	5	3	1	0		
F. EFFECT OF DISCONTINUITY STRIKE AND DIP ORIENTATION IN TUNNELLING**									
Strike perpendicular to tunnel axis					Strike parallel to tunnel axis				
Drive with dip - Dip 45° - 90°			Drive with dip - Dip 20° - 45°		Dip 45° - 90°		Dip 20° - 45°		
Very favourable			Favourable		Very unfavourable		Fair		
Drive against dip - Dip 45°-90°			Drive against dip - Dip 20°-45°		Dip 0-20° - Irrespective of strike*				
Fair			Unfavourable		Fair				

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

* Some conditions are mutually exclusive. For example, if infilling is present, the roughness of the surface will be overshadowed by the influence of the gouge. In such cases use A.4 directly.

** Modified after Wickham et al (1972).

2.1.3. GSI (Jeolojik Dayanım İndeksi) Sınıflaması

Kaya kütlelerine ait kaya sabitlerinden m_b , s ve a 'nın belirlenmesi için çeşitli denklemler geliştirilmiştir. Bu eşitliklerde gerek deney ve modellemelerde yaşanan zorluklar gerekse eşitliklerde kullanılan RMR kaya sınıflamasının çok zayıf kaya kütlelerinde yetersiz kalması sebebiyle Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI) sınıflaması geliştirilmiştir. Sönmez ve Ulusay tarafından deneyim ve tecrübeler ışığında geliştirilerek son halini alan GSI sistemi aşağıda sunulmuştur [9].

Çizelge 2.11. GSI Sınıflama Sistemi Çizelgesi [9]

JEOLJİK DAYANIM İNDEKSİ		SÜREKSİZLİK YÜZEY KOŞULLARI		AZALAN YÜZEY KALİTESİ	
Kaya kütlelerinin yapısını ve yüzey koşullarını tanımlayan harf kodları belirlenerek uygun kutu seçilir ve ortalama Jeolojik Dayanım İndeksi (GSI)'nin değeri abaktaki konturlardan tayin edilir.		ÇOK İYİ Çok pürüzlü, taze ayrılmamış yüzeyler		İYİ Düz, çok az ayrılmış, demir oksit sıvımsı yüzeyler	
YAPI		ORTA Düz, orta derecede ayrılmış yüzeyler		ZAYIF Kaygan, sert veya köşeli parçalar içeren, dolguya sahip, çok ayrılmış yüzeyler	
ÇOK ZAYIF Kaygan, yumuşak kıl dolgu, çok ayrılmış yüzeyler					
		BLOKLU- 3 ortogonal süreksizlik setinin oluşturduğu kübik bloklu, çok iyi kenetlenmiş, örselenmemiş kaya kütlesi		80	
		ÇOK BLOKLU- Dört veya daha fazla sayıda süreksizlik setinin kesişmesiyle oluşmuş çok yüzeyli-köşeli bloklar içeren, kısmen örselenmiş kaya kütlesi		70	
		BLOKLU/ÖRSELENMİŞ-Birbirini kesen çok sayıda süreksizliğin oluşturduğu köşeli bloklar içeren, kıvrımlanmış ve/veya faylanmaya maruz kalmış kaya kütlesi		60	
		PARÇALANMIŞ-Köşeli ve yuvarlak kayaç parçalarının birlikteliğinden oluşan, zayıf kenetlenmiş, aşırı derecede kırıklı kaya kütlesi		50	
				40	
				30	
				25±5	
				20	
				10	

2.1.4. Deformasyon modülü hesaplanması

Deformasyon Modülünün belirlenmesi için literatürde yer alan çeşitli ampirik eşitlikler kullanılmıştır. Bu eşitliklerde hesaplamaların yapılabilmesi için elastisite modülü (E_i), tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), RMR, Q, GSI, örtü yüksekliği (H), tünel genişliği, birim hacim ağırlık, süreksizlik özellikleri (J_n , J_r , J_a), RQD, örselenme faktörü (D) gibi kaya kütlelerinin farklı özellikleri kullanılmaktadır.

Hoek ve Diederichs yöntemi ile yerinde kaya dayanımı tespiti

Hoek ve Diederichs (2006) önermiş olduğu deformasyon modülünün hesabı “Eş. 2.2” de verilmektedir [10].

$$E_M = E_i \cdot \left(0,02 + \frac{1 - \left(\frac{D}{2} \right)}{1 + e^{\left(\frac{60 + 15 \cdot D - GSI}{11} \right)}} \right) \quad (2.2)$$

Burada E_M : Kaya kütlelerinin deformasyon modülü, E_i : Tek eksenli basınç değerleri ile bulunan kayaç malzemesine ait elastisite modülleri, D:Örselenme faktörü ve GSI: Jeolojik dayanım indeksidir.

Nicholson ve Bieniawski yöntemi ile yerinde kaya dayanım tespiti

Nicholson ve Bieniawski (1990) tarafından RMR değerini kullanılarak bulunan elastisite modülü “Eş. 2.3” ve “Eş. 2.4” de verilmektedir [11].

$$E_M = E_i \cdot (AF) \quad (2.3)$$

$$AF = \text{Azaltma Faktörü: } \%[0,0028 \cdot (RMR)^2 + 0,9 \cdot e^{\left(\frac{(RMR)}{22,82} \right)}] \quad (2.4)$$

Burada E_M : Kaya kütlelerinin deformasyon modülü, E_i : Tek eksenli basınç değerleri ile bulunan kayaç malzemesine ait elastisite modülleri ve AF: Azaltma faktörüdür.

Sönmez vd. yöntemi ile yerinde kaya dayanımı tespiti

Sönmez vd. (2006) tarafından RMR değerlerinden faydalanarak elastisite modülü tayini için “Eş. 2.5” kullanılmaktadır [12].

$$E_M = E_i \cdot 10^{\left[\frac{((RMR-100) \cdot (100-RMR))}{4000 \cdot \exp\left(\frac{-RMR}{100} \right)} \right]} \quad (2.5)$$

Hoek, Carranza-Torres, ve Corkum yerinde kaya dayanımı tespiti

Hoek, Carranza-Torres, ve Corkum önermiş olduğu deformasyon modülünün hesabı “Eş. 2.6” ve “Eş. 2.7” de verilmektedir [13].

UCS < 100 MPa ise:

$$Em(GPa) = 1 - \left(\frac{D}{2}\right) \sqrt{\left(\frac{\sigma_{ci}}{100}\right)} \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (2.6)$$

UCS > 100 Mpa ise:

$$Em(GPa) = 1 - \left(\frac{D}{2}\right) \cdot 10^{\left(\frac{GSI-10}{40}\right)} \quad (2.7)$$

Barton (2002) yerinde kaya dayanımı tespiti

Barton (2002) tarafından Q (Kaya kalite indeksi) ve UCS (Tek eksenli basınç dayanımı) değerlerinden faydalanarak elastisite modülü tayini için “Eş. 2.8” kullanılmaktadır [14].

$$Em = 10 \cdot Qc^{1/3} \quad (2.8)$$

$$Q_c = Q \times UCS/100$$

2.1.5. Kaya sınıflaması destek tipleri

Tünel güzergahı boyunca geçilecek formasyonda değişik aralıklarda çok farklı Q değerleri elde edilebilir. Bu nedenle hem kaya niteliği hem de destek kategorileri açısından Q değerleri belirli aralıklarla sınırlandırılmalıdır. Bu yaklaşım çerçevesinde, tünel destek tasarımında kullanılacak Q değerleri belirli aralıklarda gruplandırılarak, ilgili destek elemanları önerilmelidir. Q değeri ile ilgili olarak yeraltı açıklıklarının duyarlılığı ve destek gereksinimleri açısından Barton vd. (1974) “Eşdeğer boyut, De” adını verdikleri bir parametre tanımlamışlardır. Bu parametre "Eş. 2.9" da verilen ifadeden hesaplanmaktadır:

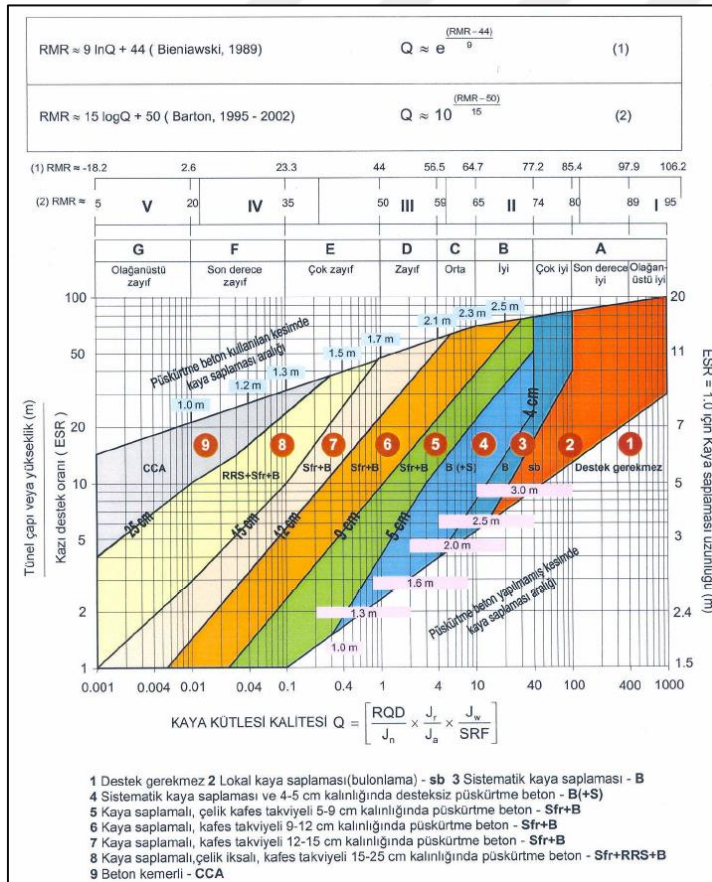
$$\text{Eş değer boyut, } D_e = \frac{\text{Kazının genişliği, çapı veya yüksekliği (m)}}{\text{Kazı destek oranı (ESR)}} \quad (2.9)$$

"Eş. 2.5" de kazı destek oranı ESR, yeraltı açıklığının duraylı kılınabilmesi için yerleştirilen destek sistemi üzerinde etkisi olan bir tür güvenlik katsayısıdır. Yeraltı kazısının türüne ve amacına yönelik olarak ESR değerleri ilk kez Barton vd. (1974) tarafından önerilmiş, ancak daha sonra Barton ve Grimstad (1994) tarafından bazı değişiklikler yapılarak

güncellenmiştir. Orijinal ve güncelleştirilmiş ESR değerleri aşağıdaki çizelgede karşılaştırılmalı olarak sunulmuştur.

Çizelge 2.12. Farklı yeraltı kazısı türleri için orijinal ve güncelleştirilmiş ESR değerleri [7]

Kazı Tipi	Orijinal ESR	Güncelleştirilmiş ESR
A. Geçici maden kazıları	3-5	2.5
B. Düşey bacalar	2.5	
Dairesel kesitli	2	1.6-2
Kare kesitli	2	
C. Kalıcı maden kazıları, hidroelektrik santralleri, su tünelleri (yüksek basınçlı cebri borular hariç), deneme ve yaklaşım tünelleri	1.6	1.2-1.3
D. Depolar, su tasfiye odaları, ufak yol ve demir yolları tünelleri	1.3	
E. Santral binası, ana yol ve demiryolu tünelleri, sivil savunma sığınakları, kapılar ve kesişme yerleri, tünel portalları ve kesişim yerleri	1	0.9-1.1
F. Yer altı nükleer santralleri, metro istasyonları, fabrikalar, spor ve sosyal tesisler	0.8	

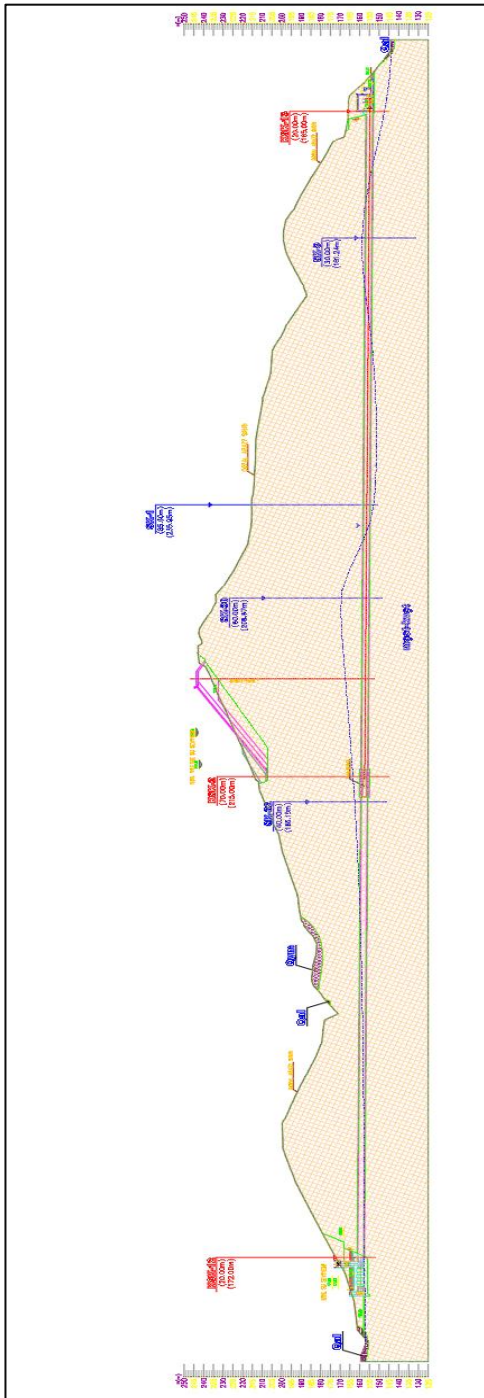


Şekil 2.3. Q kaya kütlesi sınıflandırma sistemi destekleme türleri [15]



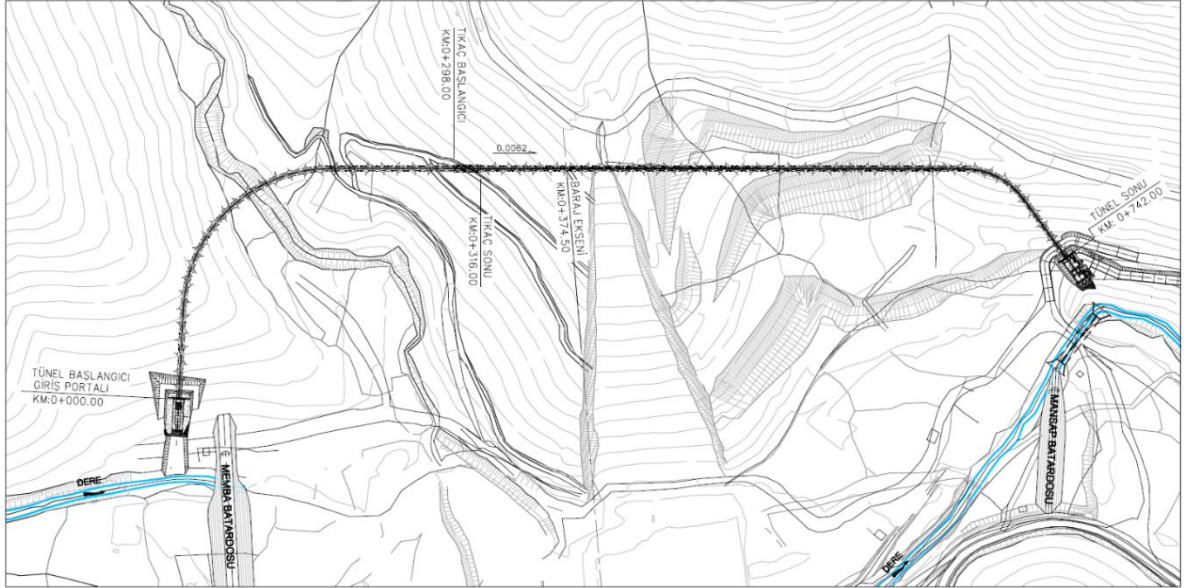
3. VAKA ANALİZİ

Derivasyon tüneli daha önce detayları açıklanan hesap yöntemleri kapsamında örnek bir vaka analizi çerçevesinde incelenmiştir. Tünelin bulunduğu bölgenin topografyası incelendiğinde örtü kalınlığının değişken olup maksimum değerinin 88,00 m olduğu görülmektedir.

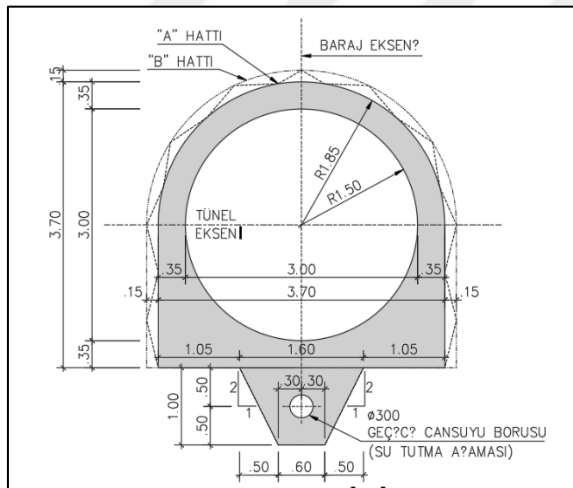


Şekil 3.1. Derivasyon tüneli jeolojik boykesiti

742,00 m uzunluğunda tasarlanan derivasyon tünelinin, tünel hidrolik çapı net 3,00 m olarak belirlenmiştir. Tünel ve ilgili yapılara ait genel yerleşim planı ve tipik tünel en kesiti aşağıda sunulmuştur.



Şekil 3.2. Derivasyon tüneli ve ilgili yapılara ait genel yerleşim planı



Şekil 3.3. Tipik tünel en kesiti

Tünelin tamamı Paleozoyik yaşlı Bayındır Formasyonu'na ait mikaşistler içerisinde açılacaktır. Açılan sondaj kuyularına göre derivasyon tünel güzergahındaki mikaşistler genellikle az-orta (W2-W3), yer yer tamamen ayrılmış (W-5), orta-iyi yer yer az dayanımlı, kırıklı – çok çatlaklı, yer yer parçalanmış ve yapraklanmalıdır.

Kayaçları oluşturan minerallerin basınç ve sıcaklık etkisiyle değişime uğrayarak yeniden kristallenmesi ile oluşan kayaçlara metamorfik kayaçlar denmektedir. Sleyt, şist, gnays gibi türleri olan metamorfik kayaçlar metamorfizma derecesine göre farklı yapısal özellikler gösterir. Çalışmaya konu olan şistler de metamorfizmanın en belirgin özelliklerini taşıyan kayaç türlerinden birisidir. Şistler genel olarak basınç ve sıcaklık etkisiyle gelişen yapraklanma (foliyasyon) özelliği gösteren, orta-iri tane boylu (2-10 mm) mineraller içeren kayaçlardır. Yapraklanma levhasal minerallerin (mika, klorit gibi) veya merceksel minerallerin (kuvars, feldspat gibi) birbirlerine paralel olarak dizilmeleriyle meydana gelir. Bölgesel olarak çalışma alanında karşılaşılan şist türü olan mika-şistler genel olarak alçak ve orta dereceli metamorfizma sonucu oluşurlar. Mikaşistlerde muskovit yaprakları birbirine paralel şekilde mükemmel bir dizilim gösterirler. Diğer mika mineralleri ile birlikte çoğunlukla ince belirgin bantlar oluşturacak şekilde bulunur ve bu bantlar kuvars bakımından zengin bantlar ile ardışık olarak görülür. Mika-şistler için ilksel kayaç türü ise genel olarak çamurtaşları, karbonatlar ve magmatik kayaçlardır. Mika-şistlerin genel görünimleri gri ve yeşil renklindedir. Günlenme faktörleri (yüzey ve yer altı suyu – sıcaklık) bu birime hızlı bir şekilde etki eder ve yapısal bozulmalara sebep olabilir.

Çizelge 3.1. Derivasyon tüneli yakınında açılan sondaj kuyuları

SK No	Tünel KM	Tünel Güzergahına Uzaklığı	Kuyu Derinliği (m)	Tünel Kazısı (m)
KSK-12	0+000	Giriş Portalı	20	10 – 14 m arası
SK-32	0+295	73 m Kuzeybatı	40	26 – 30 m arası
KSK-2	0+311	Tünel Eksen	70	55 – 59 m arası
SK-30	0+350	66 m Kuzeybatı	60	50 – 54 m arası
SK-1	0+410	49 m Kuzeybatı	85	77 – 81 m arası
SK-9	0+585	90 m Kuzeybatı	30	4 – 8 m arası
KSK-13	0+742	Çıkış Portalı	20	9 – 13 m arası

Tünel giriş portalında 20 m derinlikte açılan KSK-12 sondaj kuyusunda yüzeyde 2,0 m kalınlıkta killi, kumlu, çakıllı yamaç molozu, yamaç molozunu takiben 2,00-7,80 m arasında yapraklanmalı, tamamen-çok ayrılmış (W5-W4), çok çatlaklı-kırık, parçalanmış, mikaşist , 7,80-20,00 m arasında yapraklanmalı, kuvarşça zengin, orta-yer yer çok ayrılmış (W3-W4), çok çatlaklı-kırıklı mikaşist-kuvarşşist ardalanması geçilmiştir. Sondajın 10,00-14,00 m'leri

tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında kahve renkli, yapraklanmalı, yer yer kuvars damarlı, orta derecede ayrılmış (W3), çok çatlaklı-kırıklı kuvarsça zengin, mikaşist-kuvarşist ardalanması geçilmiştir. Yapraklanma düzlemleri boyunca kırılma ve ayrılmalar meydana geldiği için birimin RQD değeri %0'dır. Alınan karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinde doğal birim hacim ağırlık değeri 24,74 ile 24,85 kN/m³, nokta yükleme indisi ise 0,29 MPa ile 1,01 MPa olarak rapor edilmiştir.

Tünelin 0+295 KM'sinde güzergahın yaklaşık 73 m kuzeybatısında 40 m derinlikte açılan SK-32 no'lu sondaj kuyusunda 0,00-1,50 m'lerde yamaç molozu, 1,50-24,00 m'ler arasında killeşme şeklinde ayrılmış mikaşist-killi şist, 24,00-40,00 m'lerde koyu gri, siyah, yeşilimsi renkli, yapraklanmalı, kuvarsça zengin, iyi dayanımlı mikaşist geçilmiştir. Sondajın 26,00-30,00 m'leri tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında koyu gri, siyah, yeşilimsi renkli, yapraklanmalı, yer yer kuvars damarlı, çatlaklı, iyi dayanımlı, kuvarsça zengin, RQD değeri %0 ile %26 arasında değişen (ortalama %15) mikaşist geçilmiştir.

Tünelin 0+311 KM'sinde tünel ekseninde 70 m derinlikte açılan KSK-2 no'lu sondaj kuyusunda 0,00-26,00 m arasında yapraklanmalı, kuvarsça zengin, orta-az ayrılmış (W3-W2), çok çatlaklı-kırıklı, yer yer parçalanmış, yer yer kuvarşist ve grafit şist seviyeli mikaşist, 26,00-32,00 m arasında az ayrılmış, kırıklı, kuvarşist, 36,00-70,00 m arasında yapraklanmalı, kuvars bantlı, az yer yer orta derecede ayrılmış (W2-W3), çatlaklı-kırıklı mikaşist birimi geçilmiştir. Mikaşist birimin arasında yer yer çok ayrılmış (W4) grafit şist birimleri geçilmiştir. Sondajın 55,00-59,00 m'leri tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında gri renkli, yapraklanmalı, yer yer kuvars damarlı, az ayrılmış (W2), az çatlaklı-kırıklı, RQD değeri %10 ile %25 arasında değişen mikaşist geçilmiştir. Alınan karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinde doğal birim hacim ağırlık değeri 24,71-26,22 kN/m³ (ort. 25,45 kN/m³), tek eksenli basınç dayanımı 2,82-6,74 MPa (ort. 4,31 MPa), elastisite modülü 0,90 GPa, poisson oranı ise 0,408 olarak rapor edilmiştir.

Tünel güzergahının 66 m kuzeybatısında KM 0+350'de 60 m derinlikte açılan SK-30 no'lu sondaj kuyusunda 0,00-1,00 m arasında yamaç molozu, 1,00-25,00 m'ler arasında yer yer ayrılmış düzeyler içeren orta-iyi, yer yer zayıf dayanımlı mikaşist, 25,00-49,00 m'ler arası masif yapılı, iyi dayanımlı kuvars şist, 49,00-60,00 m'ler arasında yapraklanmalı mikaşist + kuvars şist + serizit şist geçilmiştir. Sondaj kuyusunun 50,00-54,00 m'leri tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında açık-koyu gri renkli orta-kalın yapraklanmalı,

çatlaklı, yer yer küçük çaplı erime boşluklu, iyi dayanımlı, yer yer parçalı, kuvarsça zengin mikaşist + kuvars şist + serizit şist geçilmiştir. Bu aralıkta birimlerin RQD değerleri %0 ile %53 arasında (ortalama %21); ayrışma durumu ise W1-2 ve W2-W3 olarak kaydedilmiştir. Tünel güzergahının 49 m kuzeybatısında KM 0+410'da 85 m derinlikte açılan SK-1 no'lu sondaj kuyusunda gri, açık yeşil, kırmızımsı, bej, siyah renkli mikaşist geçilmiştir. Mikaşiste klorit, biotit, serisit ve grafit şist düzeyleri eşlik etmektedir. Karotlarda sık sık killeşme şeklinde ayrılmış zonlar geçilmiştir. Sondaj kuyusunun 77,00-81,00 m'leri tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında gri, bej, koyu yeşil-siyahımsı renklerde, 45° eğimde yapraklanmalı, yer yer çatlaklı, orta-iyi dayanımlı, klorit, serisit, biotit şist içerikli RQD değerleri %35 ile %45 arasında değişen, ayrışma derecesi W2-W1 olan mikaşist geçilmiştir. Yapraklanma yüzeyleri boyunca kırılmalar meydana gelmiştir. Çatlaklar yer yer limonit ve kil dolguludur.

Tünelin 0+585 KM'sinde yaklaşık 90 m kuzeybatısında 30 m derinlikte açılan SK-9 no'lu sondaj kuyusunda 0,00-2,60 m bitkisel toprak + yamaç molozu, 2,60-27,00 m'ler arasında gri renkli, yer yer kuvars damarlı, orta-iyi yer yer zayıf dayanımlı, 0,5-1,0 cm kalınlığında yapraklanmalı, yapraklanma yüzeyleri 45°'lik açı yapan mikaşist; 27,00-30,00 m'lerde ise gri-siyah renkli, orta-zayıf dayanımlı, killişist + grafit şist geçilmiştir. Sondaj kuyusunun 4,00-8,00 m'leri tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında gri renkli, yer yer kuvars damarlı, orta-iyi dayanımlı, kırıklı, RQD değeri %31 ile %58 arasında değişen ayrışma seviyesi W1-W2 olan mikaşist geçilmiştir.

Tünelin 0+742 KM'sinde tünel çıkış portalında 20 m derinlikte açılan KSK-13 no'lu sondaj kuyusunda yüzeyde 1,0 m kalınlıkta yamaç molozu, 1,00-20,00 m arasında yapraklanmalı, kuvarsça zengin, orta-az ayrılmış (W3-W2), çok çatlaklı-kırıklı, yer yer az kırıklı mikaşist birimi geçilmiştir. Sondajın 9,00-13,00 m'leri tünel kazısı içerisinde kalmaktadır. Bu metreler arasında kahve renkli, yapraklanmalı, kuvars damarlı, orta derecede ayrılmış (W3), çok çatlaklı-kırıklı, RQD değeri %0 ile %80 arasında değişen mikaşist geçilmiştir. Alınan karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilen laboratuvar deneylerinde doğal birim hacim ağırlık değeri 25,63-26,32 kN/m³ (ort. 26,0 kN/m³), tek eksenli basınç dayanımı 6,86-14,81 MPa (ort. 10,55 MPa), elastisite modülü 2,04 GPa, poisson oranı ise 0,379 olarak rapor edilmiştir.

Yüzeyssel gözlemlere ve planlama aşamasında açılan temel sondaj kuyu verilerine göre, tünel

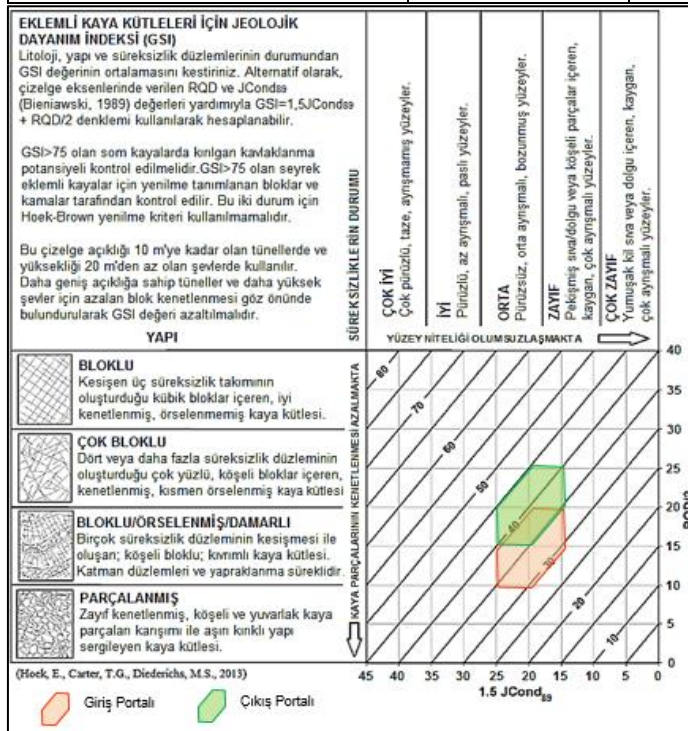
kazıları esnasında ayrılmış, çatlaklı ve yapraklanma yüzeyleri boyunca küçük çaplı düşme, kopma ve kaymaların olması beklenmektedir. Kayanın çok ayrılmış kısımlarına rastlanılan kısımlarda, göçükler ve aşırı sökülme olabilir. Bunları önlemek için tünel kazısına paralel olarak, özellikle zayıf zemin özelliği gösteren yerler; püskürtme beton, kaya bulunu, çelik hasır ve çelik iksayla desteklenmesi gerekecektir.

3.1. Q ve RMR Sistemi Puanlaması

Tünel için hesaplanan $Q=0,25$ ve $Q=5,94$ değerleri sırasıyla; en olumsuz ve en olumlu kaya koşullarına özgüdür.

Çizelge 3.2. Q sınıflaması için kullanılan parametreler özet çizelgesi

Parametre	Puan			
	Giriş Portalı	Çıkış Portalı	En Kötü Koşullarda	En İyi Koşullarda
Kaya Kalite Göstergesi (RQD)	15	40	30	60
Süreksizlik Sayısı (j_n)	9x2	9x2	9	4
Eklem Pürüzlülüğü (j_r)	3	3	3	3
Eklem Ayrışması (j_a)	2	2	2	2
Su Durumu (j_w)	1,00	0,66	0,5	0,66
Stres Azaltma Faktörü (SRF)	5	5	2,5	2,5
Q	0,25	0,44	1,00	5,94
Sınıfı	Çok Zayıf Kaya	Çok Zayıf Kaya	Zayıf Kaya	Orta Kaya



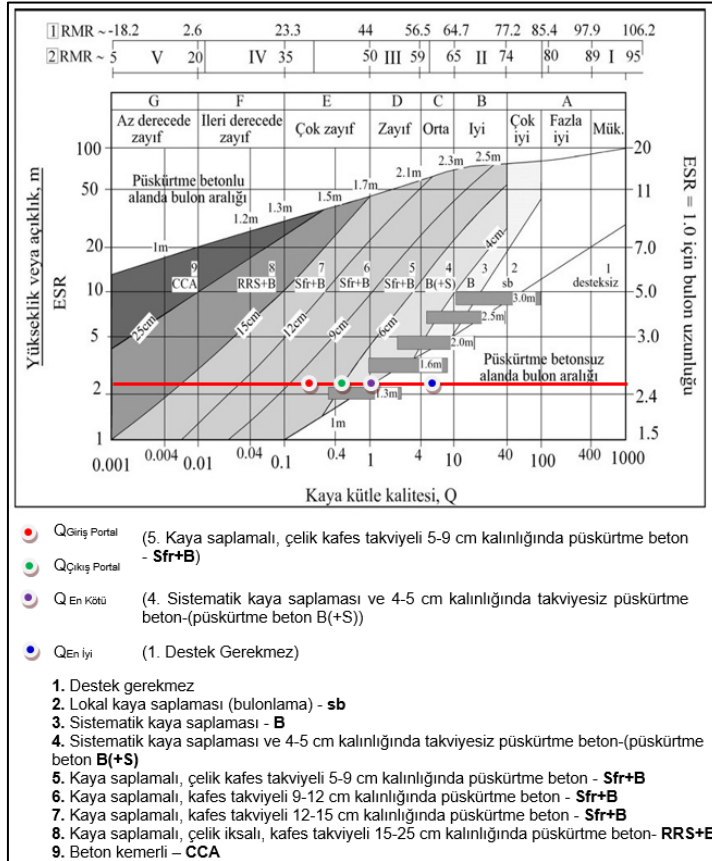
Çizelge 3.3. RMR sınıflaması özet tablosu

	Kaya Kütle Sınıflaması, RMR	
	Düzeltilmiş	Temel
0+000-0+024	36	41
0+024-0+048	42	55
0+048-0+133	53	63
0+133-0+181	42	55
0+181-0+480	42	55
0+480-0+700	53	63
0+700-0+730	42	55
0+730-0+742	40	50

Çizelge 3.4. GSI sınıflaması özet tablosu

İncelenen Kesit	GSI Değeri
GSI _{Giriş Portalı}	40±5
GSI _{Çıkış Portalı}	45±5
GSI _{Mikaşist En Kötü}	50±5
GSI _{Mikaşist En İyi}	55±5

Çizelge 3.5. Q sınıflamasına göre önerilen destek sistemleri



Çizelge 3.6. Derivasyon tüneli önerilen destek sistemleri

İncelenen Kesit		Giriş Kesimi	Tünel Orta Kesimi-1	Tünel Orta Kesimi-2	Tünel Orta Kesimi-3	Tünel Orta Kesimi-4	Tünel Orta Kesimi-5	Tünel Orta Kesimi-6	Çıkış Kesimi
Km		0+000 - 0+024	0+024 - 0+048	0+048 - 0+133	0+133 - 0+181	0+181 - 0+480	0+480 - 0+700	0+700 - 0+730	0+730 - 0+742
	Düzeltilmiş	36	42	53	42	42	53	42	40
Kaya Külesi Sınıflaması, RMR	Temel	41	55	63	55	55	63	55	50
		35	50	55	50	50	55	50	45
Jeolojik Dayanım İndeksi, GSI		0.25	1.00	5.94	1.00	1.00	5.94	1.00	0.44
Tünelcilik Kalite İndeksi, Q									
Q Aralığı		$0,12 < Q \leq 0,25$	$0,50 \leq Q < 1,45$	$1,45 \leq Q < 5,94$	$0,50 \leq Q < 1,45$	$0,50 \leq Q < 1,45$	$1,45 \leq Q < 5,94$	$0,50 < Q \leq 1,45$	$0,25 < Q < 0,50$
Tahmini Destek Tipi		Tip V	Tip III	Tip II	Tip III	Tip III	Tip II	Tip III	Tip IV
Destekleme Sistemleri	Kaya Bulonu	1,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	2,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	2,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	2,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	2,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	2,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	2,00 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm	1,50 m aralıklı L=3 m, $\phi 26$ mm
	Püskürtme Beton	16 cm	10 cm	Tavan: 10 cm Duvar: 5 cm	10 cm	10 cm	Tavan: 10 cm Duvar: 5 cm	10 cm	16 cm
	Hasır Çelik	2 kat	2 kat	1 kat	2 kat	2 kat	1 kat	2 kat	2 kat
	Çelik İksa	1,00 m aralıklı hafif profilli	Gerektiğinde 2,00 m aralıklı hafif	-	Gerektiğinde 2,00 m aralıklı hafif	Gerektiğinde 2,00 m aralıklı hafif	-	Gerektiğinde 2,00 m aralıklı hafif	1,00-1,50 m aralıklı hafif profilli

3.2. Girdi Parametrelerinin Düzenlenmesi

Tünel kazısının yapılması sırasında karşılaşılabilecek problemlerin en aza indirgenmesi tünel güzergahının jeolojik-jeoteknik özelliklerinin önceden belirlenmesi ile mümkündür.

3.2.1. Kaya parametreleri

Yapılan arazi gözlemleri, mevcut kaya örnekler üzerinde yapılan laboratuvar deney sonuçları ve literatür çalışmaları dikkate alınarak farklı örtü kalınlıklarına göre örselenmiş ve örselenmemiş durumlara ait Roclab paket programı kullanılarak zemin parametreleri belirlenmiştir. Parametreler belirlenirken kullanılmış olan abaklar aşağıda sunulmuştur.

Çizelge 3.7. Sağlam veya masif kaya kütlesi ile lamine kayaçları da içerecek şekilde düzenlenmiş GSI sınıflama sistemi [16]

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS		SURFACE CONDITIONS				
		VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY →				
 DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES →	 INTACT OR MASSIVE—intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities	90				
	 BLOCKY—well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
	 VERY BLOCKY—interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
	 BLOCKY/DISTURBED/SEAMY—folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
	 DISINTEGRATED—poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				20	
	 LAMINATED/SHEARED—Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					10

Çizelge 3.8. Modül katsayıları

	Class	Group	Texture			
			Coarse	Medium	Fine	Very fine
SEDIMENTARY	Clastic		Conglomerates 300-400	Sandstones 200-350	Siltstones 350-400	Claystones 200-300
			Breccias 230-350		Greywackes 350	Shales 150-250 *
						Marls 150-200
	Non-Clastic	Carbonates	Crystalline Limestone 400-600	Sparitic Limestones 600-800	Micritic Limestones 800-1000	Dolomites 350-500
METAMORPHIC	Non Foliated		Marble 700-1000	Hornfels 400-700 Metasandstone 200-300	Quartzites 300-450	
	Slightly foliated		Migmatite 350-400	Amphibolites 400-500	Gneiss 300-750*	
	Foliated*			Schists 250-1100*	Phyllites Mica Schist 300-800*	Slates 400-600*
IGNEOUS	Plutonic	Light	Granite+ 300-550 Diorite+ 300-350 Granodiorite+ 400-450			
		Dark	Gabbro 400-500 Norite 350-400			
	Hypabyssal		Porphyries (400)**			
	Volcanic	Lava	Rhyolite 300-500 Dacite 350-450 Andesite 300-500 Basalt 250-450			
		Pyroclastic	Agglomerate 400-600 Volcanic breccia (500)** Tuff 200-400			

* Highly anisotropic rocks: the value of MR will be significantly different if normal strain and/or loading occurs parallel (high MR) or perpendicular (low MR) to a weakness plane. Uniaxial test loading direction should be equivalent to field application.

+ Felsic Granitoids: Coarse Grained or Altered (high MR), fined grained (low MR).

** No data available, estimated on the basis of geological logic.

Çizelge 3.9. Örselenme katsayısı değerleri [17]

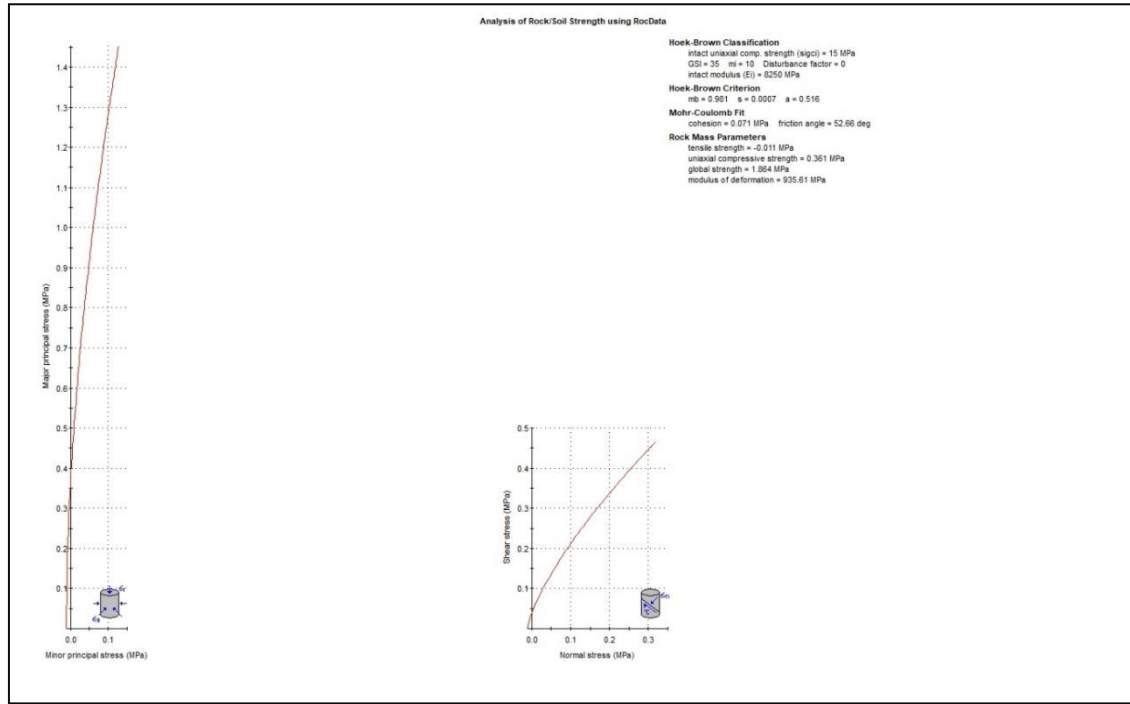
Kaya Görünümü	Kütlesi Tanımı	Önerilen Örselenme Katsayısı (D)
	Çok iyi kalitede denetimli patlatma veya TBM kazısı sonucunda tüneli çevreleyen kaya kütlelerinde en az düzeyde örselenme	D=0
	Zayıf kaya koşullarında mekanik veya elle yapılan kazılar (patlatmasız) sonucunda çevre kayalarda en az düzeyde örselenme	D = 0
	Sıkışma problemlerinin ciddi taban kabarmasına neden olduğu tünellerde fotoğrafta görülen geçici taban kemeri yerleştirilmediği sürece, şiddetli örselenme olabilir.	D = 0,5 (taban kemersiz)
	Sert kaya tünellerindeki zayıf kalitede patlama, çevre kaya kütlelerinde 2 veya 3 m uzanan yersel hasarlara neden olabilir.	D = 0,8

Çizelge 3.10. Bazı kayalara ait mi (som kayanın kayma direnci) değerleri [18]

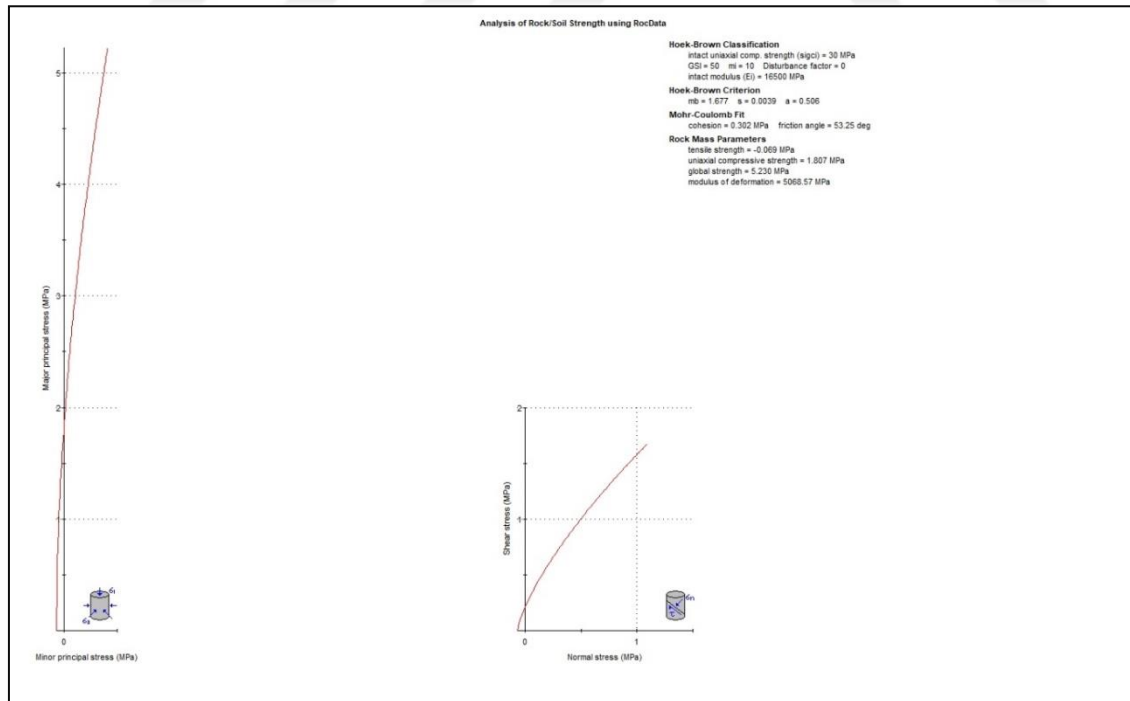
Kayaç Türü	Sınıf	Grup	Yapı			
			İri	Orta	İnce	Çok ince
SEDİMANTER	Klastik		Konglomera (22)	Kumtaşı 19 ← Şist (18) →	Silttaşı 9	Kiltaşı 4
	Klastik olmayan	Organik	← Tebeşir 7 ← Kömür (8-21) →			
		Karbonat	Breş (20)	Sparitik Kireçtaşı (10)	Mikritik Kireçtaşı 8	
		Kimyasal		Jips 16	Anhidrit 13	
	METAMORFİK	Yapraklanmamış		Mermer 9	Hornfels (19)	Kuvarsit 24
Hafif yapraklanmış		Migmatit (30)	Amfibolit 31	Milonit (6)		
Yapraklanmış		Gnays 33	Şist (10)	Fillit (10)	Sleyt 9	
MAGMATİK	Açık		Granit 33		Riyolit (16)	Obsidiyen (19)
			Granodiyorit (30)		Dasit (17)	
			Diyorit (28)		Andezit 19	
	Koyu		Gabro 27	Dolerit (19)	Bazalt (17)	
			Norit 22			
	Piroklastik		Aglomera (20)	Breş (18)	Tuf (15)	

Kaya kütle özelliklerinin belirlenmesinde Roclab bilgisayar programı kullanılmıştır. Roclab programında tek eksenli basınç dayanımı, jeolojik dayanım indeksi, örselenme faktörü ve malzeme sabiti değişkenleri kullanılarak; kohezyon, içsel sürtünme açısı, kaya kütlelerine ait sıkışma, çekme dayanımı ve kaya kütlelerine ait deformasyon modülü değerleri ile m_b , s , a gibi kaya kütle sabitleri elde edilmiştir.

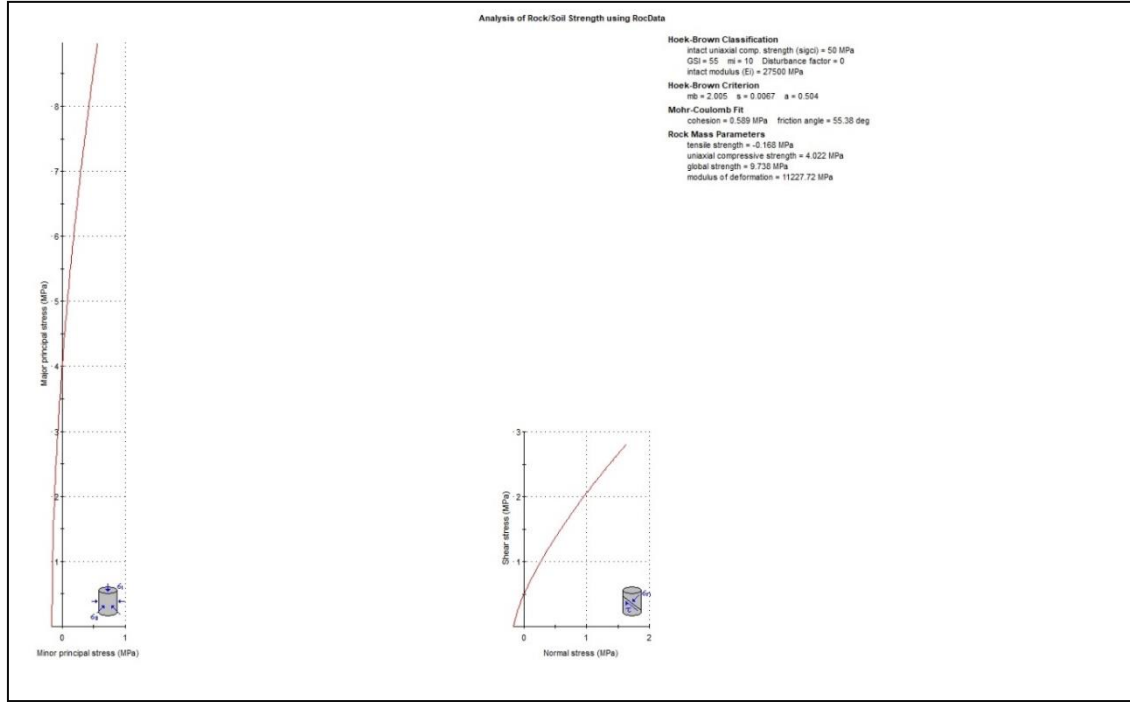
Örselenmemiş kaya kütleleri parametreleri



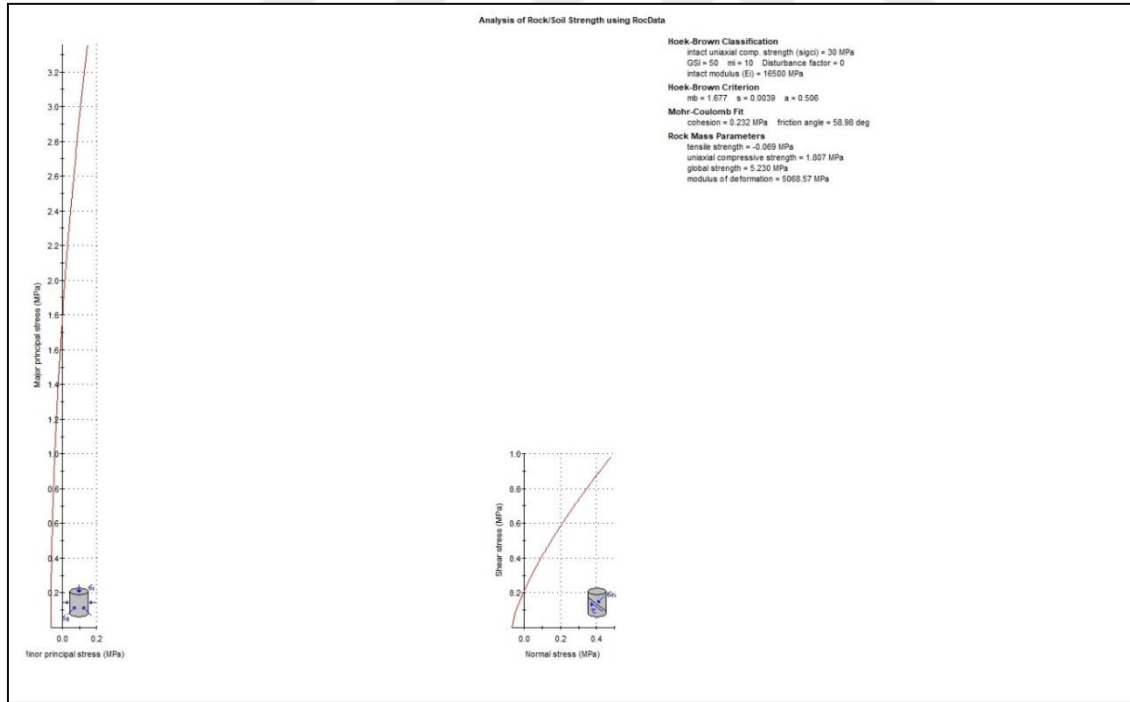
Şekil 3.4. KM: 0+000 – 0+024 kesimi D=0 giriş portalı



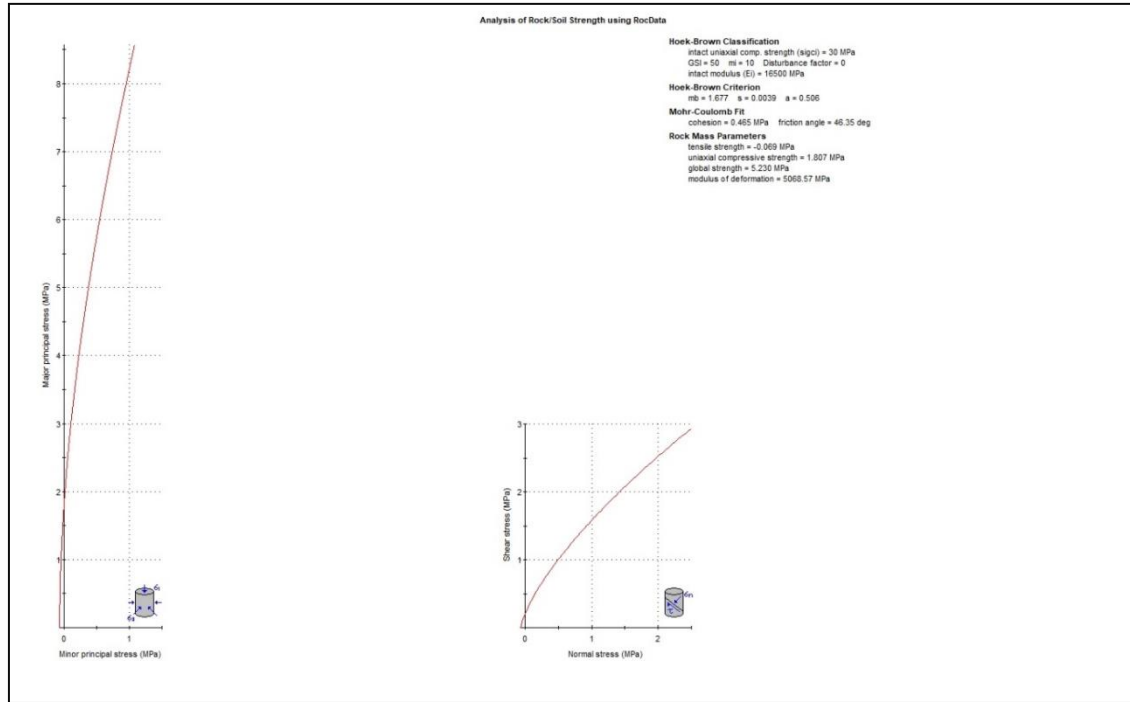
Şekil 3.5. KM: 0+024 – 0+048 kesimi D=0 tünel orta kesimi -1



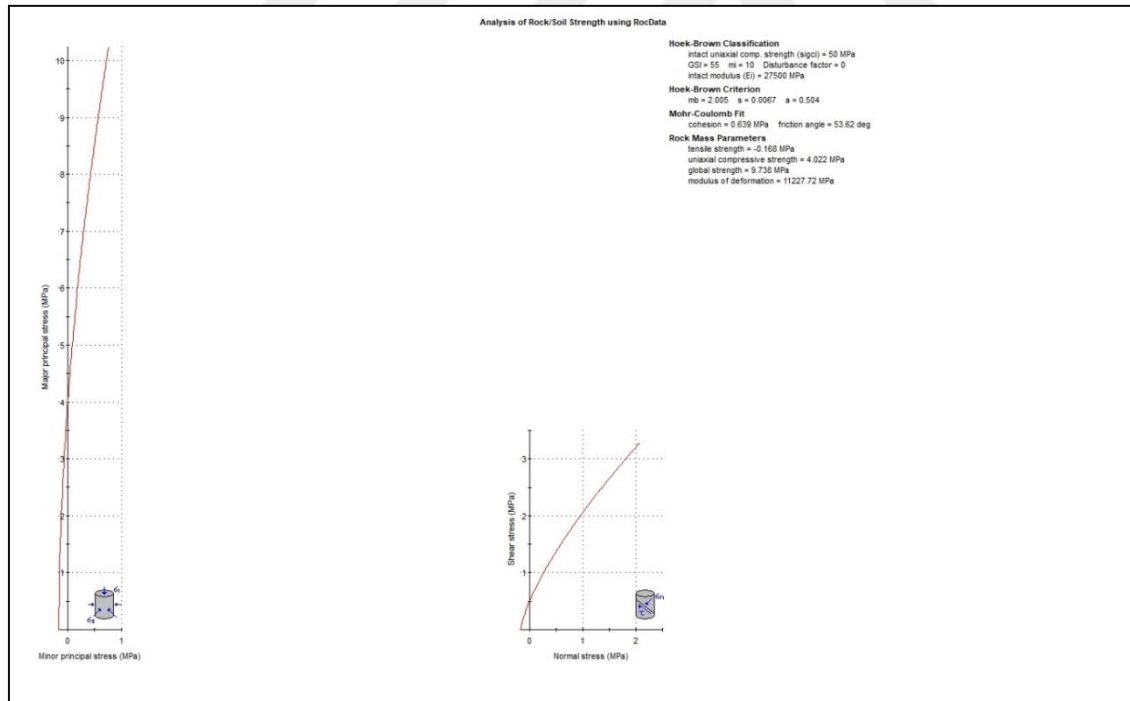
Şekil 3.6. KM: 0+048 – 0+133 kesimi D=0 tünel orta kesimi -2



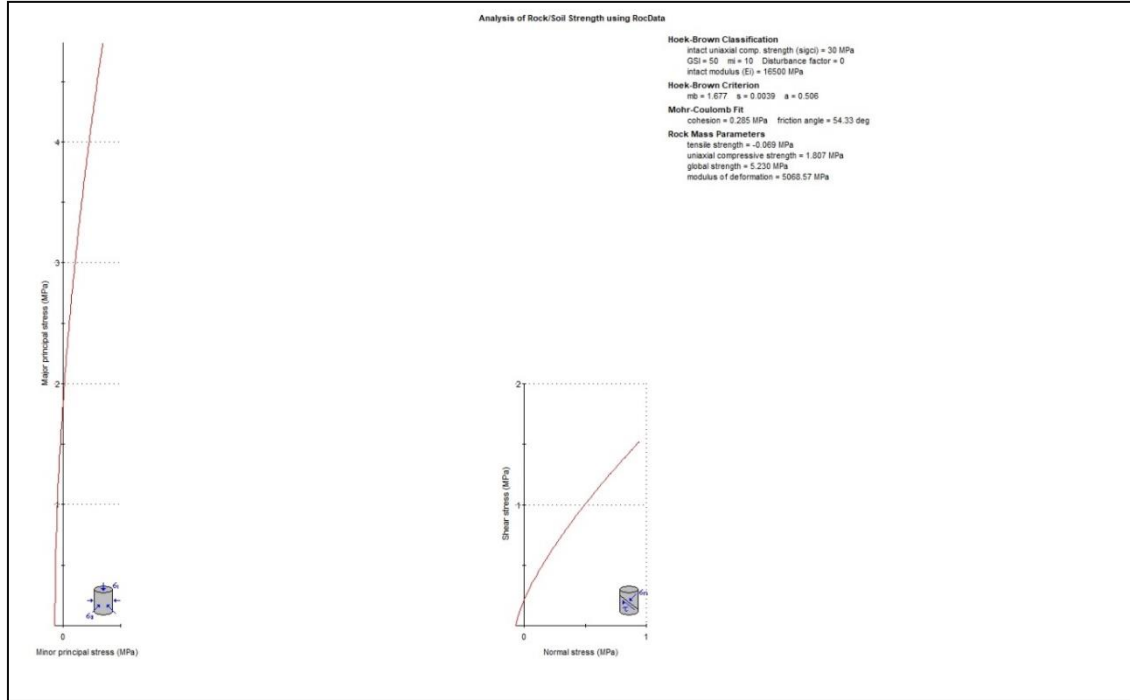
Şekil 3.7. KM: 0+133 – 0+181 kesimi D=0 tünel orta kesimi -3



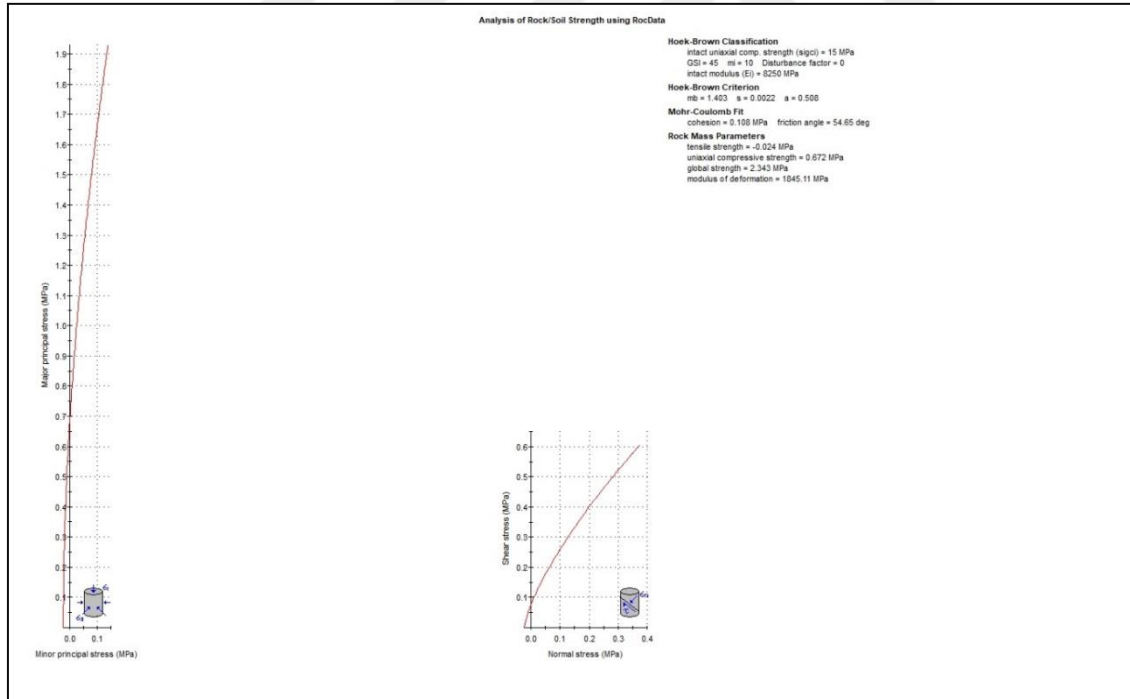
Şekil 3.8. KM: 0+181 – 0+480 kesimi D=0 tünel orta kesimi -4



Şekil 3.9. KM: 0+480 – 0+700 kesimi D=0 tünel orta kesimi -5

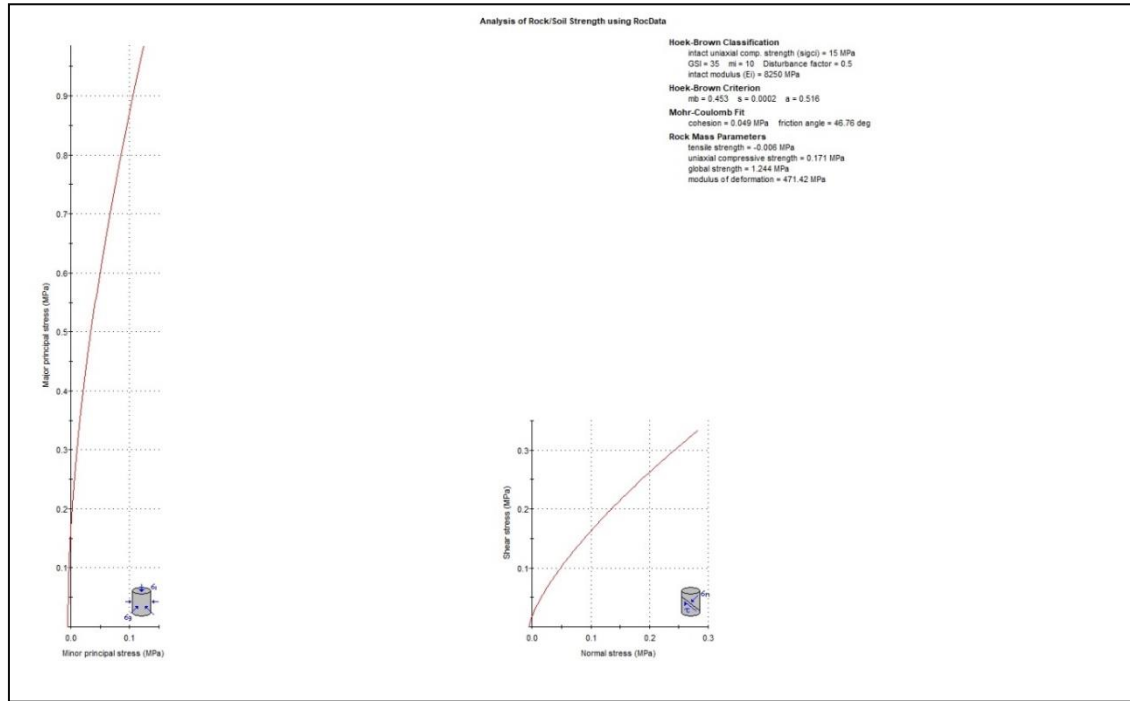


Şekil 3.10. KM: 0+700 – 0+730 kesimi D=0 tünel orta kesimi -6

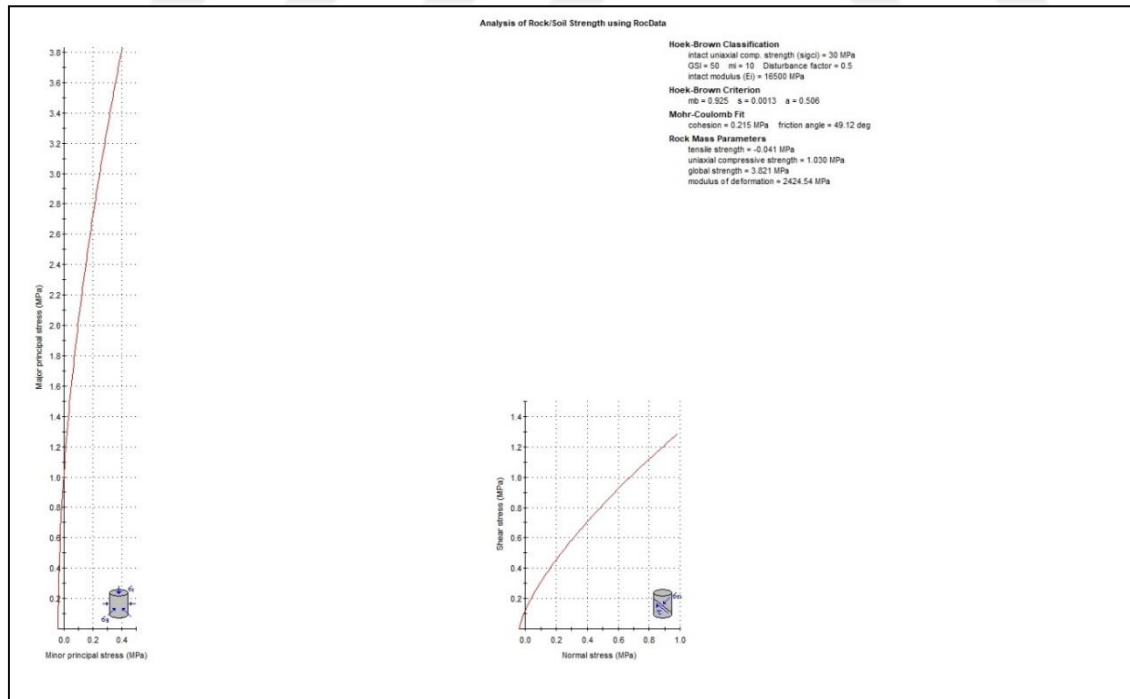


Şekil 3.11. KM: 0+730 – 0+742 kesimi D=0 çıkış portalı

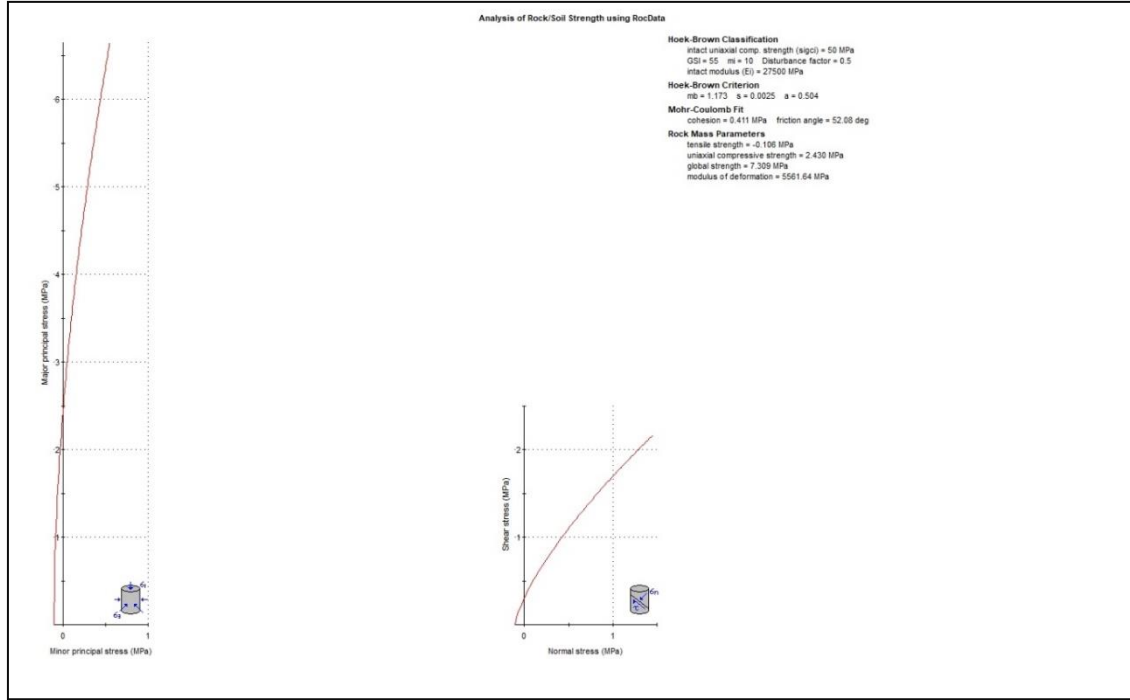
Örselenmiş kaya kütleli parametreleri



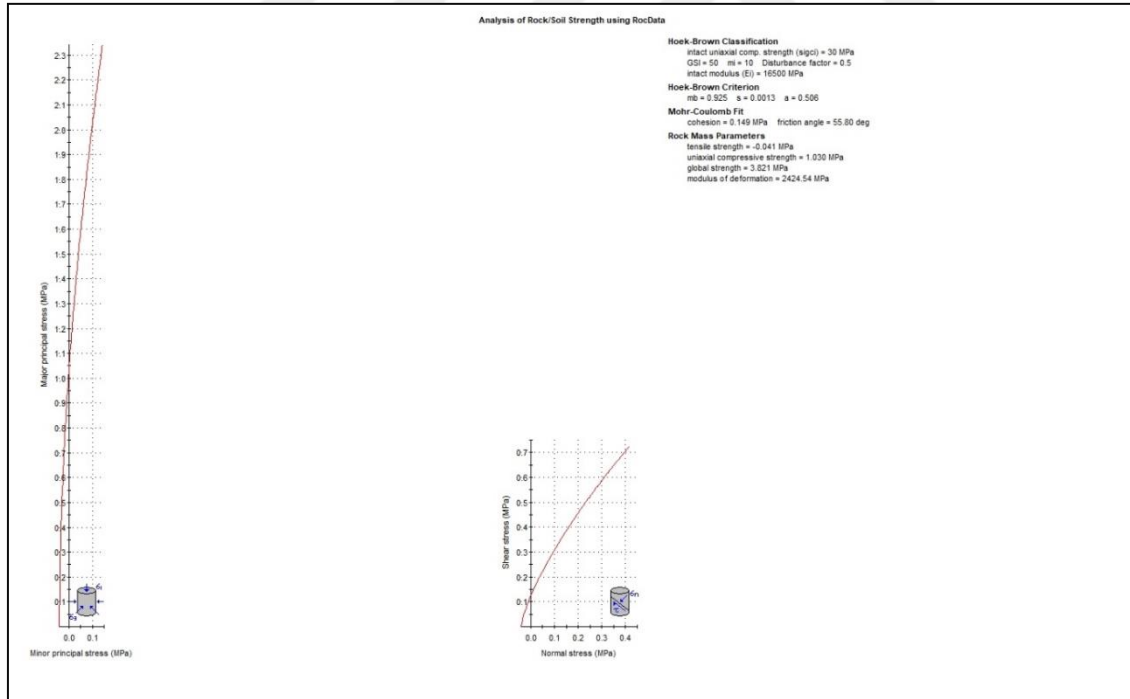
Şekil 3.12. KM: 0+000 – 0+024 kesimi D=0,5 giriş portalı



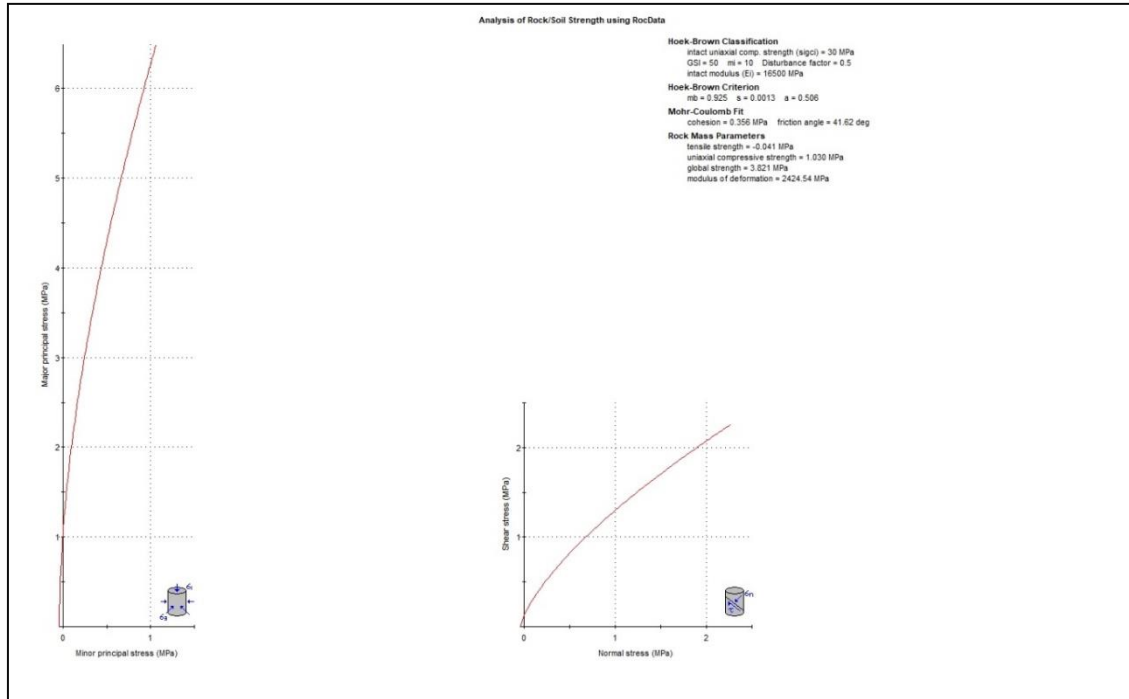
Şekil 3.13. KM: 0+024 – 0+048 kesimi D=0,5 tünel orta kesimi -1



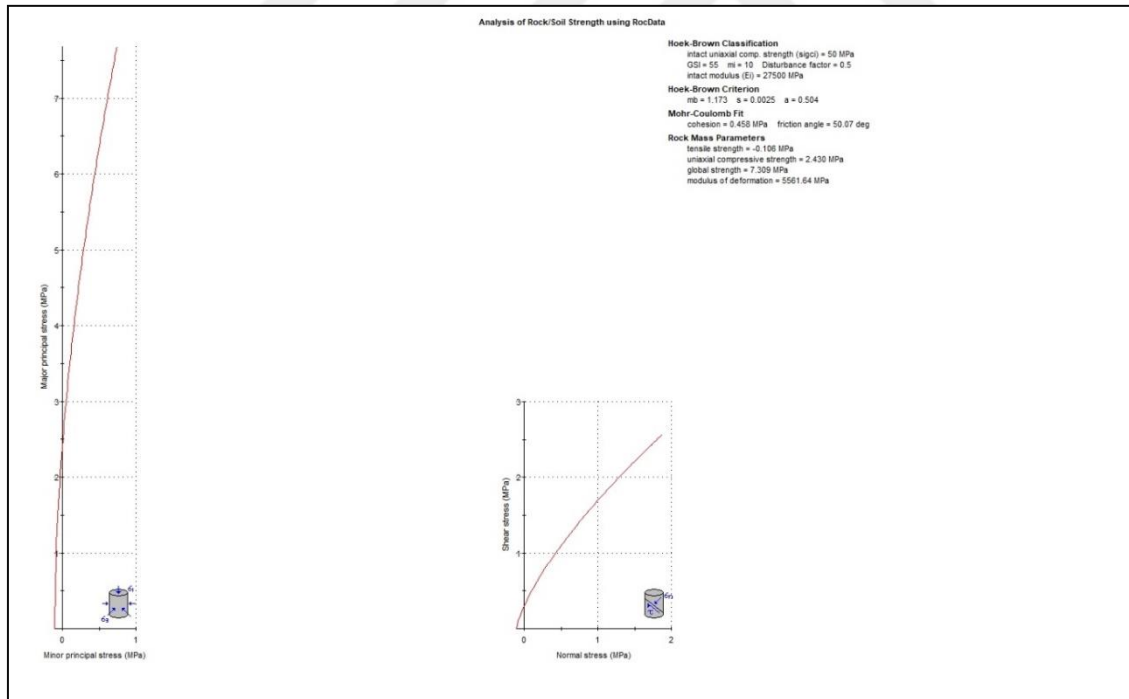
Şekil 3.14. KM: 0+048 – 0+133 kesimi D=0,5 tünel orta kesimi -2



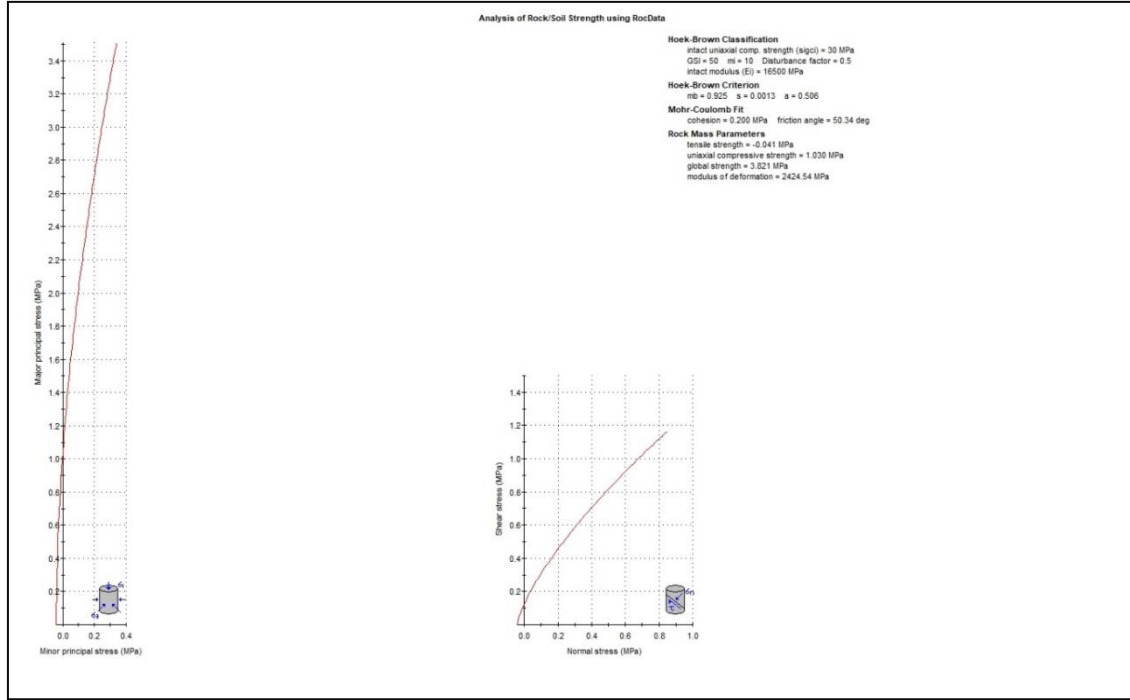
Şekil 3.15. KM: 0+133 – 0+181 kesimi D=0,5 tünel orta kesimi -3



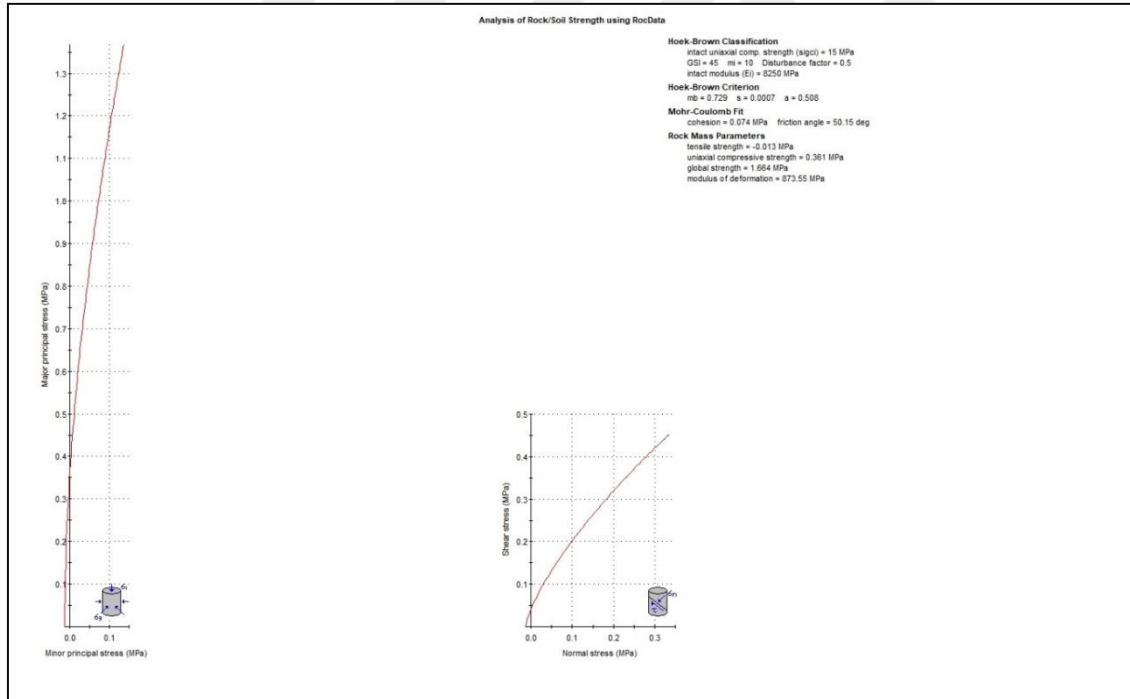
Şekil 3.16. KM: 0+181 – 0+480 kesimi D=0,5 tünel orta kesimi -4



Şekil 3.17. KM: 0+480 – 0+700 kesimi D=0,5 tünel orta kesimi -5



Şekil 3.18. KM: 0+700 – 0+730 kesimi D=0,5 tünel orta kesimi -6



Şekil 3.19. KM: 0+730 – 0+742 kesimi D=0,5 çıkış portalı

Çizelge 3.11. Derivasyon tüneli jeoteknik tasarım parametreleri

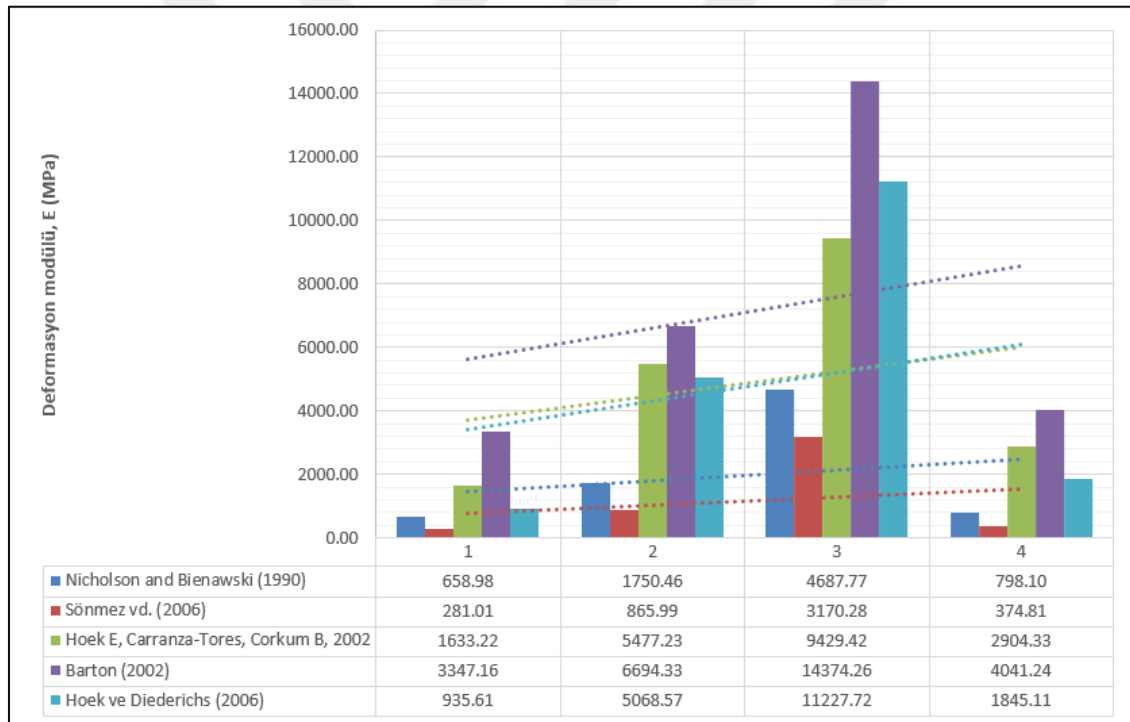
İNCELENEN KESİT		Tünel Orta Kesimi-1	Tünel Orta Kesimi-2	Tünel Orta Kesimi-3	Tünel Orta Kesimi-4	Tünel Orta Kesimi-5	Tünel Orta Kesimi-6	Çıkış Kesimi
KM		0+000 - 0+024	0+024 - 0+048	0+048 - 0+133	0+133 - 0+181	0+181 - 0+480	0+480 - 0+700	0+700 - 0+742
Litoloji		Mikasıst-Kuvassıst	Mikasıst-Kuvassıst	Mikasıst-Kuvassıst	Mikasıst-Kuvassıst	Mikasıst-Kuvassıst	Mikasıst-Kuvassıst	Mikasıst-Kuvassıst
Sondaj		KSK-12	-	-	KSK-2 & SK-32 & SK-30	SK-1 & SK-9	-	KSK-13
Kaya Kütleli Sınıflaması, RMR		36	42	42	42	53	42	40
Jeolojik Dayanım İndeksi, GSI		41	55	55	55	63	55	50
Tünelin Kalite İndeksi, Q		35	50	50	50	55	50	45
Q Aralığı		0.25	1.00	1.00	1.00	5.94	1.00	0.44
Tahmini Destek Tipi		Tip V	Tip III	Tip II	Tip III	Tip II	Tip III	Tip IV
Tek Eksenli Basınç Dayanımı, σ_c (MPa)		15	30	50	30	50	30	15
Deformasyon modülü, E (MPa)	Nicholson and Bieniawski (1990)	658.98	1750.46	4687.77	1750.46	4687.77	1750.46	798.10
	Sönmez vd. (2006)	281.01	865.99	3170.28	865.99	3170.28	865.99	374.81
	Hoek E, Carranza-Torres, Corkum B, Barton (2002)	1633.22	5477.23	9429.42	5477.23	9429.42	5477.23	2904.33
	Hoek ve Dieterichs (2006)	3347.16	3347.16	3347.16	3347.16	3347.16	3347.16	3347.16
	Hoek ve Dieterichs (2006)	935.61	705.04	471.42	5068.57	3815.67	5068.57	3815.67
Ölçeleme Eteneni, D		0	0.2	0.5	0	0.2	0.5	0
Doğal Birim Hacim Ağırlık (γ) (kN/m ³)		24	26	26	26	26	26	26
Kohzyon, c (kPa)		71	62	49	302	266	215	589
İçsel Sürtünme Açısı, ϕ (°)		52.66	50.78	46.76	53.25	51.95	49.12	55.38
Elastisite Modülü E (MPa) / MR		8250 / 550	16500 / 550	27500 / 550	16500 / 550	27500 / 550	16500 / 550	8250 / 550
Malzeme Sabiti, m		10	10	10	10	10	10	10
mb		0.981	0.758	0.543	1.677	2.005	1.677	1.173
s		0.0007	0.0004	0.0002	0.0039	0.0026	0.0013	0.0007
a		0.516	0.506	0.504	0.506	0.504	0.506	0.508
Etkin kaya yüksekliği, h (m)		10	30	40	84	55	25	10

Deformasyon modülü hesaplanması

Çizelge 3.12. Hesaplanan deformasyon modülleri özet tablosu

<u>Ampirik Bağın</u>	<u>Deformasyon Modülü, E_m (MPa)</u>											
<u>Tünel Kesimi</u>	<u>Giriş Portalı</u>			<u>Çıkış Portalı</u>			<u>En Kötü Durumda</u>			<u>En İyi Durumda</u>		
<u>Örselenme Faktörü</u>	D=0	D=0,2	D=0,5	D=0	D=0,2	D=0,5	D=0	D=0,2	D=0,5	D=0	D=0,2	D=0,5
Nicholson and Bienawski (1990)	658,98	658,98	658,98	798,10	798,10	798,10	1750,46	1750,46	1750,46	4687,77	4687,77	4687,77
Sönmez vd. (2006)	281,01	281,01	281,01	374,81	374,81	374,81	865,99	865,99	865,99	3170,28	3170,28	3170,28
Hoek E, Carranza-Tores, Corkum B. (2002)	1633,22	1469,90	1224,92	2904,33	2613,90	2178,25	5477,23	4929,50	4107,92	9429,42	8486,48	7072,07
Barton (2002)	3347,16	3347,16	3347,16	4041,24	4041,24	4041,24	6694,33	6694,33	6694,33	14374,26	14374,26	14374,26
Hoek ve Diederichs (2006)	935,61	705,04	471,42	1845,11	1374,98	873,55	5068,57	3815,67	2424,54	11227,72	8613,39	5561,64

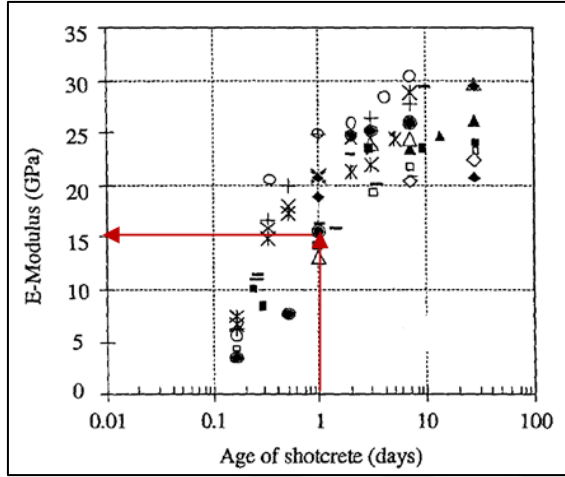
Çizelge 3.13. Hesaplanan deformasyon modülleri için özet çizelgesi



Belirlenen parametreler çerçevesinde, çeşitli araştırmacılara göre hesaplanan deformasyon modüllerine ait bu araştırmacılar içerisindeki ortalamaya ait en yakın değeri veren Hoek ve Diederich'e göre elde edilen deformasyon modülü değerleri hesaplamalarda esas olarak alınmıştır.

3.2.2. Püskürtme beton

Hazırlanan modellerde, püskürtme betonun ilk 24 saatteki dayanımı modellenerek güvenli tarafta kalınmıştır. Bu dayanımın belirlenmesinde püskürtme betonun erken dönemdeki mekanik özellikleri için Chang tarafından çeşitli test sonuçlarından elde edilen zamana bağlı elastisite modülü değişimi grafiği referans alınmıştır.



Şekil 3.20. Püskürtme betonun zamana bağlı elastisite modülü değişimi [19].

Çizelge 3.14. Püskürtme beton malzeme parametreleri

Malzeme Cinsi	Birim Ağırlık γ (MN/m ³)	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı μ	Basınç Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)
C25/30	0,024	15000	0,2	25	1,8

3.2.3. Çelik iksa

Hazırlanan modellerde kullanılan IPN160 çelik iksaya ait malzeme parametreleri aşağıdaki çizelgede sunulmuştur.

Çizelge 3.15. Çelik iksa malzeme parametreleri

Çelik İksa	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson oranı μ	Alan(cm ²)	Atalet Momenti(cm ⁴)	Emniyetli Kopma Yüğü (MPa)	Ağırlık(kg/m)
IPN 160	210 000	0,28	22,8	9,35	365	8,14

3.2.4. Bulon kapasiteleri

Kaya bulonları, kaya ile bulon enjeksiyonu arasında tam aderans sağlandığı (fully bonded) kabulü ile modellenmiştir. Kaya bulonu için çekme kapasitesi belirlenirken donatı çeliğinin kopma kapasitesi ile enjeksiyon ve çevre kaya arasındaki sıyrılma kapasitesi karşılaştırılmış; düşük olan değer kaya bulonu çekme kapasitesi olarak belirlenmiştir.

a. Donatı çeliğine ait kopma kapasitesi (Tensile capacity)

Donatı çeliğinin kopma kapasitesi donatı çapına ve çeliğin kopma dayanımına bağlıdır. Buna göre, S420 çelik sınıfı $\phi 26$ bulon için kopma kapasitesi aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$T_{\text{kopma}} - \text{nihai} = \pi \cdot r^2 \cdot f_y$$

$$\phi 26 - T_{\text{kopma}} - \text{nihai} = \pi \cdot 0,013^2 \cdot 365 = 194 \text{ kN} = 0,194 \text{ MN}$$

Hesaplamalar sonucunda, kazı destek sisteminde kullanılan bulonların kaya ile tam aderanslı (fully bonded) olarak teşkil edileceği durumda, bulon çekme kapasitesi kopma (tensile) yenilme modu tarafından kontrol edilmektedir. Bu durumda $\phi 26$ çapındaki bulon için çekme kapasitesi 194 kN olarak elde edilmiştir.

b. Sıyrılma kapasitesi (Pull-out capacity)

Bulon enjeksiyonu ve çevre kaya arasındaki sıyrılma kapasitesi; bulon delgi çapına, bulon boyuna ve enjeksiyon ile çevre kaya arasındaki aderans dayanımına bağlıdır.

Çizelge 3.16. Zemin çivilerinin ve kaya bulonlarının çeşitli kaya tiplerindeki tahmini aderans dayanımları [20].

Material	Construction Method	Soil/Rock Type	Ultimate Bond Strength, q_u (kPa)
Rock	Rotary Drilled	Marl/limestone	300 - 400
		Phyllite	100 - 300
		Chalk	500 - 600
		Soft dolomite	400 - 600
		Fissured dolomite	600 - 1000
		Weathered sandstone	200 - 300
		Weathered shale	100 - 150
		Weathered schist	100 - 175
		Basalt	500 - 600
		Slate/Hard shale	300 - 400

Enjeksiyon ve çevre kaya arasındaki aderans dayanımları, FHWA-IF-03-017 Zemin Çivili Duvarlar içerisinde çeşitli kaya tipleri için verilen tahmini aderans dayanımı değerleri yukarıdaki tablodan faydalanarak mikast birimi için 300 kPa kabul edilmiştir.

$$T_{\text{pullout}} - \text{nihai} = \pi \cdot D \cdot f_s \cdot l$$

$$T_{\text{pullout}} - \text{nihai} = \pi \cdot 0,051 \cdot 300 \cdot 3 = 114 \text{ kN} = 0,144 \text{ MN}$$



4. NÜMERİK ANALİZLER

Sonlu elemanlar yönteminin temelinde, yeraltı yapısı gibi karmaşık bir problemin, kabul edilebilir yaklaşımlarla basite indirgenerek sayısal bir çözüm aranması yatmaktadır [21]. Çözümün gerçekleştirilebilmesi için modelin belli sayıda sonlu elemanlara ayrılarak modellenmesi gerekmektedir. Sonlu Elemanlar Yöntemi, güncel durumda geoteknik problemlerin çözümünde en sık kullanılan sayısal modelleme yöntemlerinden biridir.

Genel olarak geoteknik problemler, yapım aşamaları, farklı ve homojen dağılmayan zemin birimleri, zeminin elastoplastik özellikleri, zemin ve destek elemanları arasındaki etkileşim ve diğer parametreler dikkate alındığında sonlu elemanlar yönteminin kullanılmasının büyük bir gereklilik olduğu söylenebilir.

Temelde önerilen ve bu çalışmada kullanılan yöntem, deneyimsel yöntemlerden elde edilen ön tasarımın, sayısal yöntemlerle de denetlenerek kesin tasarıma dönüştürülmesidir. Bu çalışmadaki sayısal çözümlemelerde Phase2 bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.

Phase2 yazılımı, düzlemsel deformasyon (plane strain) ve eksenel simetrik (axisymmetric) yaklaşımları ile 2 boyuta indirgenmiş çözümlemeler yapabilen bir sonlu elemanlar programıdır. İlk olarak Dr. Evert Hoek yönetimindeki Kanada Toronto Üniversitesi Kaya Mekaniği Grubu tarafından tünellerin tasarımı amacıyla hazırlanmış bir yazılımdır.

Phase2 yazılımı, temelde zemin ve kaya malzemeleri hedefte tutsa da birçok doğrusal ve doğrusal olmayan malzeme modelini kullanabilmektedir. Katı modellemede, birinci veya ikinci derece üçgen veya dörtgen elemanlar ile çözüm ağı oluşturma yeteneğine sahip olan yazılım, püskürtme betonu, kaplama betonu, kaya bulonu gibi tünel tasarımında kullanılan yapısal elemanları da modele ekleyebilmekte ve yapı-zemin ilişkisini modelleyebilmektedir. Ayrıca, elemanları ekleme ve kaldırma olanağı sunarak aşamalı kazı veya dolgu benzeşimlerini veya gecikmeli desteklemeyi modelleyebilmektedir.

4.1. Derivasyon Tüneli Sayısal Analizleri

742,00 m uzunluğunda tasarlanan derivasyon tünelinin, tamamını tarifleyebilmek için toplam 7 adet hesap kesiti kullanılmıştır.

4.1.1. Hesap kesitleri

Tünel kesitleri üzerine gelen yükler ve tünel profili boyunca yapılan kaya sınıflaması dikkate alınarak tünel ile ilgili yapılacak analizlerde 7 adet hesap kesiti kullanılmıştır. Kullanılan hesap kesitleri aşağıda sunulmuştur.

0+024 Tünel giriş portalı baraj memba tarafındadır. Örtü yükünden kaynaklı sürşarj yüküne maruz kalmakla birlikte membadaki işletme su seviyesi durumunda su kuvvetlerine maruz kalır. Giriş portalına en yakın kesittir. 0+078 Membadadır. Örtü yükünden kaynaklı sürşarj yüküne maruz kalmakla birlikte membadaki işletme su seviyesi durumunda su kuvvetlerine maruz kalır. 0+158 Membadadır. Örtü yükünden kaynaklı sürşarj yüküne maruz kalmakla birlikte membadaki işletme su seviyesi durumunda su kuvvetlerine maruz kalır. Membadaki en düşük örtü yüksekliği bu kesittedir. 0+290 Membadadır. Örtü yükünden kaynaklı sürşarj yüküne maruz kalmakla birlikte membadaki işletme su seviyesi durumunda su kuvvetlerine maruz kalır. 0+373 Membadadır. Baraj eksenini üzerindedir. Baraj ekseninde olması sebebiyle ekstra baraj dolgu yüküne maruz kalır. Baraj geçirimsiz dolgusunun derivasyon tüneli üzerinde maksimum sürşarj yüksekliğine ulaştığı durumdur. Membadaki en büyük zemin yükü bu kesitte oluşur. Memba kısmında en yüksek örtü kalınlığı bu kesittedir. 0+480 Baraj ekseninin mansap tarafındadır. Örtü yükünden kaynaklı sürşarj yüküne maruz kalmakla birlikte mansaptaki derivasyon aşamasında iç su kuvvetlerine maruz kalır. Mansap kısmındaki kesitlerden en yüksek örtü kalınlığı bu kesittedir. 0+730 Tünel çıkış portalı baraj ekseninin mansap tarafındadır. Örtü yükünden kaynaklı sürşarj yüküne maruz kalmakla birlikte mansaptaki derivasyon aşamasında iç su kuvvetlerine maruz kalır. Mansap bölgesindeki en düşük örtü yüksekliği bu kesittedir. Çıkış portalına en yakın kesittir.

4.1.2. Sonlu elemanlar analizi

Derivasyon tünelinin analizlerinin gerçekleştirilmesinde Phase2 bilgisayar programı kullanılmıştır. Phase2 yazılımı, düzlemsel deformasyon (plane strain) ve eksenel simetrik (axisymmetric) yaklaşımları ile 2 boyuta indirgenmiş çözümler yapabilen bir sonlu elemanlar programıdır. Oluşturulan modellerin sağ ve sol yatay sınırlamalar, üstte doğal zemin yüzeyi ile altta ise düşey sınırlamalar ile kısıtlanmıştır. Zemin 6 nolu üçgen elemanlar ile, kaplama ve shotcrete Timoshenko kiriş elemanları ile modellenmiştir. Kaya bulonları ise fully bonded olarak modellenmiştir. Yapılan analizlerde, derivasyon tüneli inşaatı ve işletmesi yazılımın kabiliyetleri sayesinde aşamalı olarak modellenerek her aşamada oluşan kesit tesirleri ve deformasyonlar hesaplanmıştır.

4.2. Derivasyon Tüneli Gevşetme Analizleri

Tünel açma süreci doğal olarak 3 boyutlu bir işlemdir. Bu durumu 2 boyutlu analizlerde uygun bir şekilde uygulayabilmek amacıyla analiz edilen kesitte tünel kazısı yaklaştığında oluşan gevşeme ve deplasmanları modellemek için tünel kazı bölgesindeki malzemenin rijitliğinin azaltılması yoluna gidilmiştir. Gevşetmenin ne ölçüde yapılacağını belirlemek amacıyla literatürde ve uygulamada 2 farklı yöntem sıklıkla kullanılmaktadır.

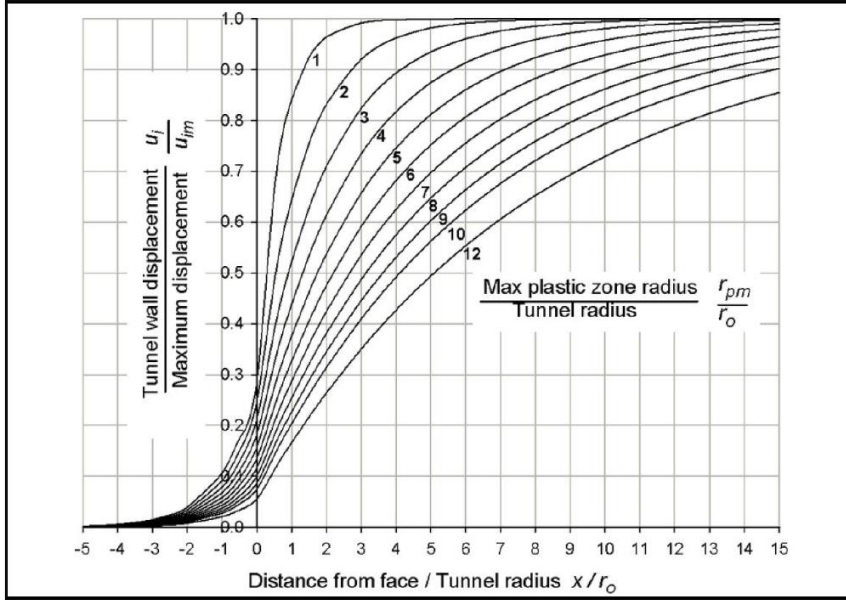
I.yöntem olarak analiz edilen kesitlerde tünel kazısı yaklaştığında oluşan gevşeme ve deplasmanları modellemek için tünel kazı bölgesindeki malzemenin rijitliğinin kademeli olarak azaltılması yoluna gidilmektedir.

Farklı elastisite modülleri kullanılarak gerçekleştirilen analiz aşamalarında elde edilen tünel deplasmanları kullanılarak, elastisite modülü - deplasman eğrileri oluşturulmaktadır. Elde edilen bu eğrilerin şekli ve eğimin değiştiği noktalar dikkate alınarak, analizlerde gevşetme için kullanılacak elastisite modülü değerleri belirlenmiş ve grafikler üzerinde kırmızı renkte gösterilmektedir.

II. yöntem olarak yumuşama oranının belirlenmesi için Vlachopoulos ve Diederichs (2009) tarafından yapılan çalışma sonucu elde edilen grafik kullanılmıştır. Buna uygun olarak yumuşatma oranı yaklaşık olarak belirlenerek üçüncü boyuttaki gerilme ve deplasman değişimleri modellenmektedir.

Vlachopoulos ve Diederich, kazı kesitinin tünel yüzüne olan mesafesinin (X) tünel yarıçapına (Rt) oranı ile tünel kazı çevresinin etrafında oluşacak plastik kaya zonu yarıçapının

(Rp) tünel yarıçapına (Rt) oranının bilinmesi durumunda, destekleme sisteminin uygulanması gereken toplam tünel ta deformasyonu değerleri önermişlerdir.



şekil 4.1. Boyuna deplasman profilleri [22]

Bu alışma kapsamında I. yöntem kullanılarak kazı bölgesi gevstme elastisite modülü değerleri belirlenmiştir.

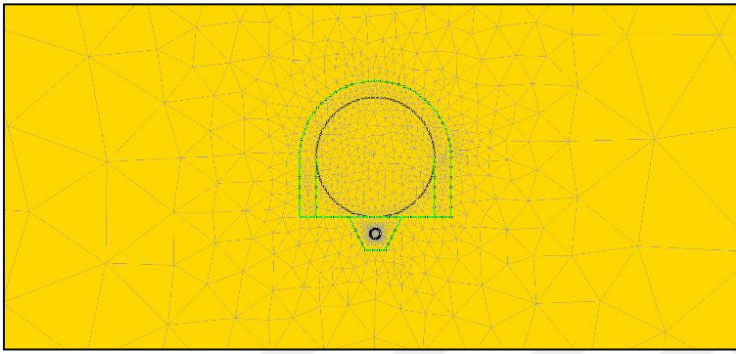
4.2.1. I. Yöntem - Destek Sistemi Olmadan Oluşan Deformasyonun Hesabı

Tünel içerisinde hiçbir destek sistemi olmadan deformasyon sınırlama (convergence confinement) tekniği; kazı esnasında çekirdek yumuşaması kademeli olarak modellenerek her aşamada oluşan deformasyon hesaplanmıştır. Bu yöntem ile tünel kazısının zaman içerisindeki ilerleyişinin, tünel çeperlerinde oluşturacağı zamana bağlı deformasyonlar simüle edilebilmektedir.

Ana kaya “Genelleştirilmiş Hoek-Brown” kullanılarak izotropik ve plastik malzeme olarak modellenmiştir. Ana kayaya ortam gerilimi ve kendi ağırlığından dolayı oluşan gerilmeler etkinleştirilmiştir. Tünel kazısı esnasında tünel kazısının çevresinde yaklaşık 0,50m kalınlığında örselenmiş kaya zonu yine aynı malzeme modeli ile modellenmiştir. Tünel kazısı etrafındaki örselenmiş kayanın örselenme faktörü 0,2 olarak değerlendirilmiştir. Çekirdek yumuşaması için plastik malzeme modeli kullanılmıştır.

Bu metoda göre, kazı yüzeyinin incelenen kesitten uzaklaşmasına göre çekirdekdeki malzemenin elastisite modülü azaltılarak deformasyonların yavaş bir şekilde oluşması sağlanmış ve oluşan deformasyonlar elastisite modülüne bağlı olarak belirlenmiştir.

Bu model ve analiz sonuçları deformasyon sınırları kullanılarak ilk destekleme sisteminin yapılacağı aşamayı belirlemek ve nihai tünel deformasyonunun oluşacağı aşamayı hesaplamak için kullanılmıştır. Tüneldeki final kapanma değerleri ve elastisite modülleri, tünel güzergahı boyunca incelenen 7 adet kesite ait analiz sonuçları sunulmuştur.



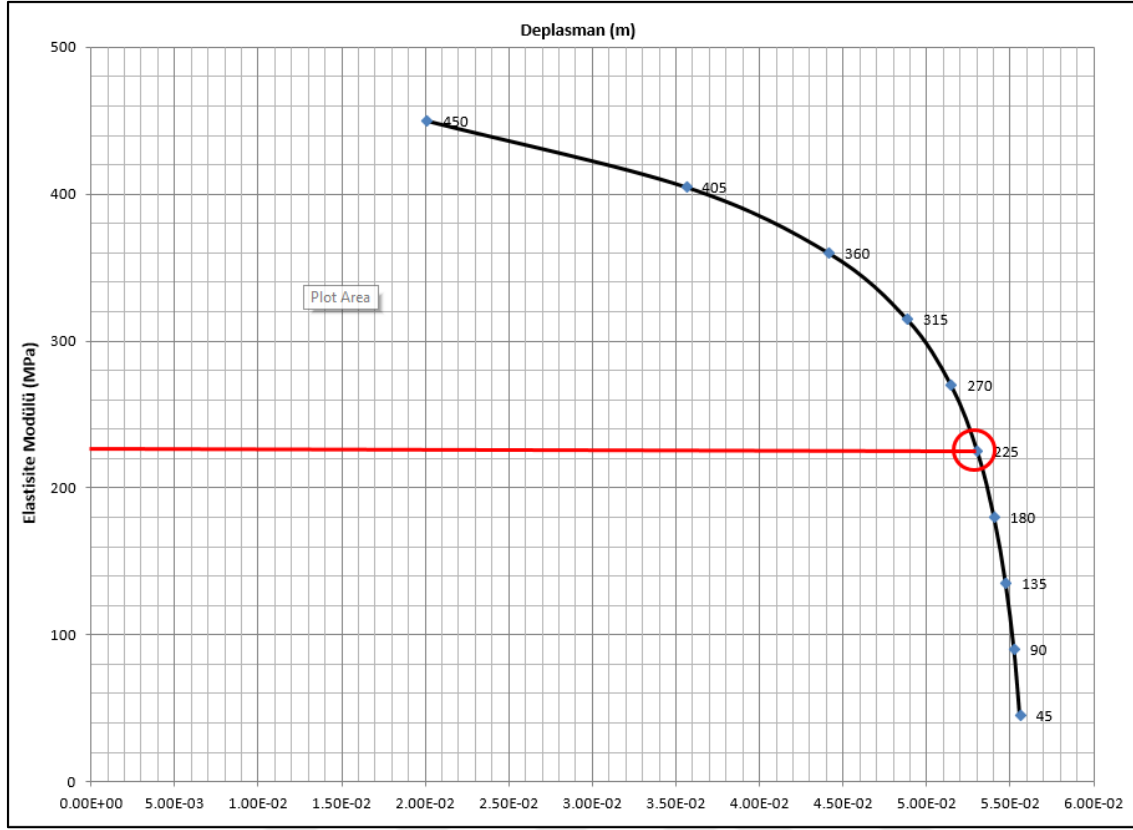
Şekil 4.2. Oluşturulan Phase2 tünel modeli

0+024 Kesiti (TİP V)

Çizelge 4.1. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri (0+024 kesiti)

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	450	100	0,00072442
2	405	90	0,0012818
3	360	80	0,0015896
4	315	70	0,0017585
5	270	60	0,0018536
6	225	50	0,0019101
7	180	40	0,0019462
8	135	30	0,0019711
9	90	20	0,0019891
10	45	10	0,0020014

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,0019101 m olarak hesaplanmıştır.



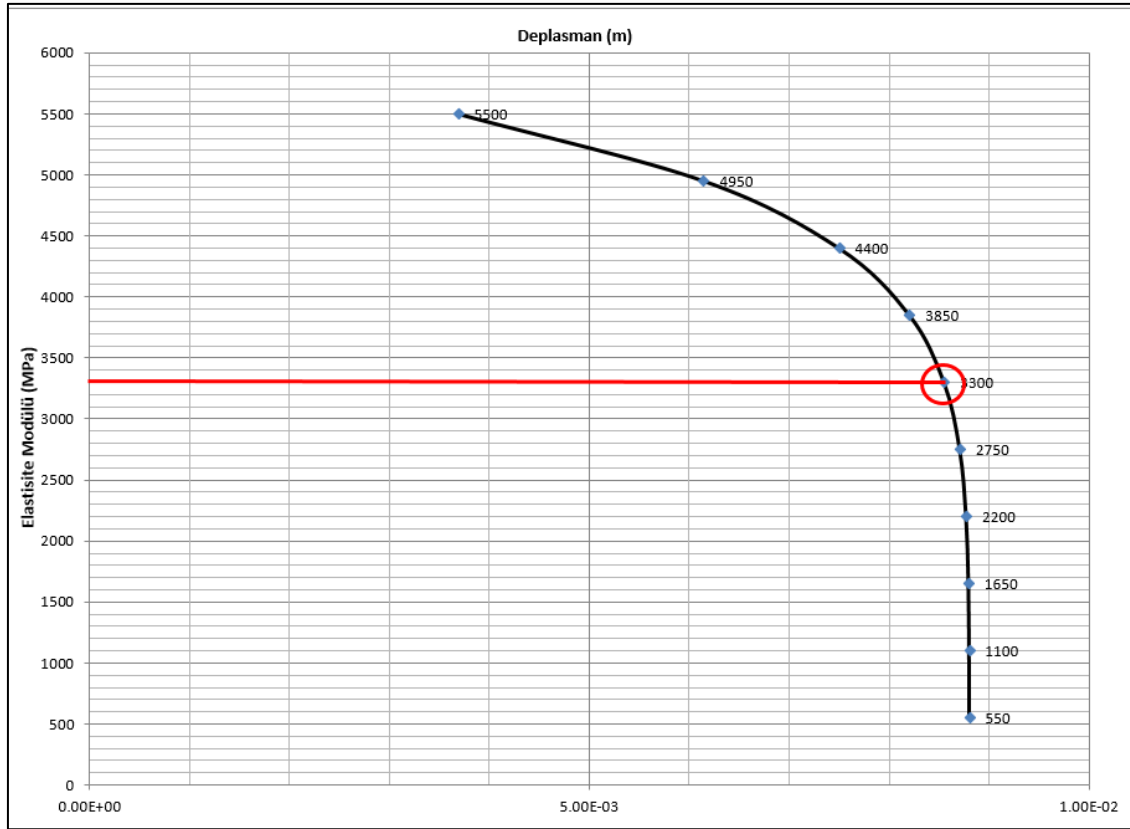
Şekil 4.3. 0+024 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

0+078 Kesiti (TİP II)

Çizelge 4.2. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	5500	100	0,00013287
2	4950	90	0,00022135
3	4400	80	0,00027002
4	3850	70	0,00029544
5	3300	60	0,00030791
6	2750	50	0,00031355
7	2200	40	0,00031586
8	1650	30	0,00031668
9	1100	20	0,00031693
10	550	10	0,00031698

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,00030791 m olarak hesaplanmıştır.



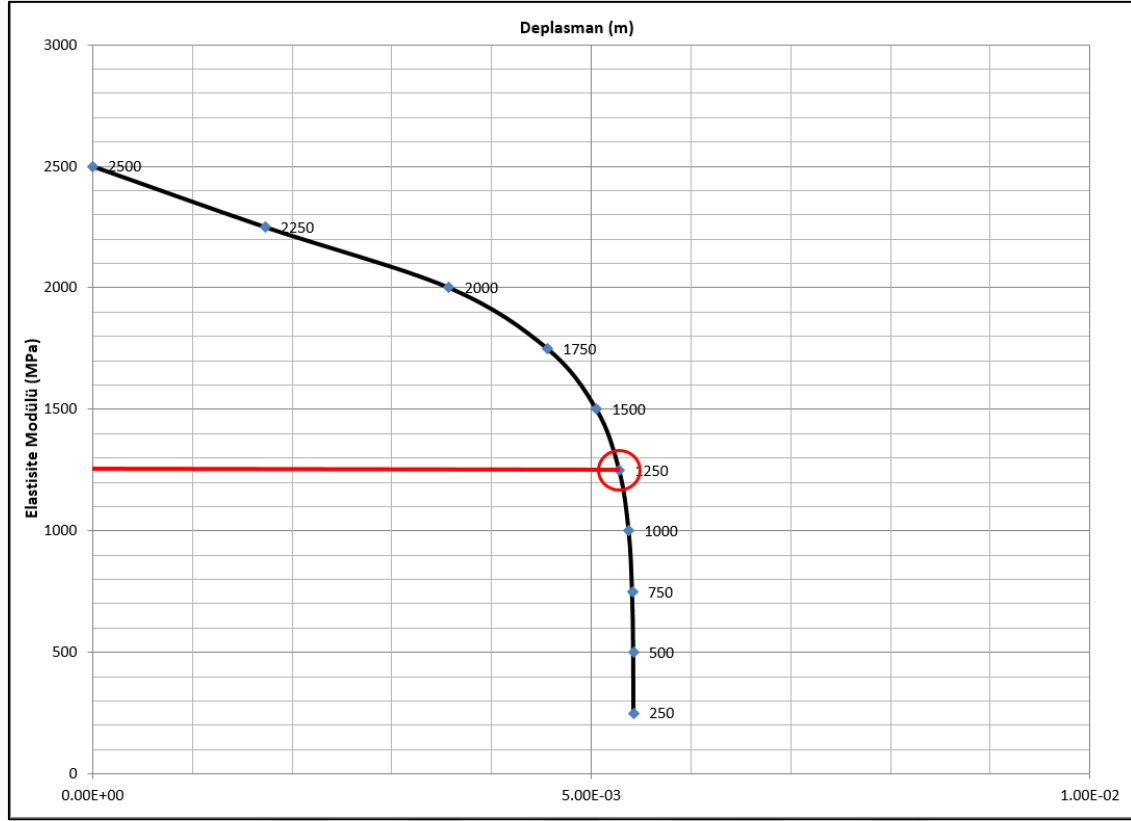
Şekil 4.4. 0+078 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

0+158 Kesiti (TİP III)

Çizelge 4.3. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	2500	100	5,576E-5
2	2250	90	0,000012131
3	2000	80	0,00015827
4	1750	70	0,000178
5	1500	60	0,00018788
6	1250	50	0,00019245
7	1000	40	0,0001936
8	750	30	0,00019506
9	500	20	0,00019527
10	250	10	0,00019532

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,00019245 m olarak hesaplanmıştır.



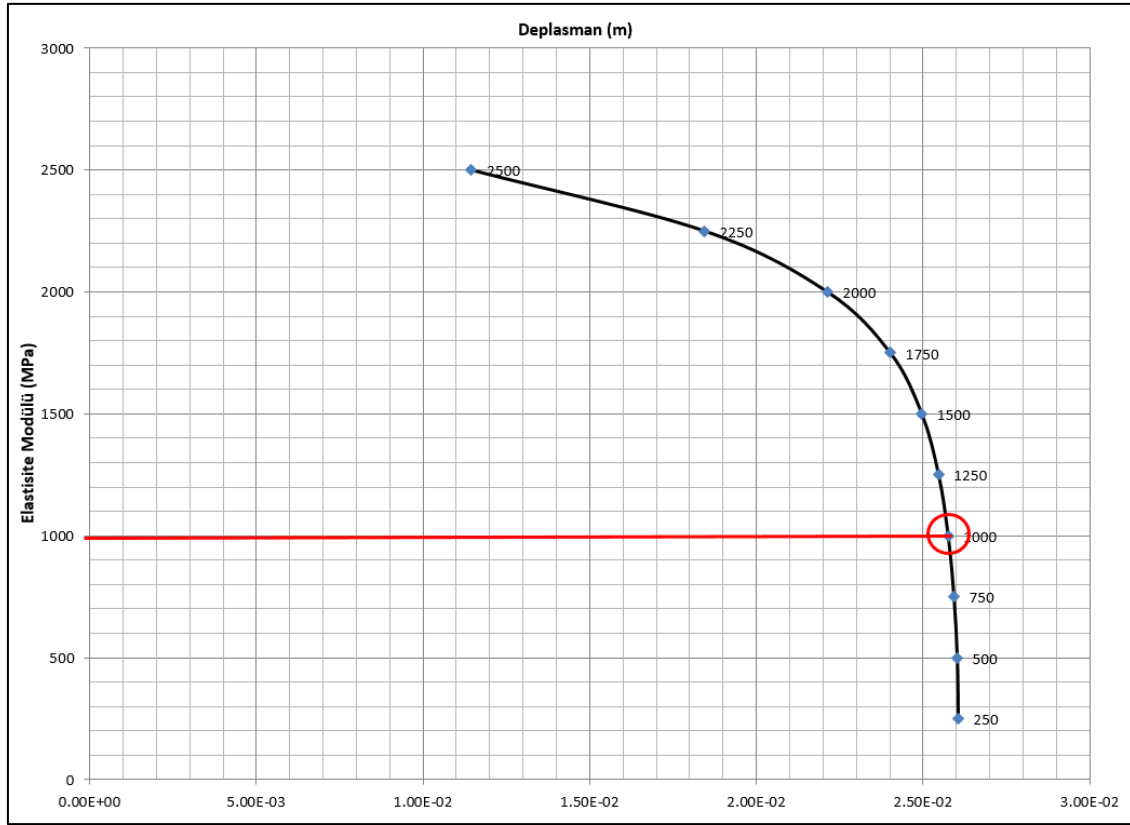
Şekil 4.5. 0+158 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

0+290 Kesiti (TİP III)

Çizelge 4.4. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	2500	100	0,00041231
2	2250	90	0,00066365
3	2000	80	0,0007965
4	1750	70	0,0008644
5	1500	60	0,00089844
6	1250	50	0,00091654
7	1000	40	0,00092691
8	750	30	0,00093309
9	500	20	0,00093669
10	250	10	0,00093772

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,00092691 m olarak hesaplanmıştır.



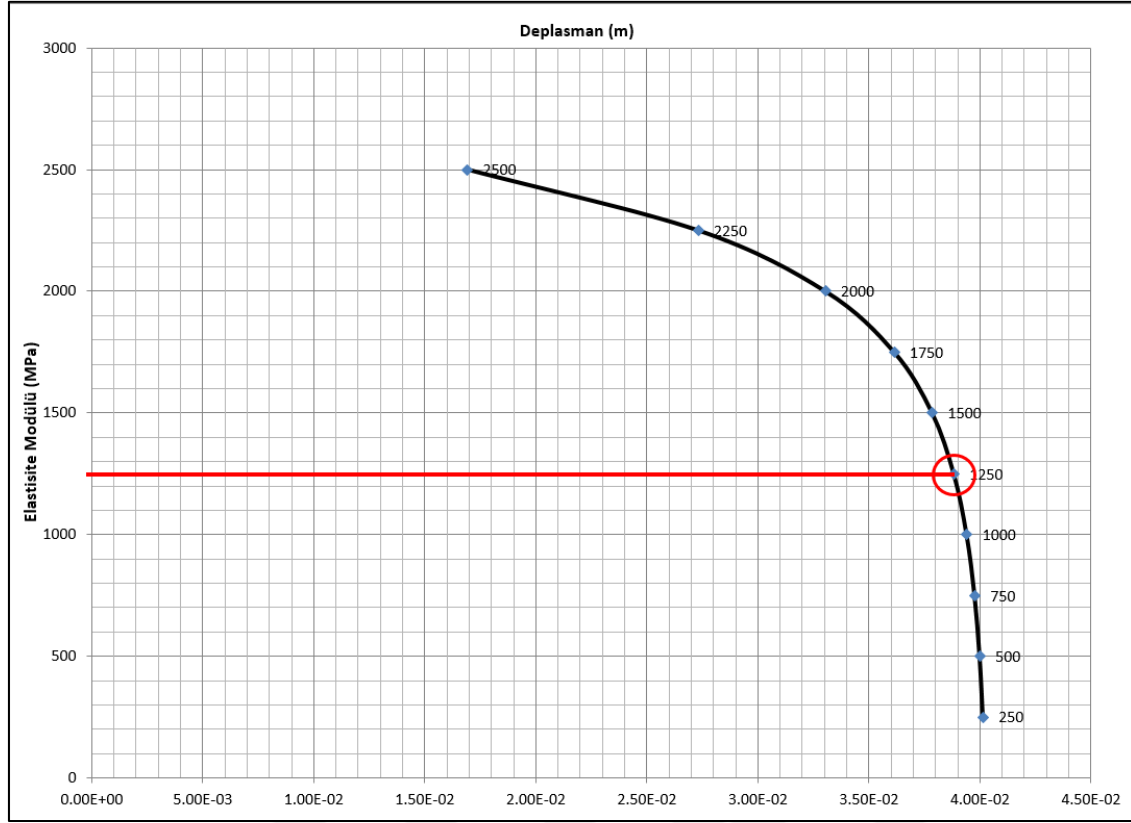
Şekil 4.6. 0+290 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

0+373 Kesiti (TİP III)

Çizelge 4.5. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	2500	100	0,00060891
2	2250	90	0,00098326
3	2000	80	0,0011894
4	1750	70	0,0013012
5	1500	60	0,0013629
6	1250	50	0,001398
7	1000	40	0,0014189
8	750	30	0,0014318
9	500	20	0,00144
10	250	10	0,0014452

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,001398 m olarak hesaplanmıştır.



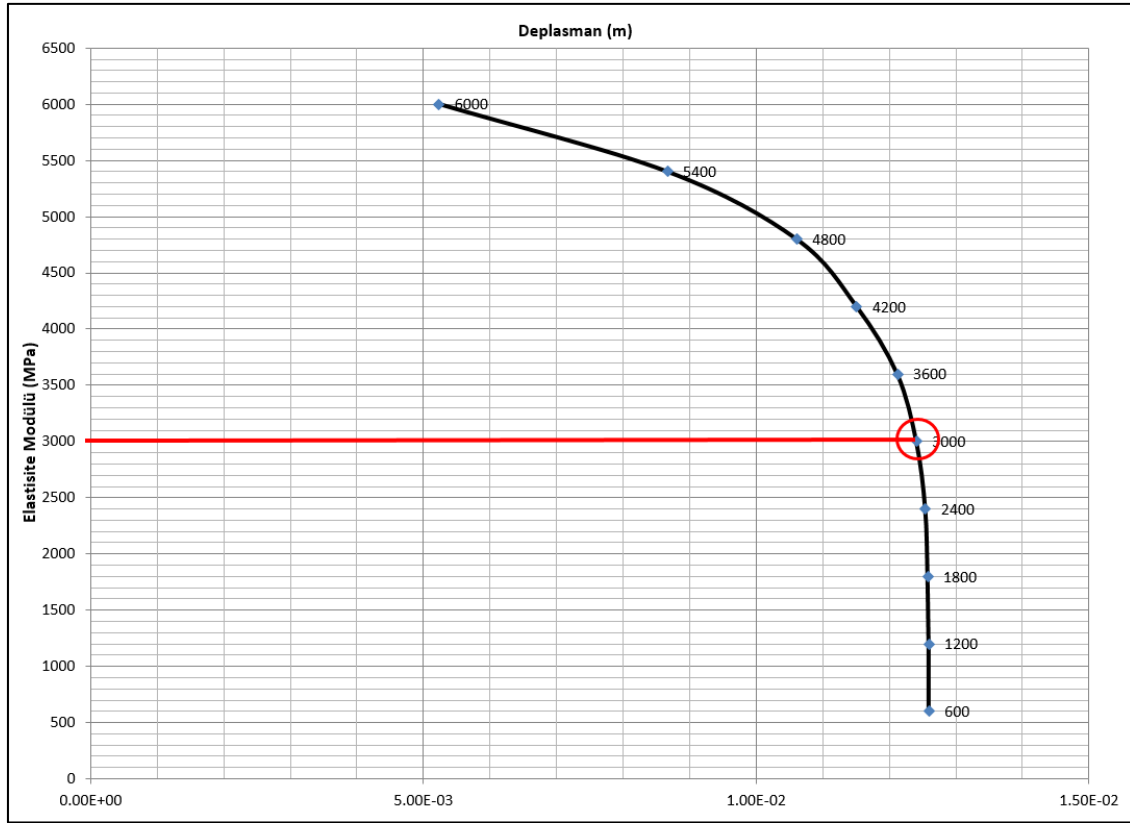
Şekil 4.7. 0+373 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

0+480 Kesiti (TİP II)

Çizelge 4.6. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	6000	100	0,00018847
2	5400	90	0,00031198
3	4800	80	0,00038193
4	4200	70	0,00041448
5	3600	60	0,00043647
6	3000	50	0,00044679
7	2400	40	0,00045161
8	1800	30	0,00045286
9	1200	20	0,00045345
10	600	10	0,00045352

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,00044679 m olarak hesaplanmıştır.



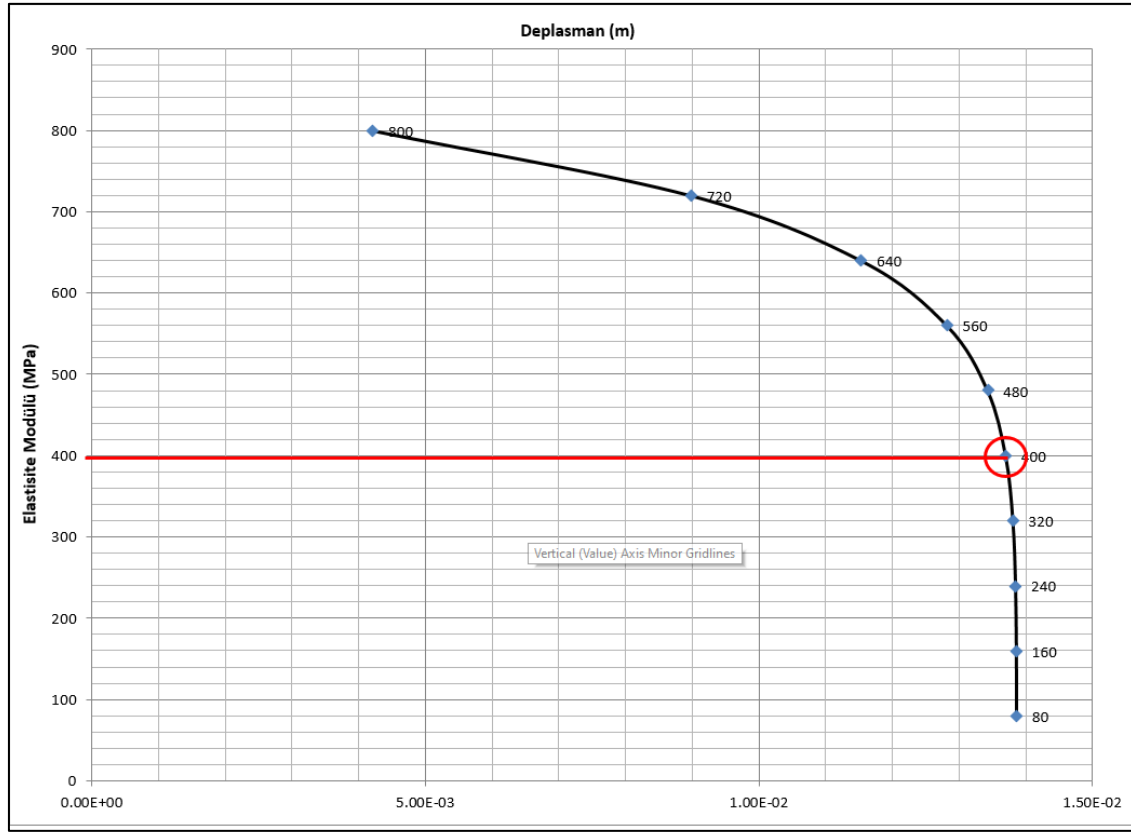
Şekil 4.8. 0+480 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

0+730 Kesiti (TİP IV)

Çizelge 4.7. Aşamalara göre tüneldeki deplasman değeri ve elastisite modülleri

Aşama No	Çekirdek Elastisite Modülü (Mpa)	E azaltma yüzdesi (%)	Taç Kısımında Meydana Gelen Düşey Deplasman (m)
1	800	100	0,00015162
2	720	90	0,00032344
3	640	80	0,00041521
4	560	70	0,00046153
5	480	60	0,00048346
6	400	50	0,00049315
7	320	40	0,00049709
8	240	30	0,00049853
9	160	20	0,00049897
10	80	10	0,00049907

Bu bölümdeki tünel taç kısmındaki final kapanma değeri 0,00049315 m olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.9. 0+730 Kesiti deplasman - kaya elastisite modülü eğrisi

4.3. Tasarım Yükleri

Yapılacak olan derivasyon tünelinin yapımı boyunca çeşitli aşamalarda farklı yükleme durumları meydana gelecektir. Farklı yükleme durumlarındaki tasarım yüklemeleri ve açıklamaları Çizelge 4.8’de özetlenmiştir.

Çizelge 4.8. Farklı yükleme durumları ve açıklamaları

Yükleme Durumu	Açıklama
Kaya Yüğü	Kaya yükleri esas olarak destek sisteminin kazının kapanmasına karşı koyması sonucu oluşur. Kaya yükleri aşağıda belirtilen sırayla destek sisteminin üzerinde oluşur.
Kaplamanın Zati Ağırlığı	Kaplamanın zati ağırlığının hesaplara etkitilmesi ya da edilmemesi program içerisinde ayarlanabilmektedir. Kaplama beton için 0,024 MN/m ³ olarak alınmıştır.
Derivasyon Aşaması Su Basıncı (İç Su Basıncı)	Tünel inşaatının tamamlanıp batordo taşkın kotuna kadar su tutulduğu durumdur. Bu durumda tünel içinde iç su basıncı vardır.
İşletme Aşaması Rezervuar Su Basıncı (Dış Su Basıncı)	Barajın su tutmasının tamamlandığı ve dış basınç olarak su basıncının eklendiği durumdur. Bu durum sadece memba için geçerli olacak bir durumdur
Dolgu Gövde Sürşarj Yüğü (Dış Yüğü)	Kullanılan hesap kesitlerinde baraj dolgusu altında kalan kesim için dolgu yüğü ilave edilmiştir.

Kaya yükleri esas olarak destek sisteminin kazının kapanmasına karşı koyması sonucu oluşur. Kaya yükleri aşağıda belirtilen sırayla destek sisteminin üzerinde oluşur.

- Kaya kütleinin başlangıç gerilmeleri altında bulunduğu kazı öncesi durum
- Tünel kazısı yapıldığı zaman kazının iç yüzeyinde ilk durumunda var olan gerilmeler sıfırlanır. Kazılan kesit çevresindeki dengelenmemiş gerilmelerden dolayı, kazı kapanmaya çalışır. Kazı ilerlemeden ve püskürtme betonu ile kaya bulonları yerleştirilmeden önce tünel aynası geçici olarak kazıyı destekler.
- Kazı ilerledikçe tünel aynasının püskürtme betonu ve kaya bulonu ile desteklenen bölümden uzaklaşması sebebiyle o bölümdaki destek görevi tamamen geçici destekleme sistemine kalır. Tünel kazısı kapanmaya karşı koymaya çalışır. Belli bir süre sonra destekleme sistemi ve kazı dengeye ulaşır. Bu denge durumunda tünel destek sisteminde kaya basıncı oluşur.

- Tünel kaplaması yapıldıktan sonra kaya kütlesi destekleme sistemi ile dengelendiğinden dolayı kaplamaya yük aktarılmaz.

4.4. Yük Kombinasyonları

Tünel Kaplama tasarımında kullanılacak yük faktörleri “EM-1110-2-2901”de sunulan Tablo 9-1’e uygun olarak seçilmiştir.

Kaplama tasarımı için yük kombinasyonları genel formülü aşağıdaki gibidir.

$$U = H_f \times (C_0, C_1 \times \text{Yük}) \quad (2.10)$$

Yukarıdaki denklemde H_f hidrolik faktör için katsayıdır. Yapılan analizlerde elde edilen kesit tesirleri hidrolik faktör H_f (1,30-1,65) ve yük katsayısı C_0, C_1 (1,40) ile çarpılarak büyütülmüştür.

Derivasyon ve işletme durumları için $H_f = 1,30$ Basınç $H_f = 1,65$ Çekme $C_0, C_1 = 1,40$ olarak alınmıştır.

Hesap kesitinin tamamının eksenel çekme kuvvetlerinin etkisinde olduğu durumlarda $H_f = 1,65$ ’tir. Kesitin herhangi bir bölgesinde basınç etkilerinin görülmesi durumunda $H_f = 1,30$ ’dur. Ayrıca ilk yükleme ve onarım durumlarında kesit tesirleri 0,75 katsayısı ile çarpılmıştır.

4.5. Tünel Üzerine Etkiyen Yükler

Vaka analizi özelinde incelenen derivasyon tüneline; derivasyon aşaması taşkın su kotu:165,50m, normal işletme su kotu 244,54m'dir. Derivasyon aşaması durumundaki iç basınç, tünel eksen kotu ile memba batardosu taşkın kotu arasındaki hidrostatik kuvvet olarak tünel betonarme kaplamasına iç yük basıncı olarak etkitilmiştir. Baraj normal su seviyesi (NSS) ve tünel eksen kotu arasındaki hidrostatik kuvvet tünel kaplamasına dış yük olarak etkitilmiştir. Buna göre her bir kesitteki, derivasyon aşaması, inşaat sonu ilk yükleme, işletme ve onarım durumu için ayrı ayrı hesaplanan hidrostatik yükler aşağıdaki çizelgelerde sunulmuştur.

Çizelge 4.9. Derivasyon tüneli yükleme durumlarına göre oluşan basınç kuvvetleri

Yükleme Durumu	KM	İç Basınç (MN/m ²)	Dış Basınç (MN/m ²)
Derivasyon	0+024	0.04414	-
	0+078	0.04414	
	0+158	0.04905	
	0+290	0.05886	
	0+373	0.06376	
	0+480	0.06376	
	0+730	0.09319	
İnşaat Sonu	0+024	-	-
	0+078		
	0+158		
	0+290		
	0+373		
	0+480		
	0+730		
İlk Yükleme	0+024	0.81500	
	0+078	0.81500	
	0+158	0.82000	
	0+290	0.83000	
İşletme	0+024	0.79951	0.79951
	0+078	0.79951	0.79951
	0+158	0.80442	0.80442
	0+290	0.81423	0.81423
Onarım	0+024	-	0.79951
	0+078		0.79951
	0+158		0.80442
	0+290		0.81423
	0+373		0.81913

4.6. Destek Sistemi Uygulanması ve Oluşan Deplasmanların Hesabı

Tünel hesaplamaları yapılırken, kaya sınıflama sistemlerine göre 4 ayrı destek kategorisi belirlenmiş ve bu kategorilere ait destek önerileri ile tünel güzergahı boyunca öngörülen aralıklar özelinde analizler gerçekleştirilmiştir.

Kaya sınıflarına göre ayrı ayrı belirlenen kazı destek tipleri sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler ile tahkik edilmiştir. Sonlu elemanlar analizleri Phase2 paket programı kullanılarak yapılmıştır. Bu sayede, aşamalı kazı ve destekleme yöntemine uygun olarak değişen gerilme ve deplasman dağılımları elde edilmiştir.

Çizelge 4.10. Farklı kaya sınıflarına göre belirlenen kazı destek sistemleri

	Tip II	Tip III	Tip IV	Tip V
Kaya Bulonu	φ26, L=3 m, aralık 2.00 m	φ26, L=3 m, aralık 2.00 m	φ26, L=3 m, aralık 1.50 m	φ26, L=3 m aralık 1.00 m
Püskürtme Beton	10 cm	10 cm	16 cm	16 cm
Çelik İksa	-	2.00 m aralıklı IPN160	1.50 m aralıklı IPN160	1.00 m aralıklı IPN160
Hasır Çelik	1x Q (257/257)	2x Q (257/257)	2x Q (257/257)	2x Q (257/257)
Nihai Kaplama	35 cm	35 cm	35 cm	35 cm

Kazı destek elemanları içerisinde yer alan kaya bulonları, kaya ile enjeksiyon arasında tam aderans sağlandığı durumu (fully bonded) temsil edecek şekilde modellenmiştir. Püskürtme beton kiriş olarak (beam) modellenmiştir Kesit tesirlerinde ise çekme kuvvetleri (-) değerler, basınç kuvvetleri ise (+) değerleri ile ifade edilmiştir.

Tünelin tamamını tarif edebilmek için 7 adet kesit kullanılmıştır. Bunlar “0+024” ,”0+078”, “0+158”, “0+290”, “0+373”, “0+480” ve “0+730” kesitleridir. Farklı tiplerdeki destek sisteminin tahkiki için oluşturulan sonlu elemanlar modelleri aşağıda verilmektedir. Yapılan analizlerde öngörülen kaya parametreleri kullanılmış, tünel kazısı sonrasındaki deplasman durumu incelenmiştir.

Analizler, 4 aşamadan oluşmaktadır:

Aşama 1 - Kazı öncesi başlangıç gerilme durumu

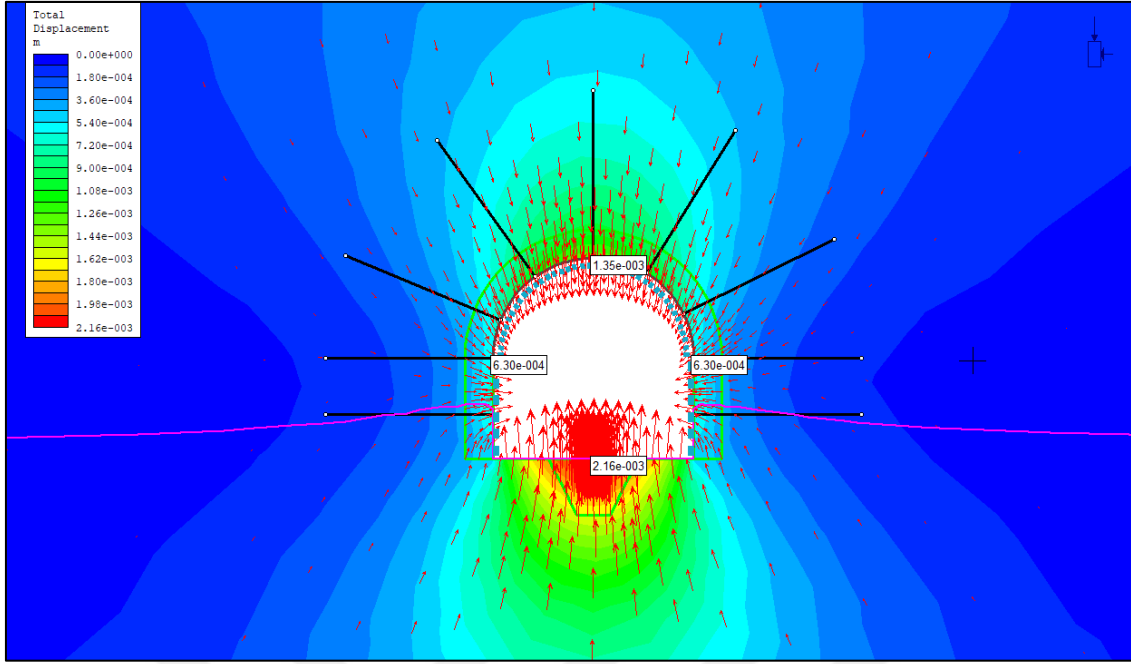
Aşama 2 - Kazı çevresinin örselenmesi

Aşama 3 - Kazı bölgesinin gevşetilmesi

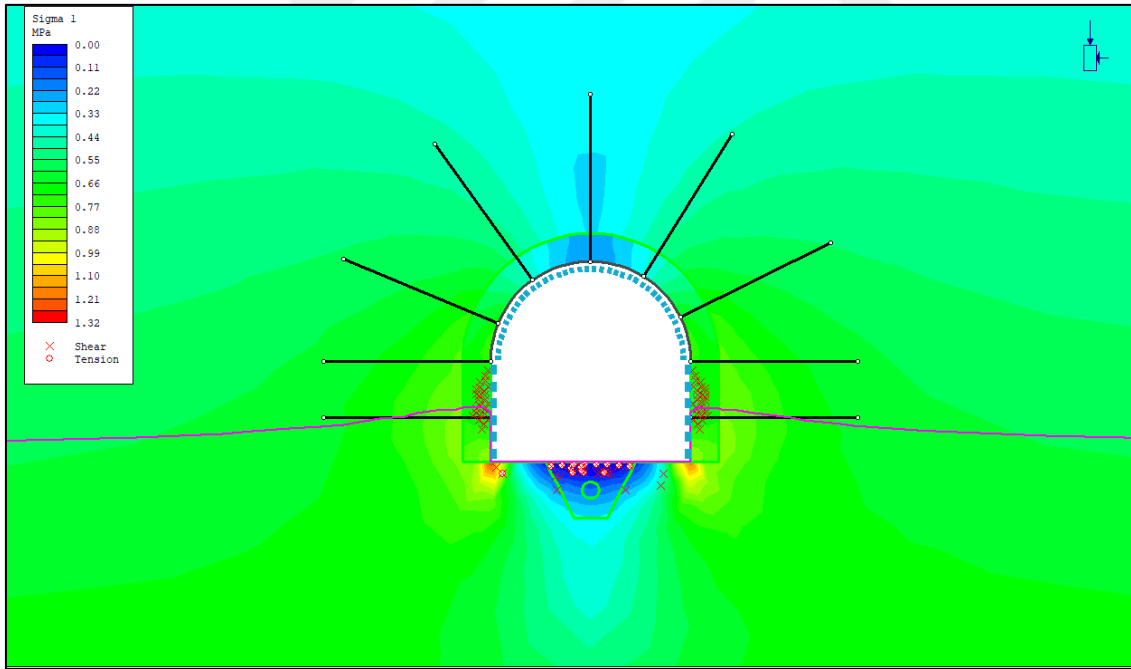
Aşama 4 - Tünel kazısının yapılması ve destek sisteminin uygulanması

4.7. Kazı Destek Sistemi Analizi ve Sonuçları

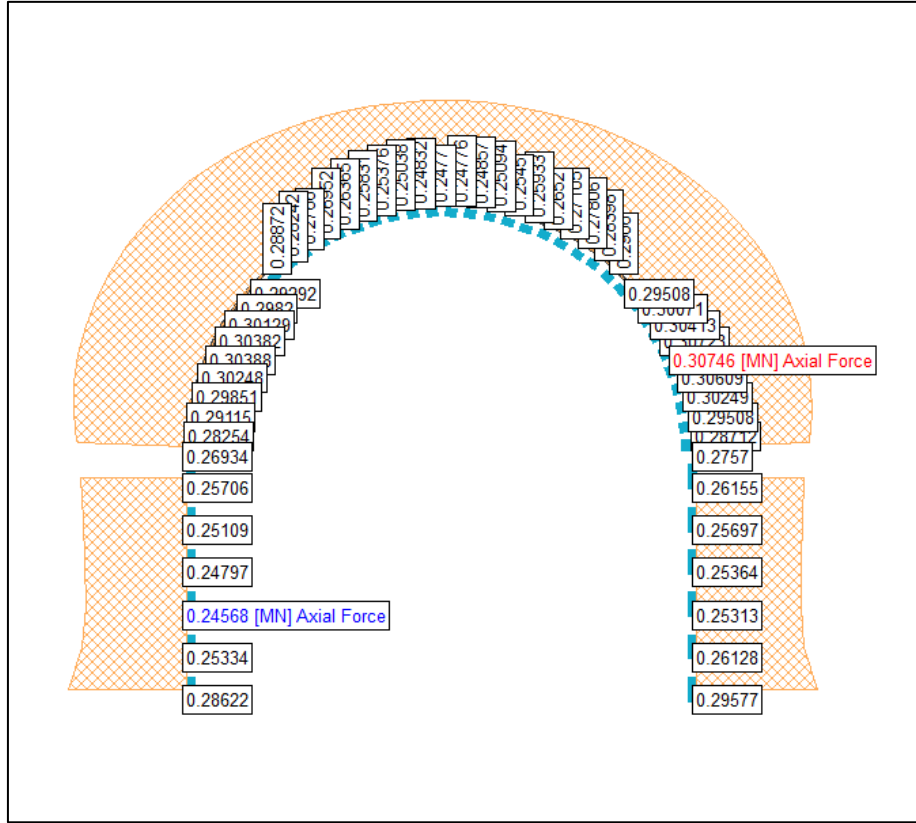
Kazı destek sistemi analizlerinde 4 aşamalı sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. İlk 2 aşamada, başlangıç gerilme durumu ve kazı nedeniyle kazı çevresinde oluşacak örselenme dikkate alınmıştır. 3. aşamada kazı bölgesi gevşetilmiş; 4. aşamada ise destek sistemleri uygulanmıştır. Analizde kullanılan Phase2 modeli ve analiz çıktıları aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.



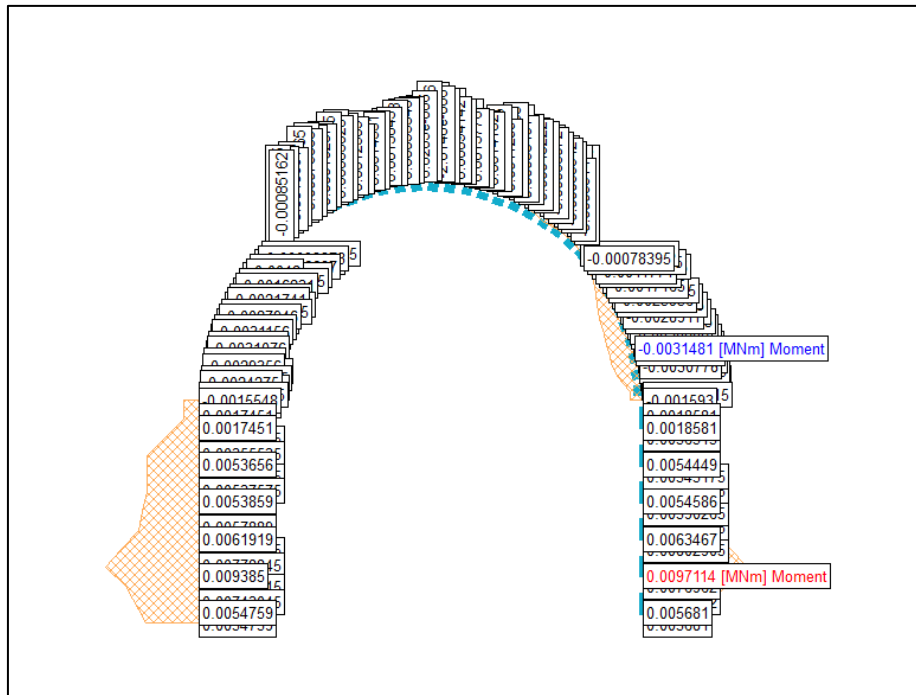
Şekil 4.12. 0+024 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



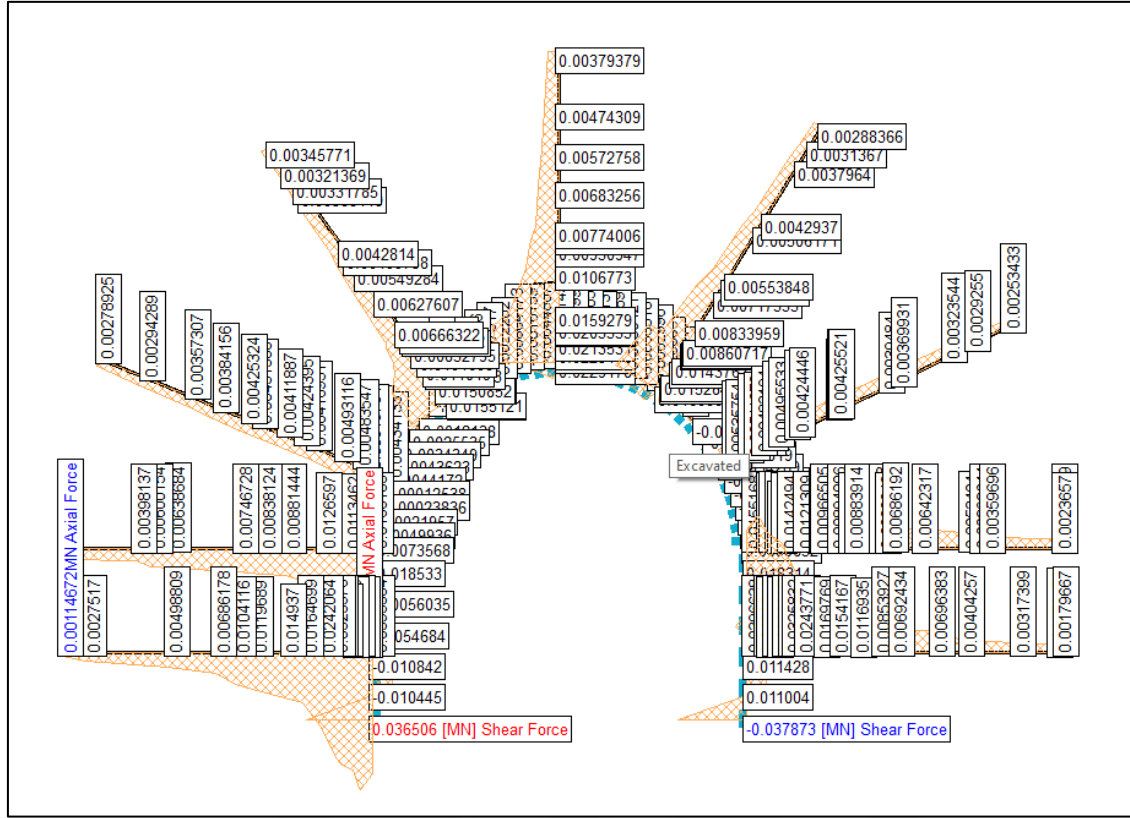
Şekil 4.13. 0+024 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar



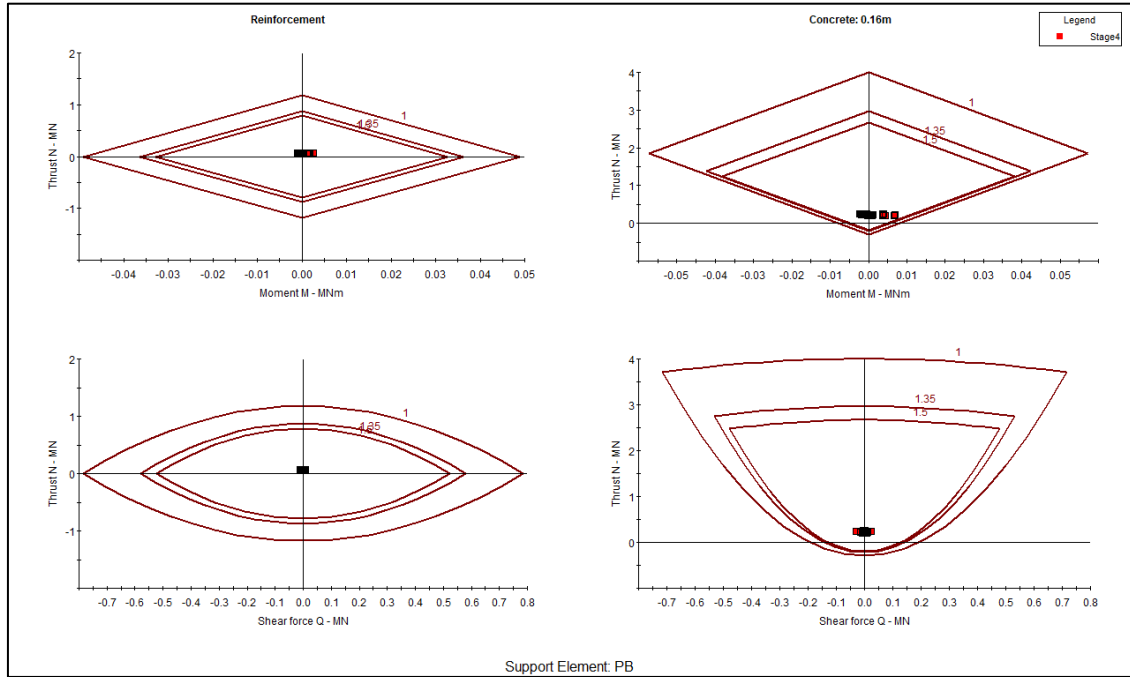
Şekil 4.14. 0+024 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı



Şekil 4.15. 0+024 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı

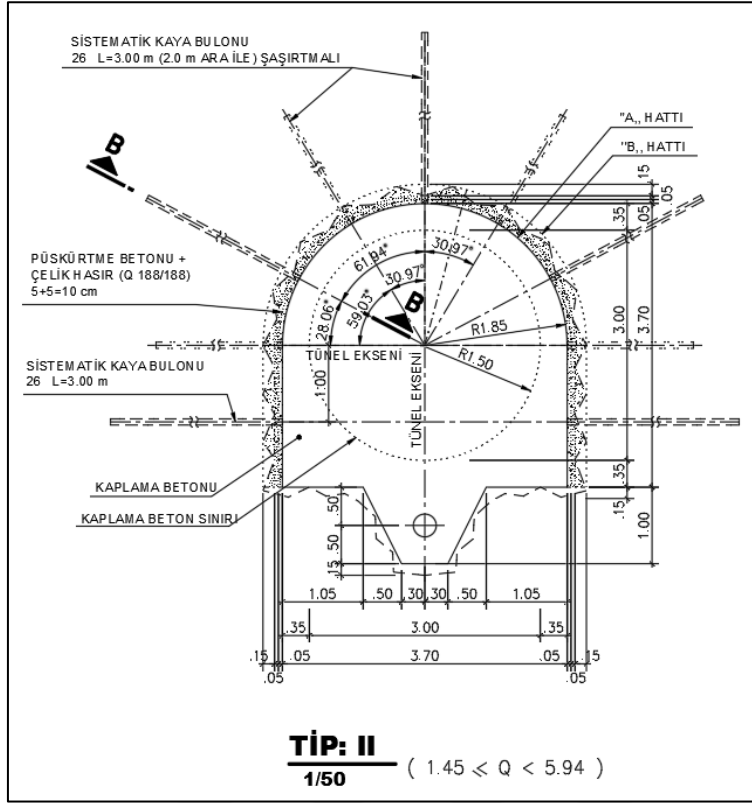


Şekil 4.16. 0+024 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı

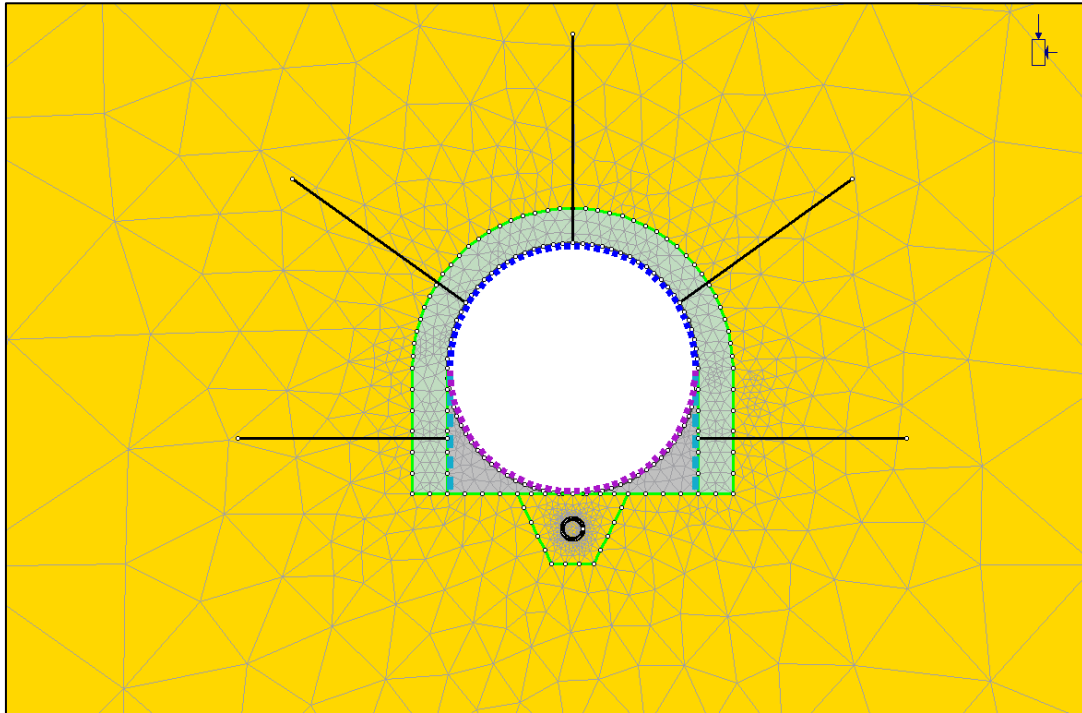


Şekil 4.17. 0+024 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı

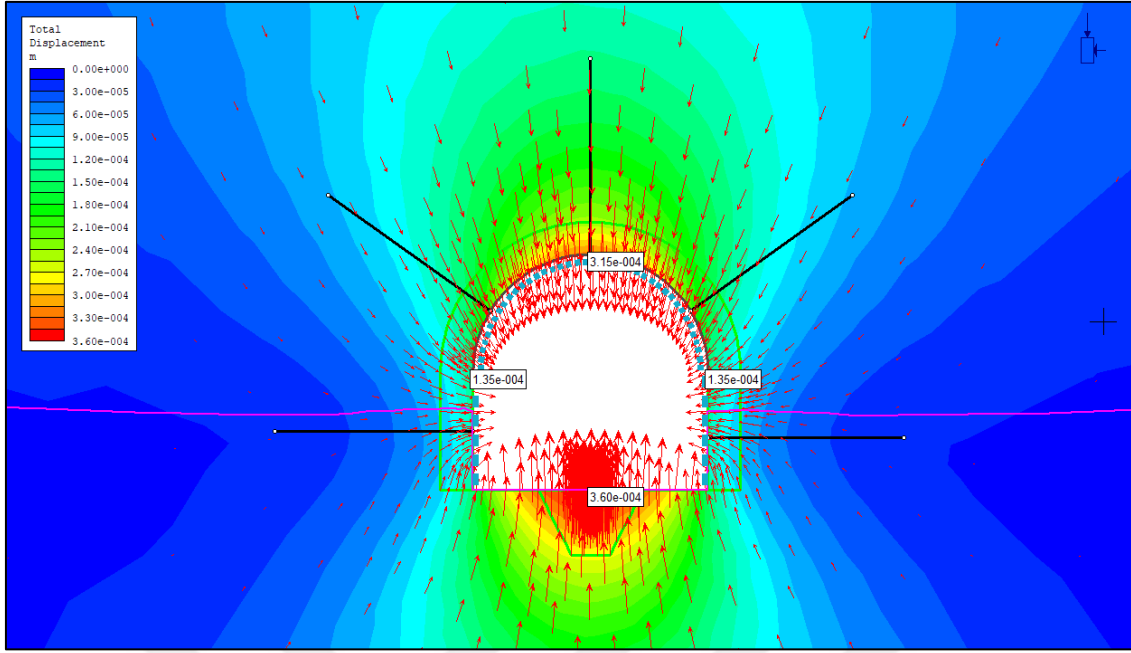
4.7.2. 0+078 Kesiti (TİP II)



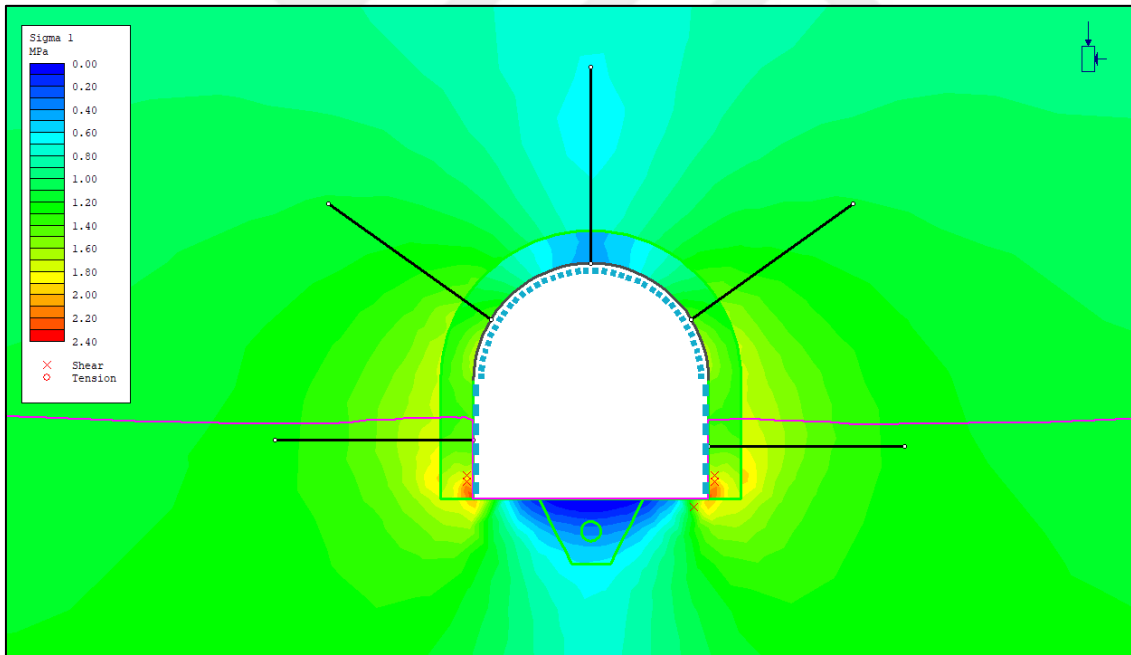
Şekil 4.18. 0+078 Kesiti kazı destek sistemi (Tip II)



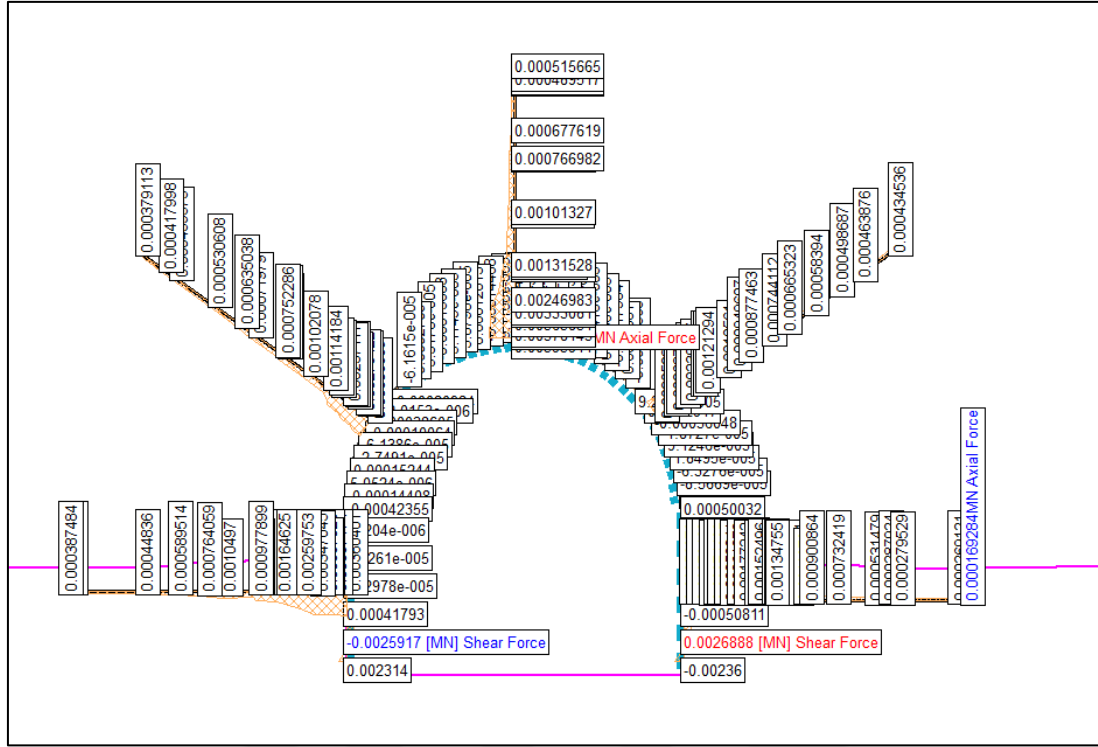
Şekil 4.19. 0+078 Kesiti oluşturulan Phase2 modeli



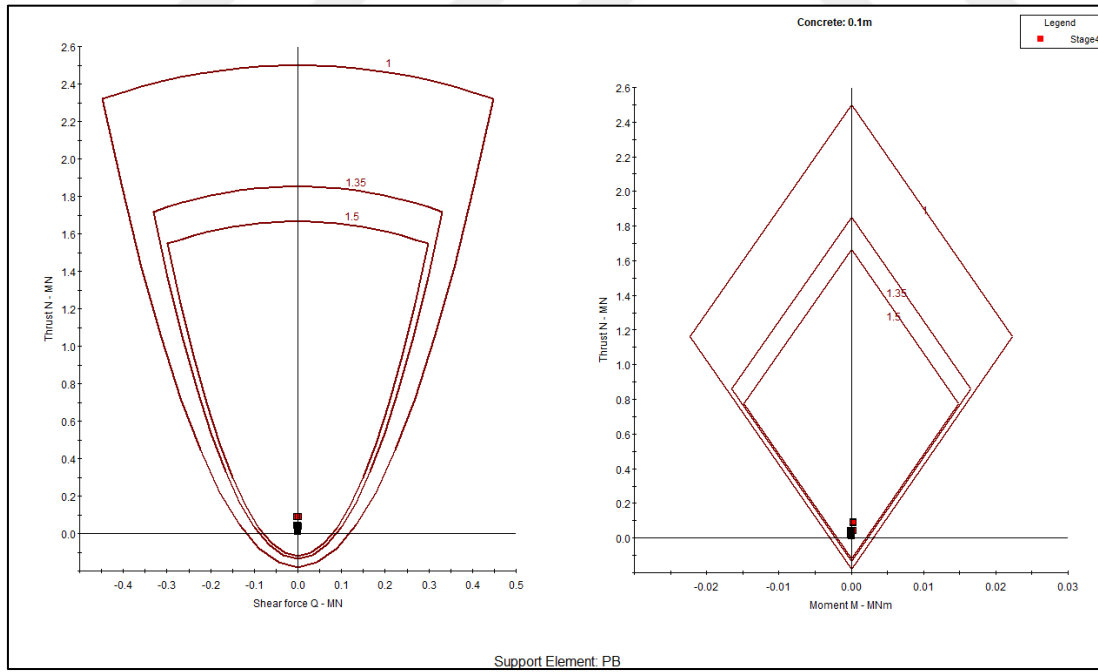
Şekil 4.20. 0+078 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



Şekil 4.21. 0+078 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar

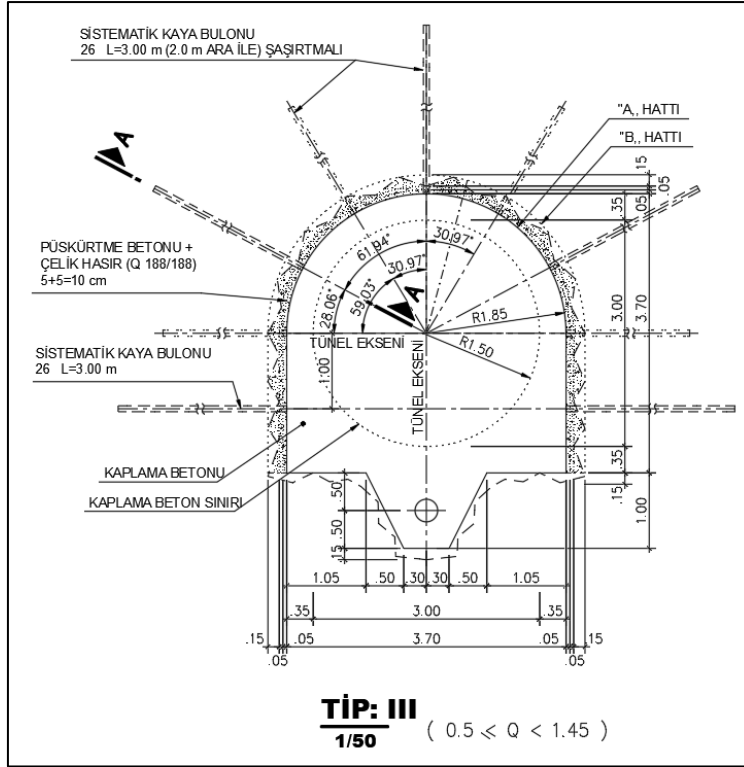


Şekil 4.24. 0+078 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı

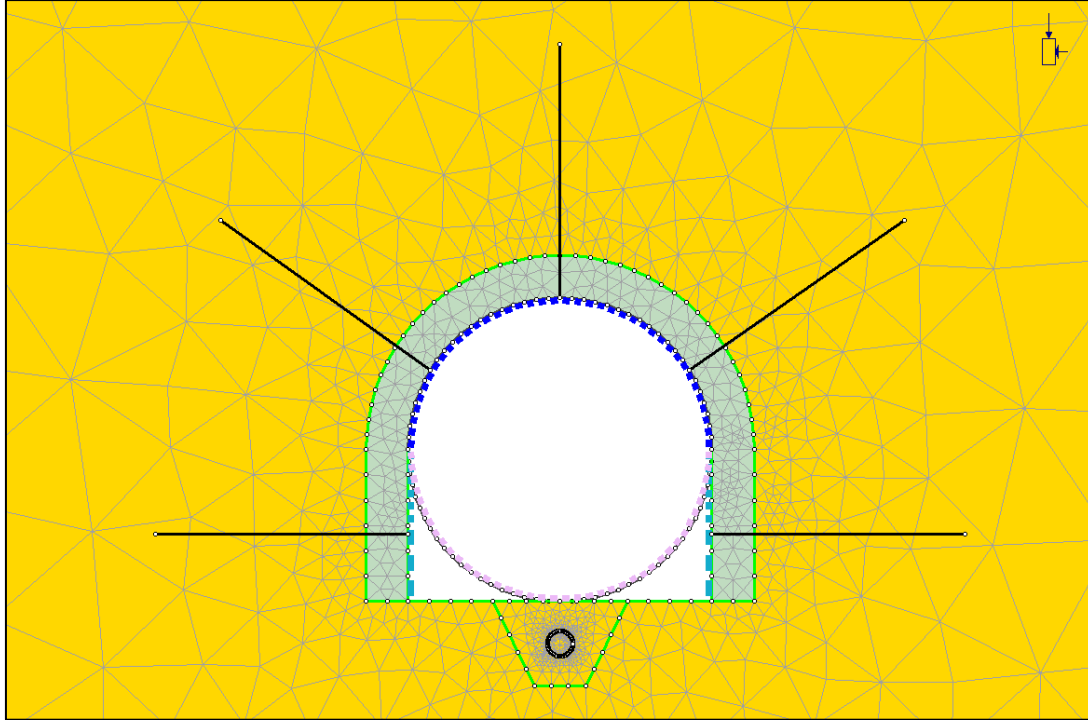


Şekil 4.25. 0+078 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı

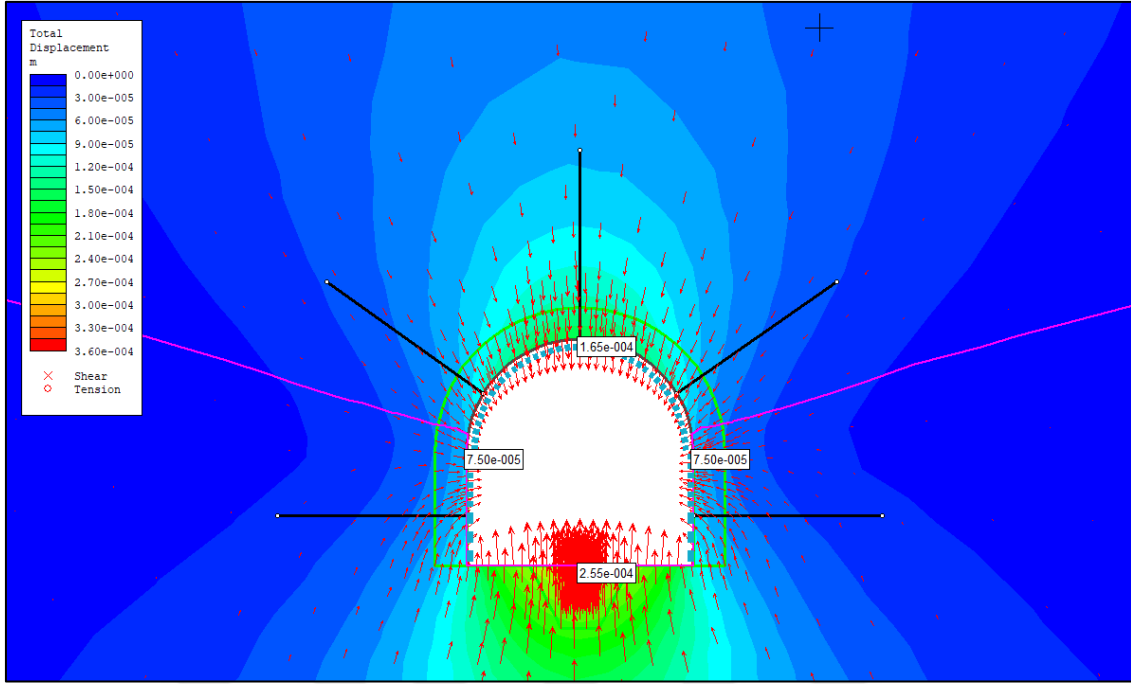
4.7.3. 0+158 Kesiti (TİP III)



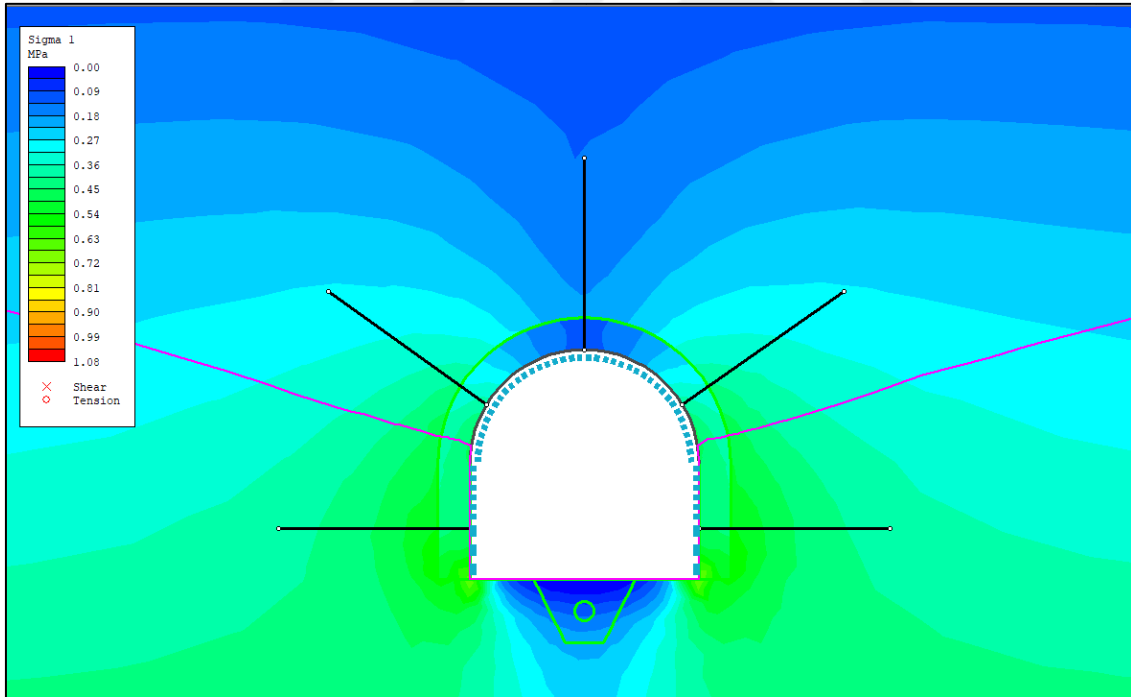
Şekil 4.26. 0+158 Kesiti kazı destek sistemi (Tip III)



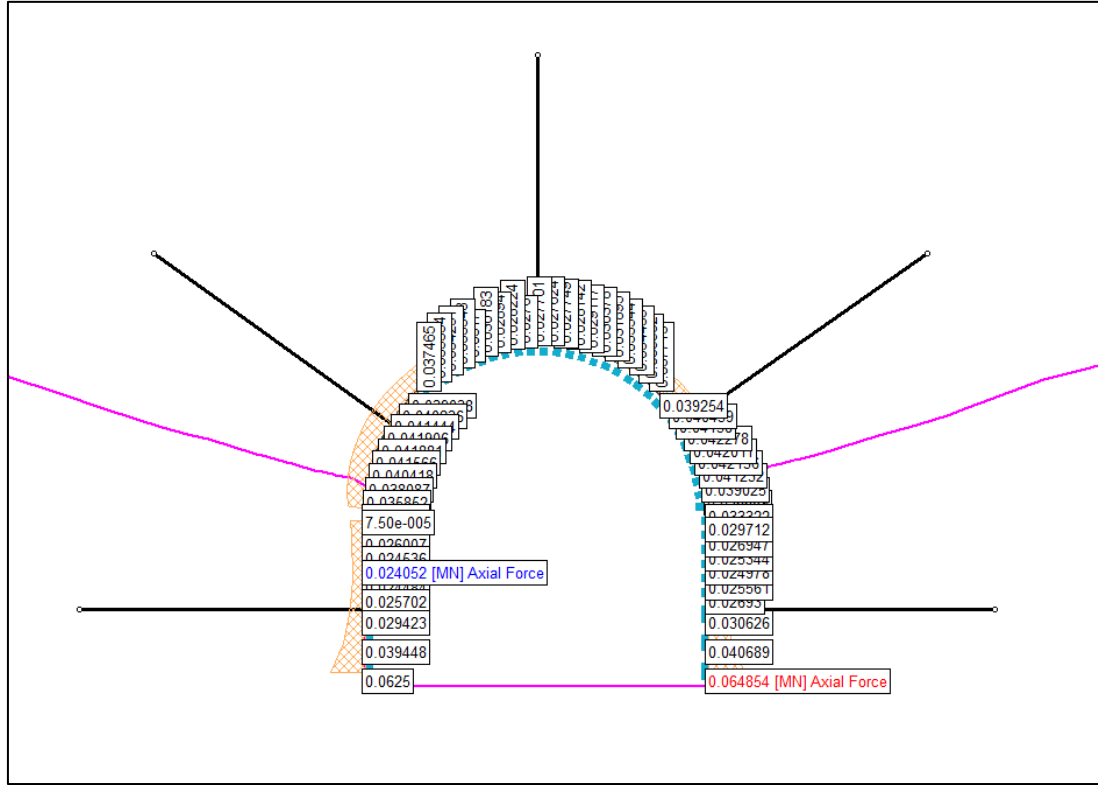
Şekil 4.27. 0+158 Kesiti oluşturulan Phase2 modeli



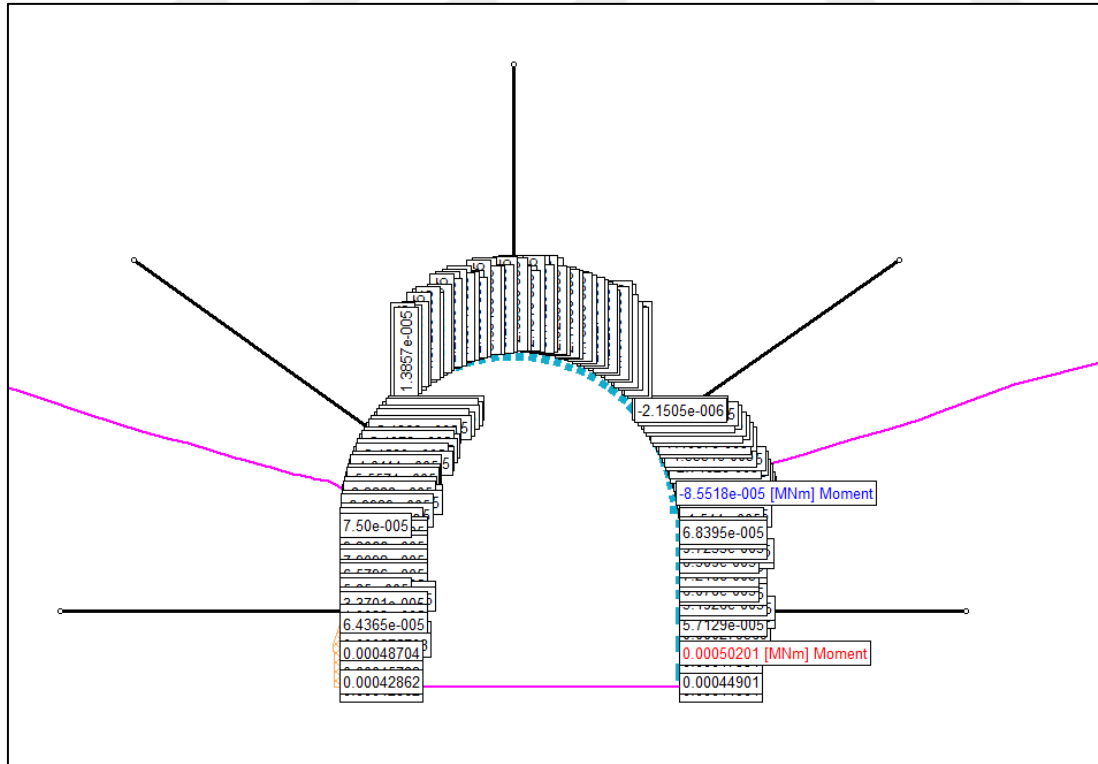
Şekil 4.28. 0+158 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



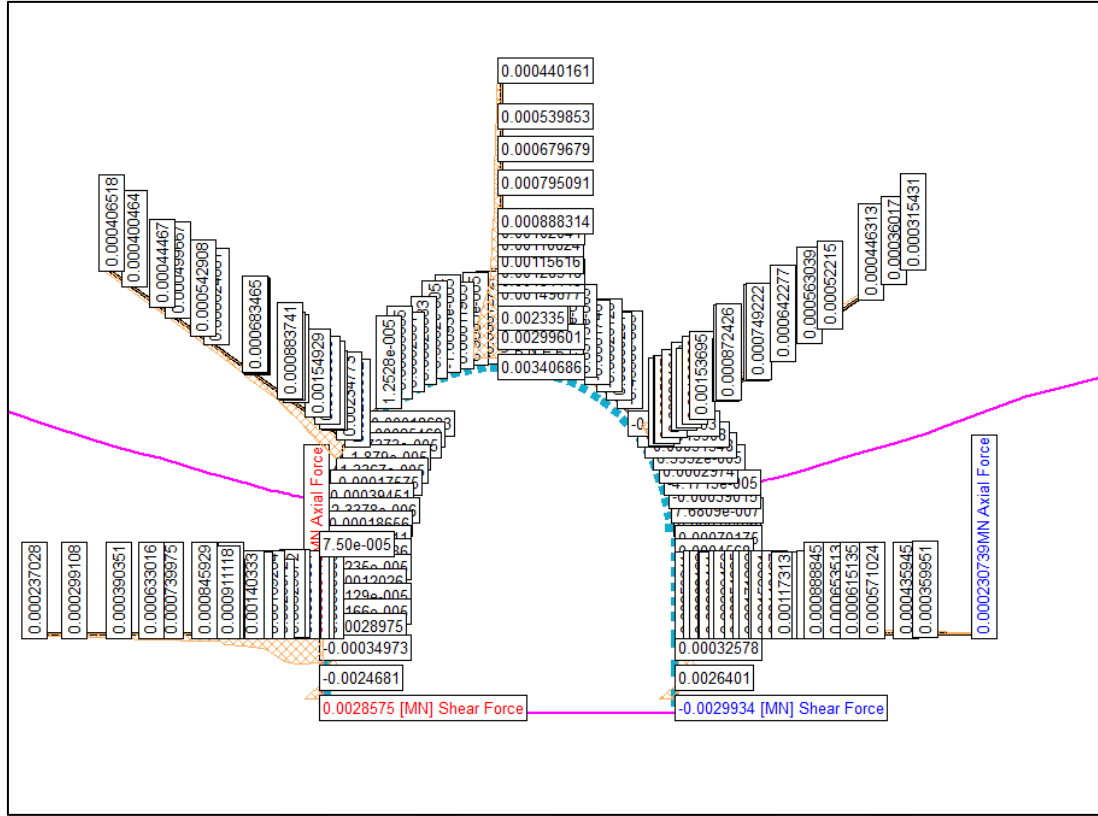
Şekil 4.29. 0+158 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar



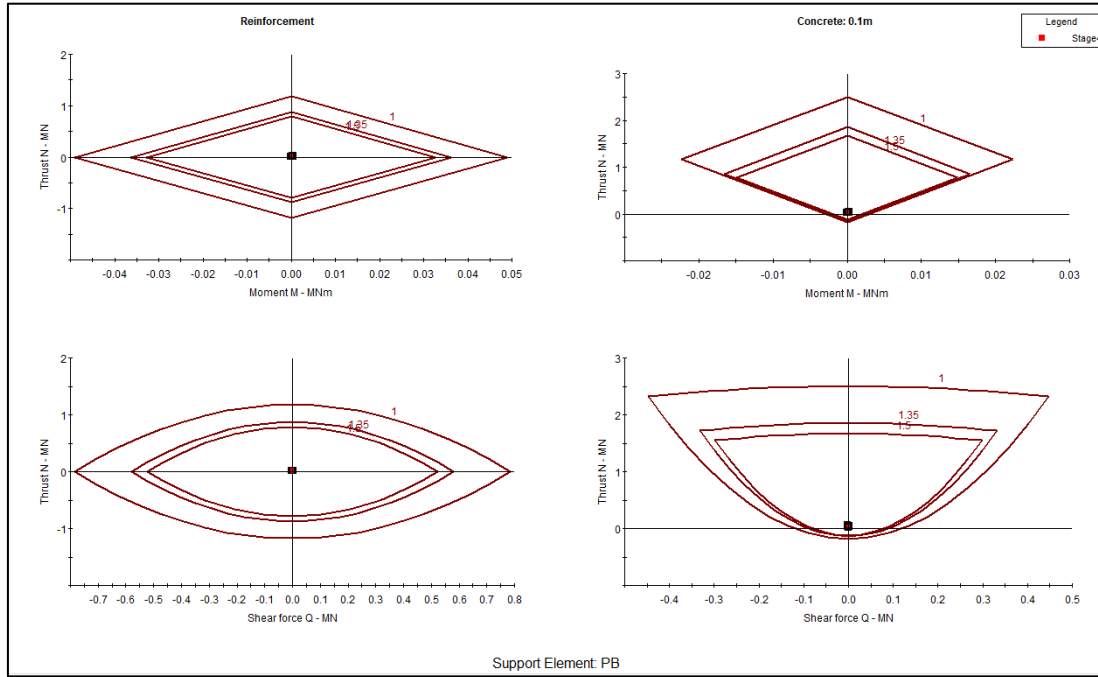
Şekil 4.30. 0+158 Kesiti püskürtme betona etki eden aksiyel kuvvet dağılımı



Şekil 4.31. 0+158 Kesiti, püskürtme betona etki eden moment dağılımı

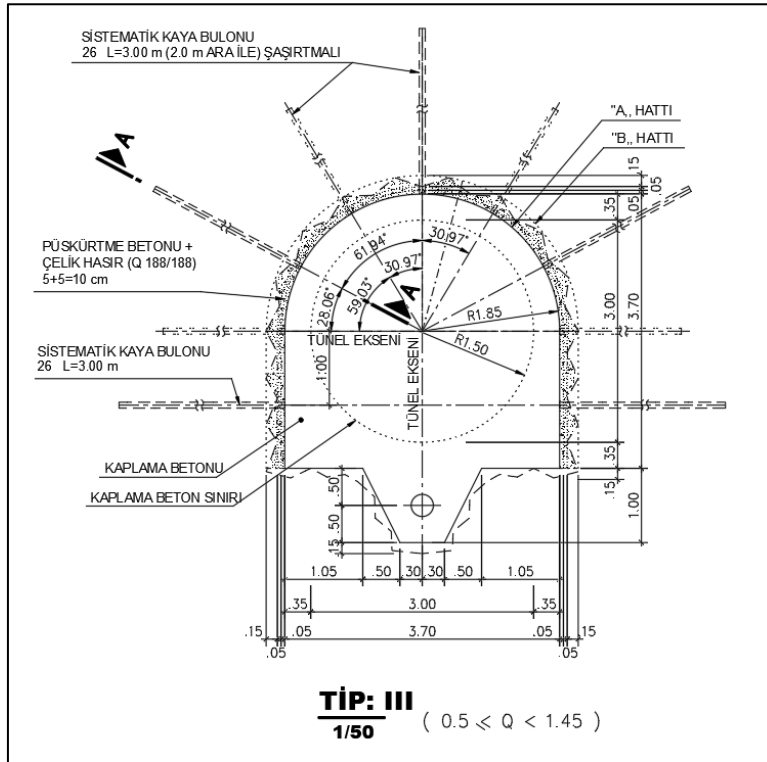


Şekil 4.32. 0+158 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı

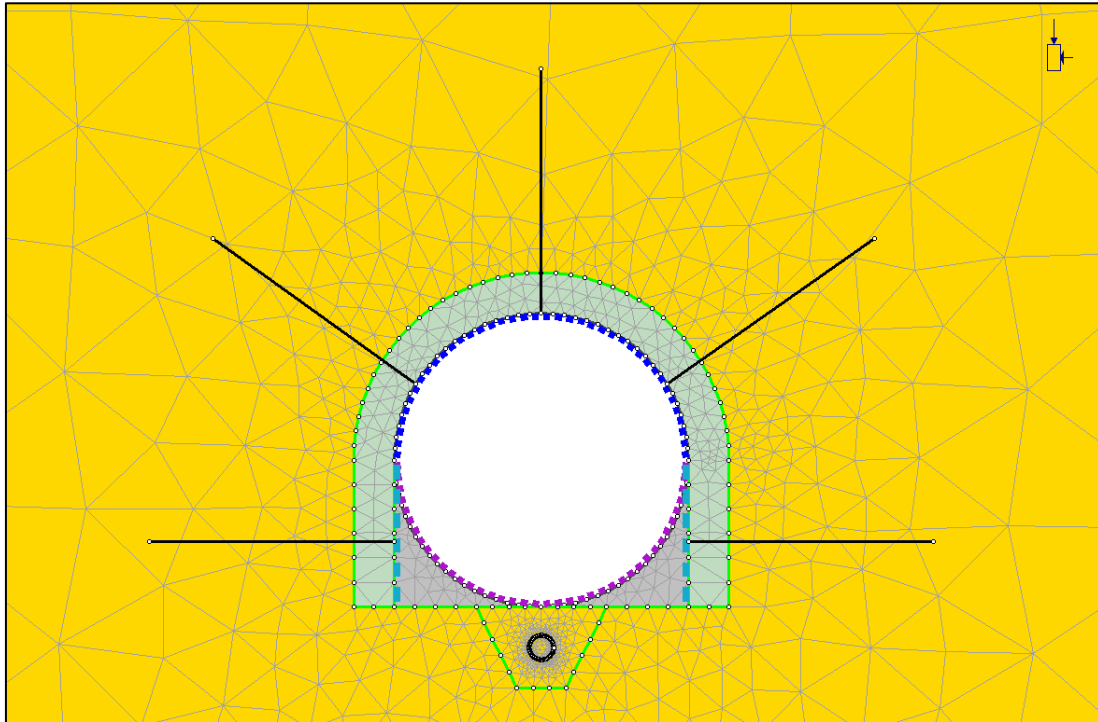


Şekil 4.33. 0+158 Kesit destekleme etkileşim diyagramı

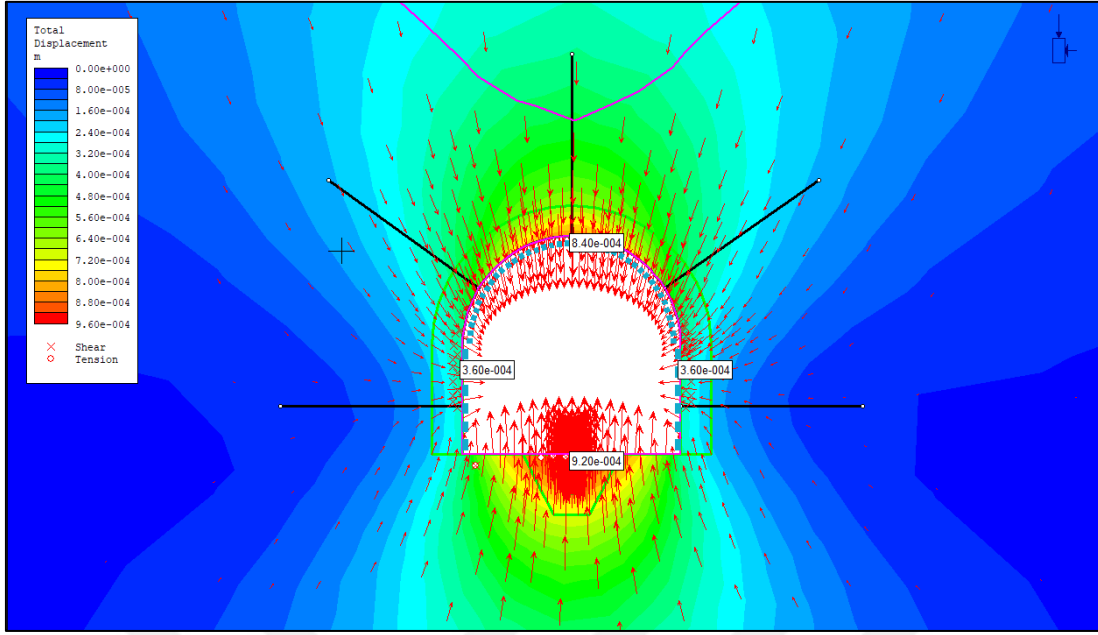
4.7.4. 0+290 Kesiti (TİP III)



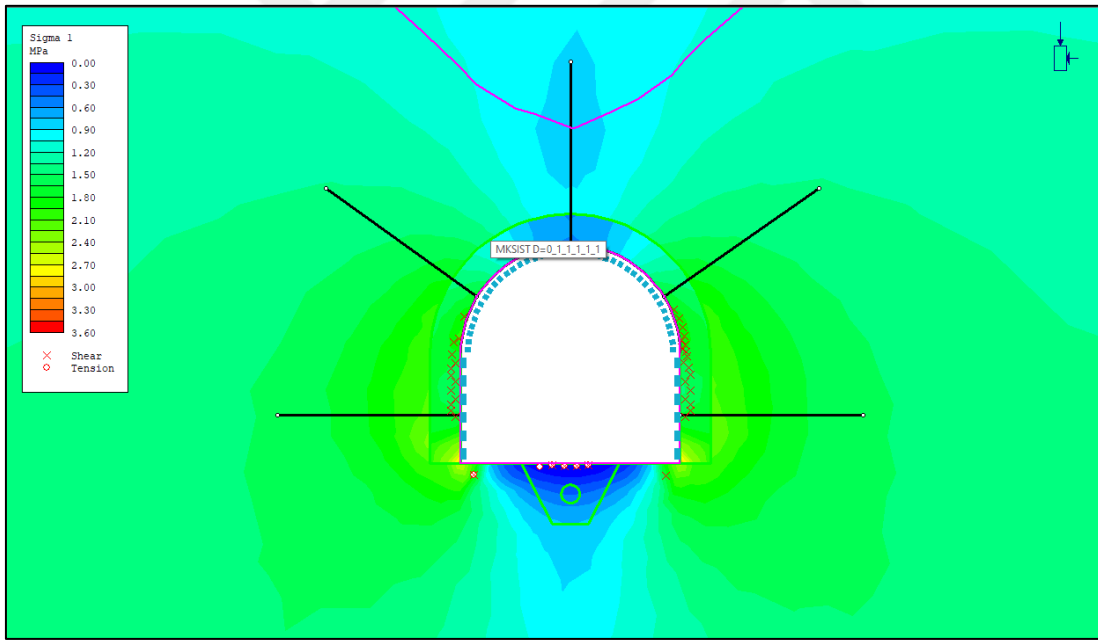
Şekil 4.34. 0+290 Kesiti kazı destek sistemi (Tip III)



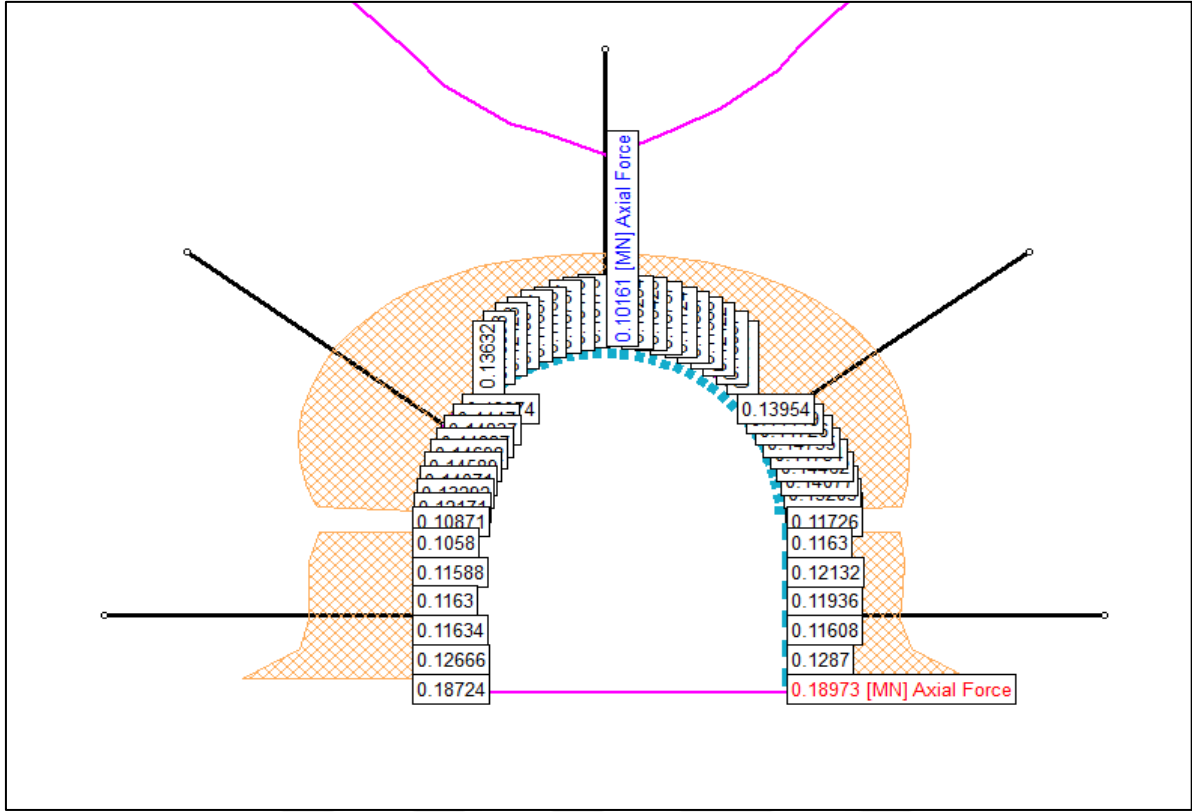
Şekil 4.35. 0+290 Kesiti oluşturulan Phase2 modeli



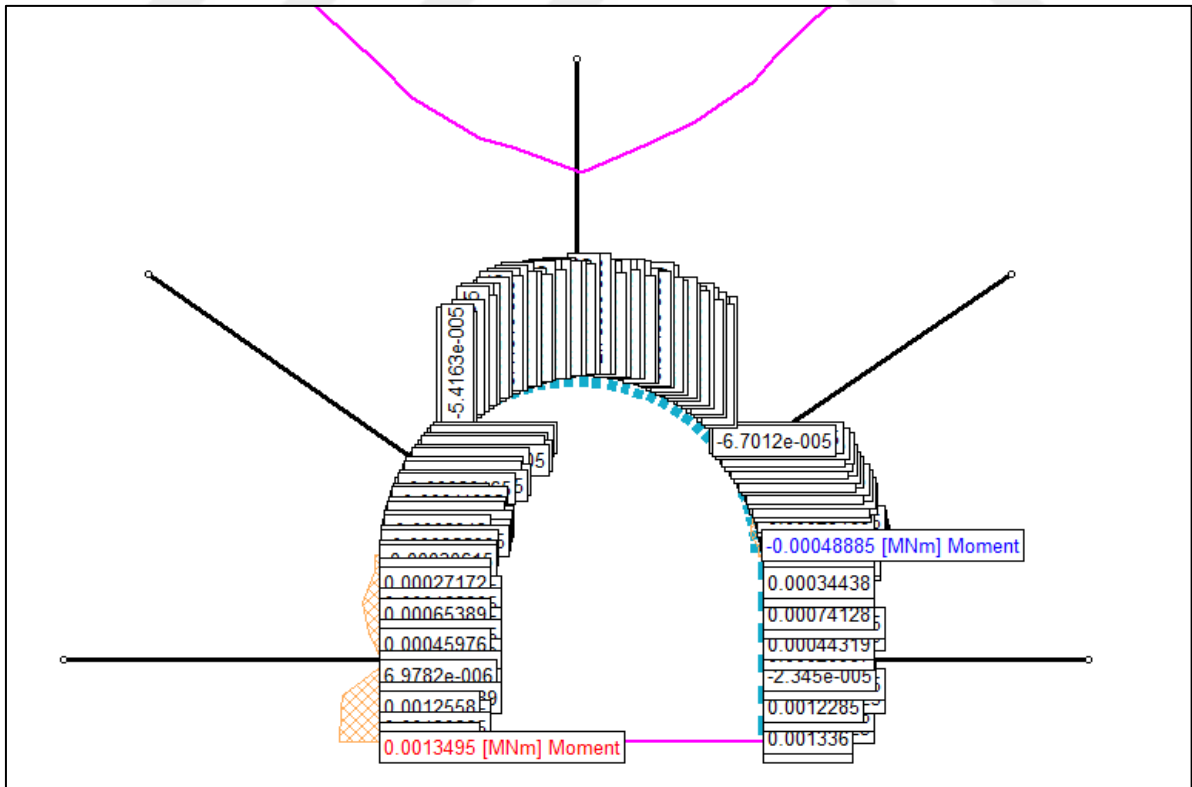
Şekil 4.36. 0+290 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



Şekil 4.37. 0+290 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar

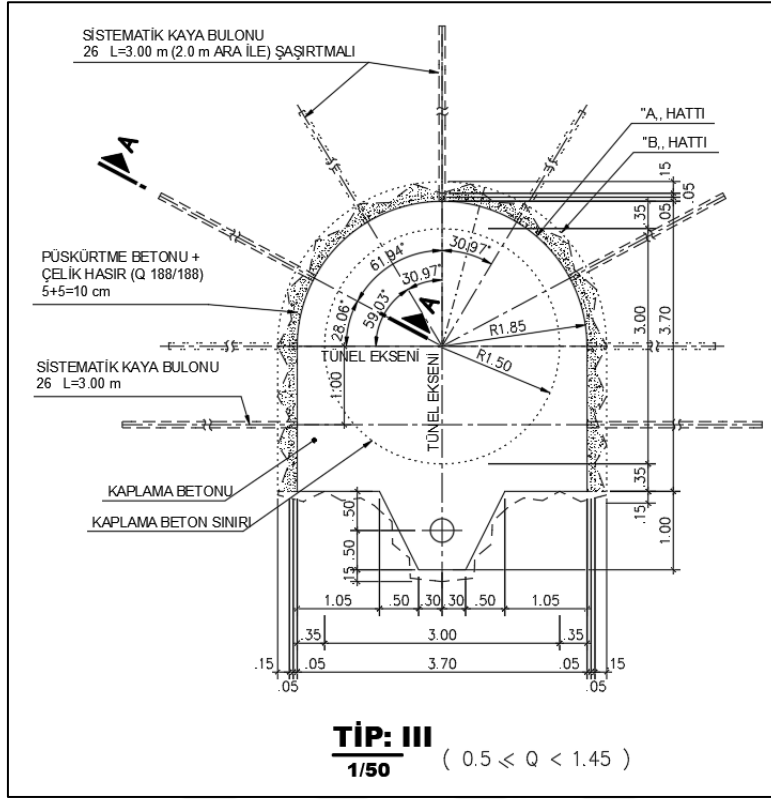


Şekil 4.38. 0+290 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı

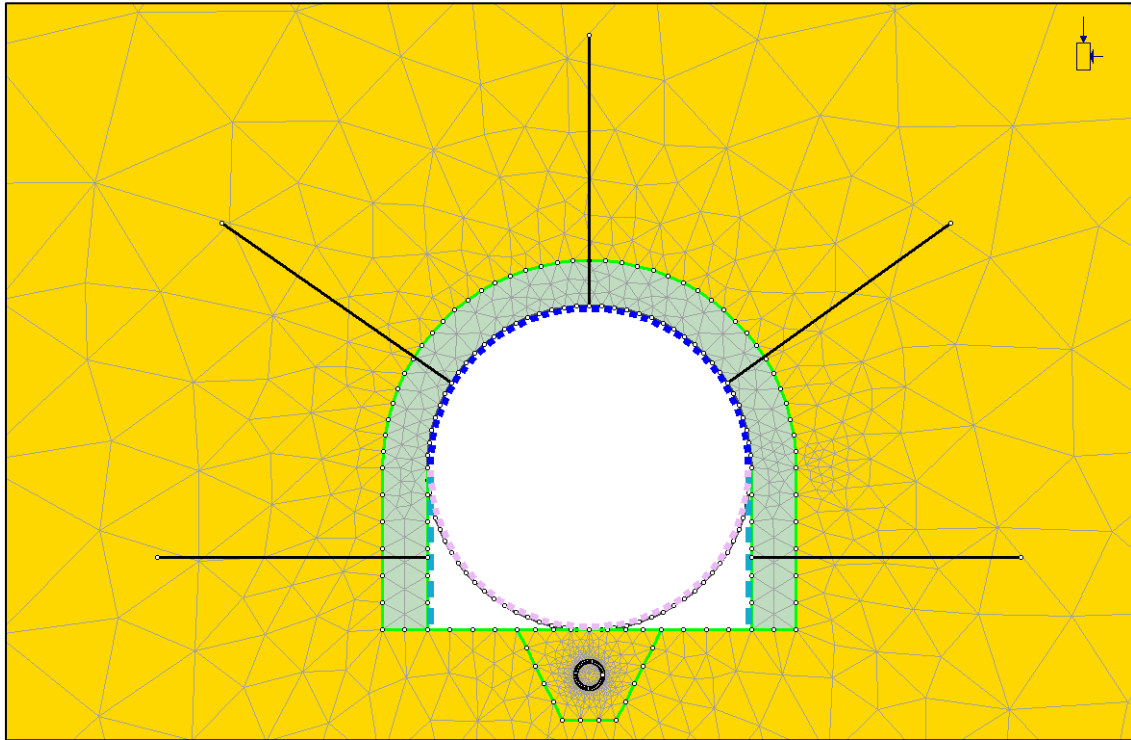


Şekil 4.39. 0+290 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı

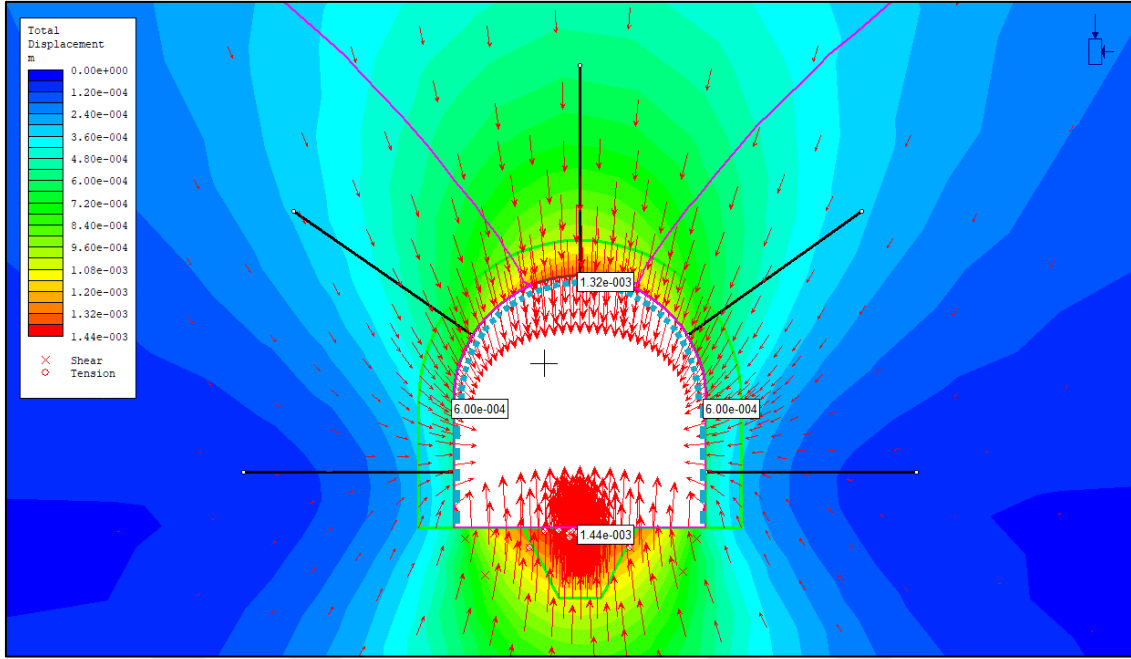
4.7.5. 0+373 Kesiti (TİP III)



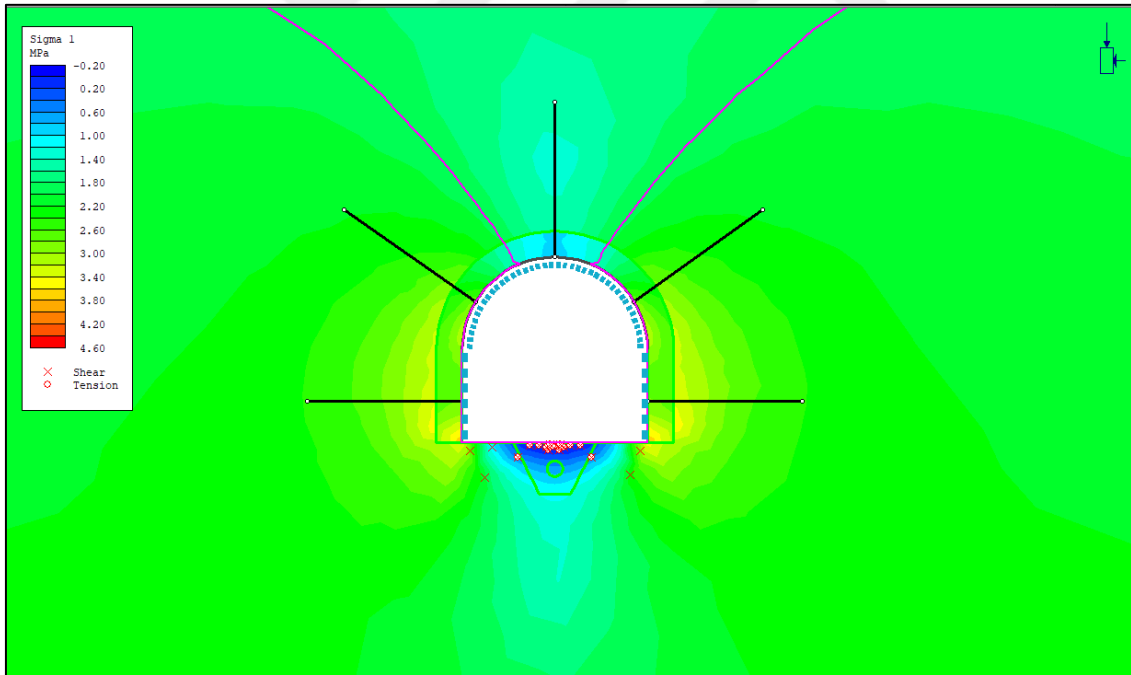
Şekil 4.42. 0+373 Kesiti kazı destek sistemi (Tip III)



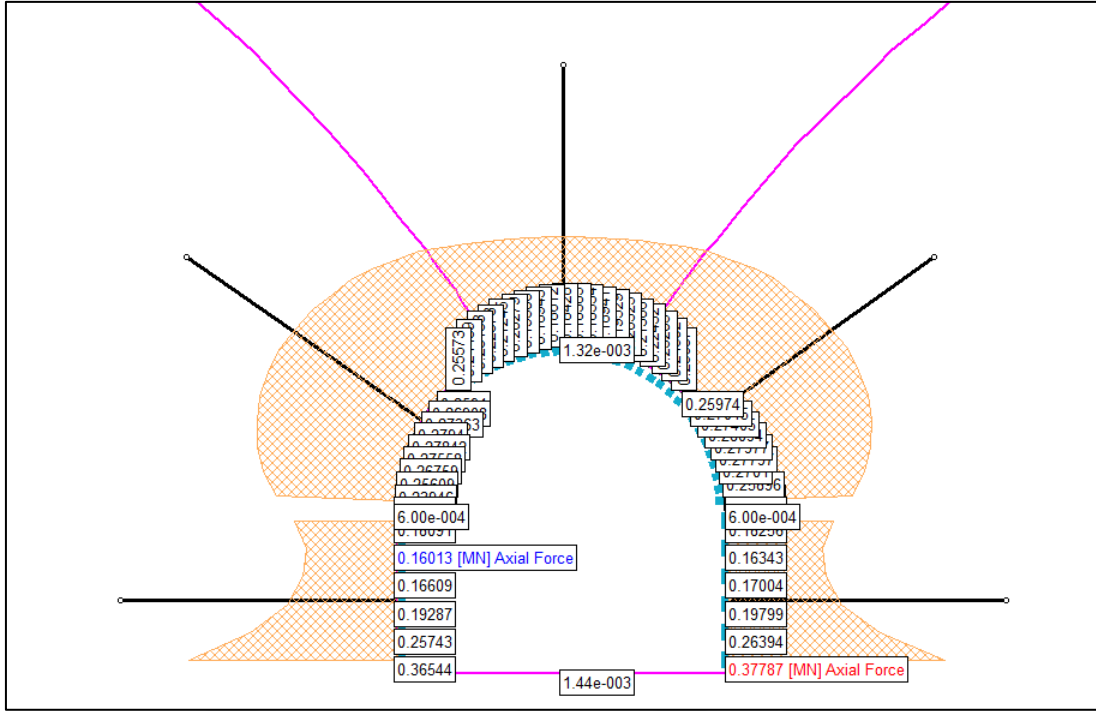
Şekil 4.43. 0+373 Kesiti oluşturulan phase2 modeli



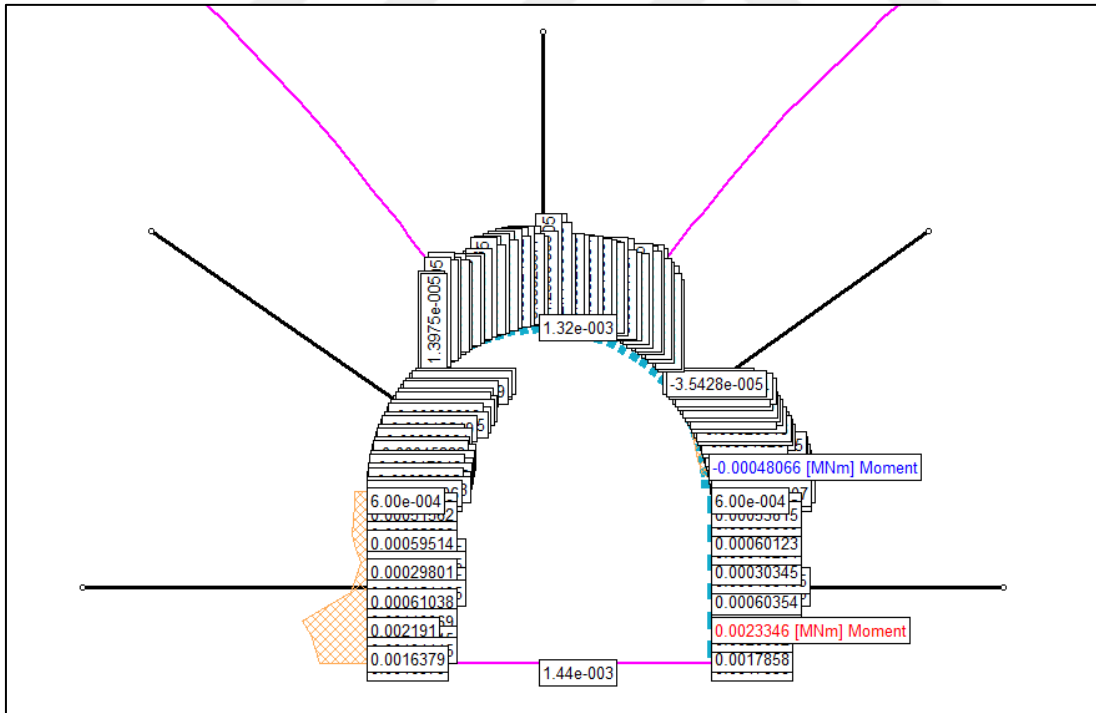
Şekil 4.44. 0+373 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



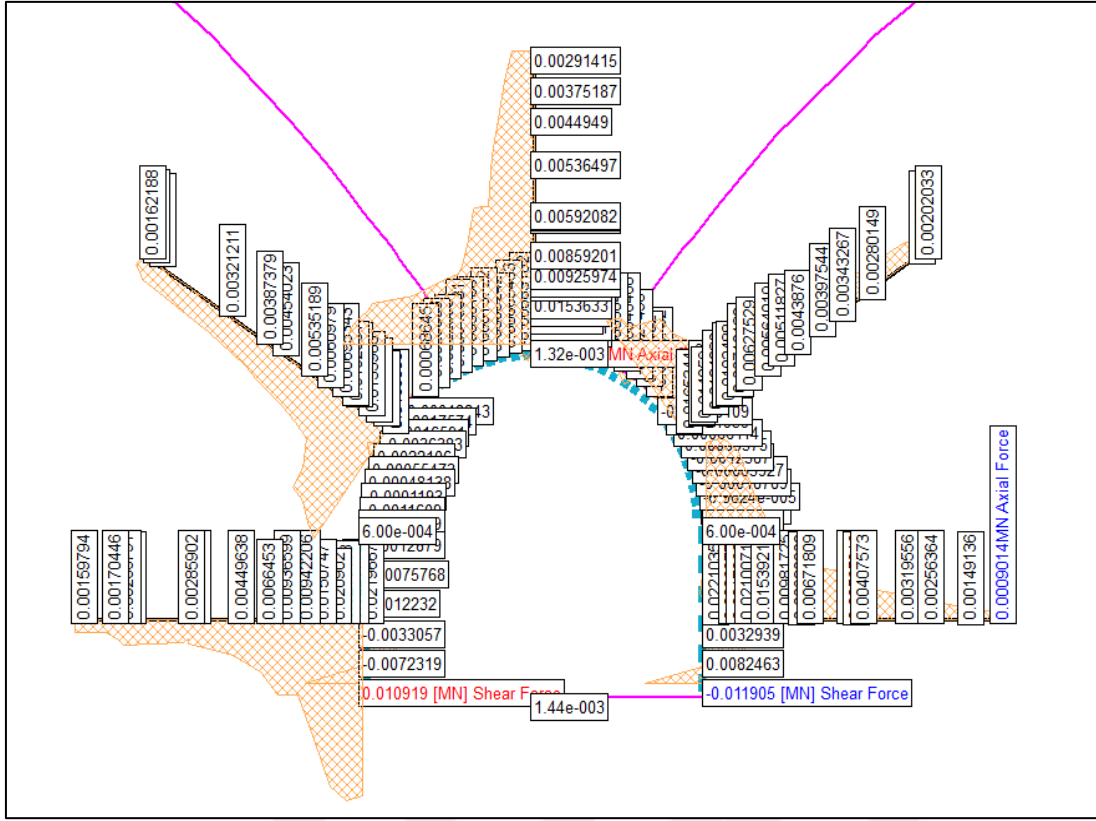
Şekil 4.45. 0+373 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar



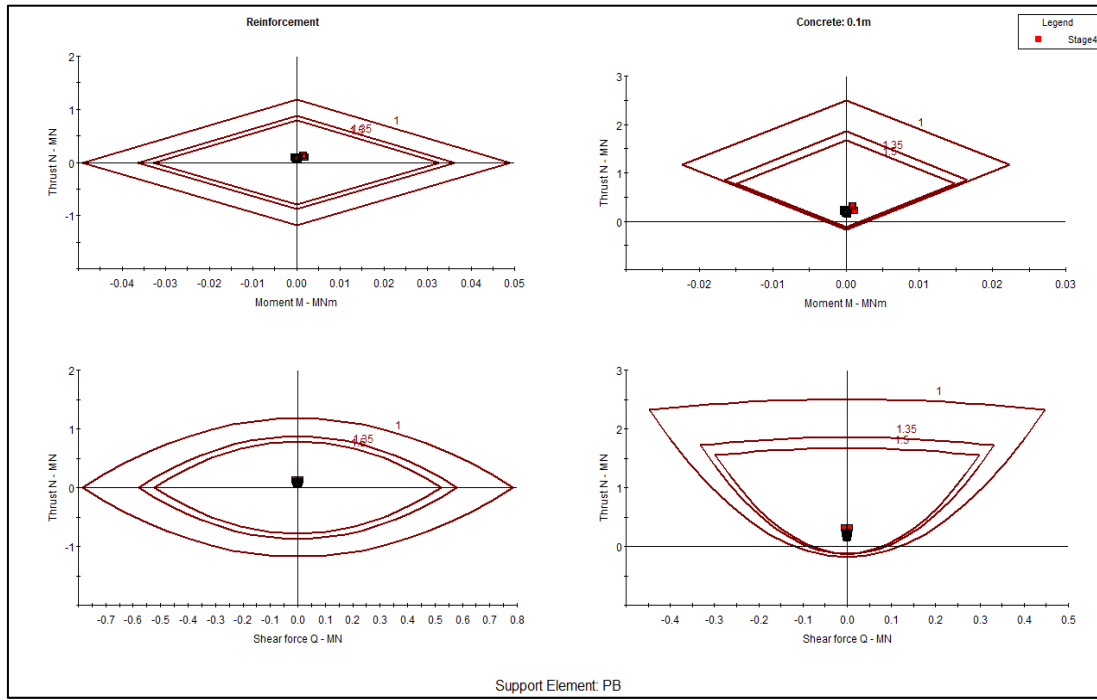
Şekil 4.46. 0+373 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı



Şekil 4.47. 0+373 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı

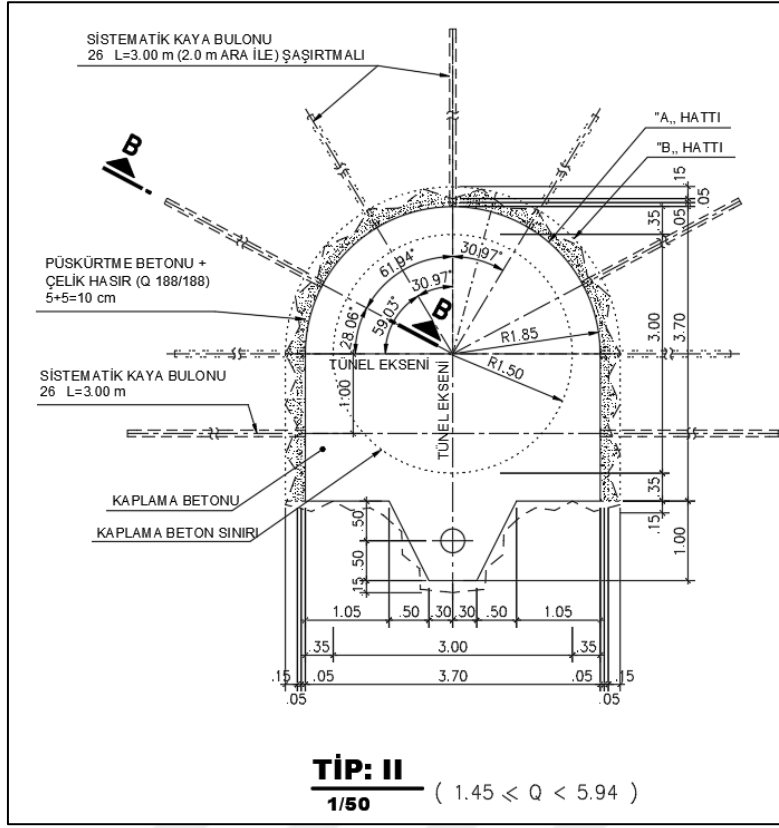


Şekil 4.48. 0+373 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı

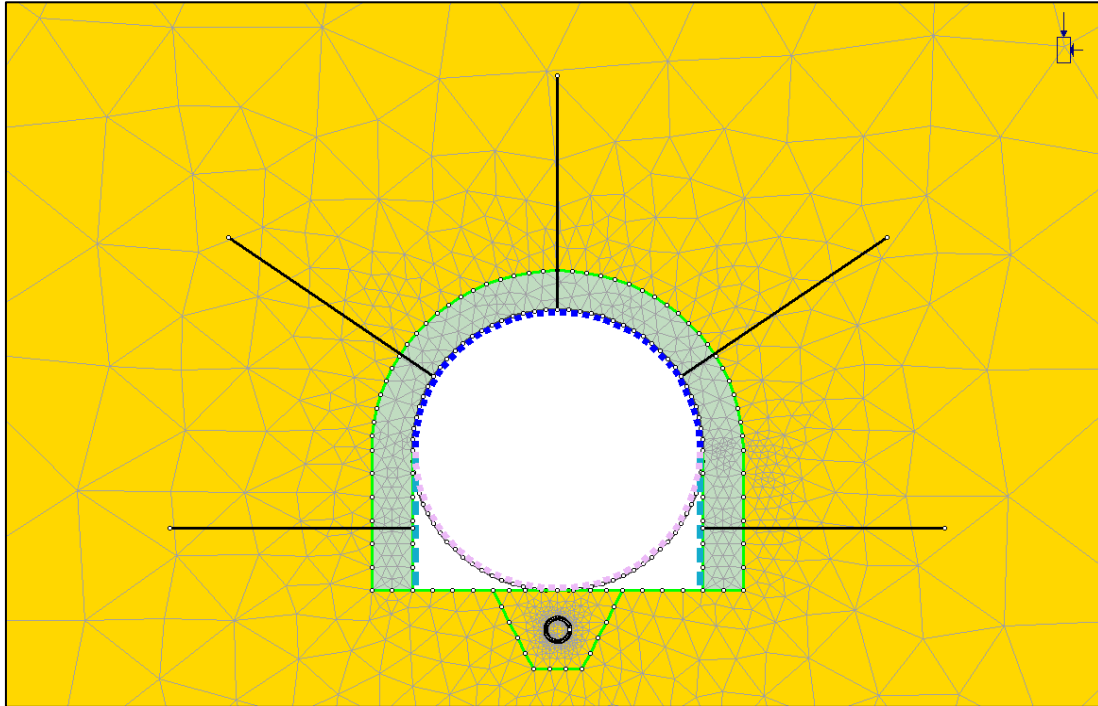


Şekil 4.49. 0+373 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı

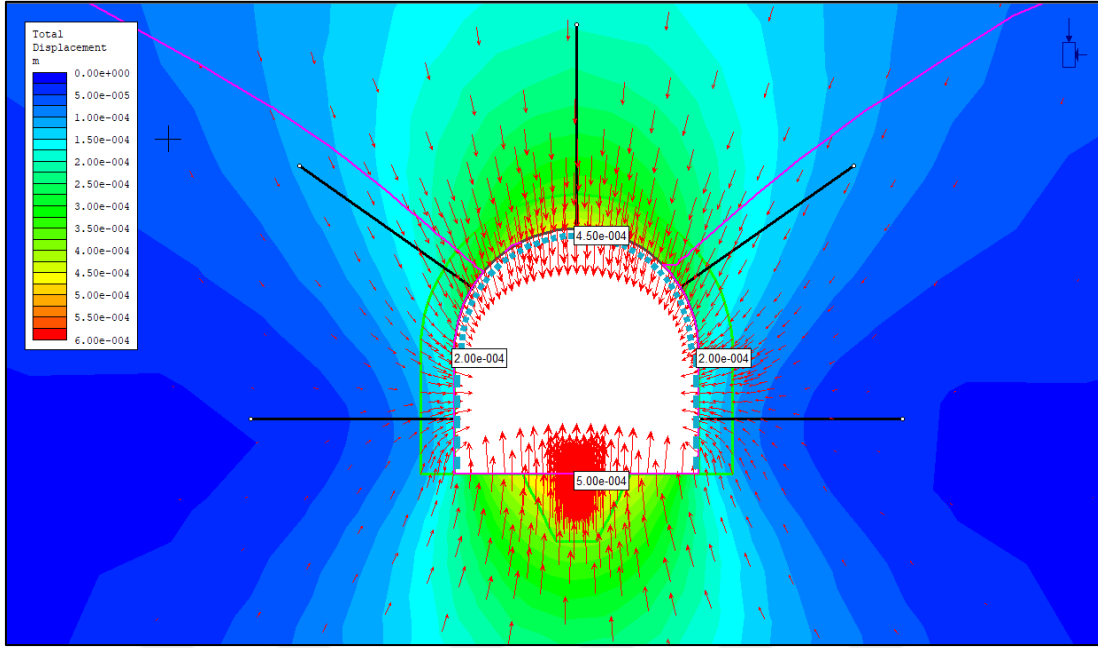
4.7.6. 0+480 Kesiti (TİP II)



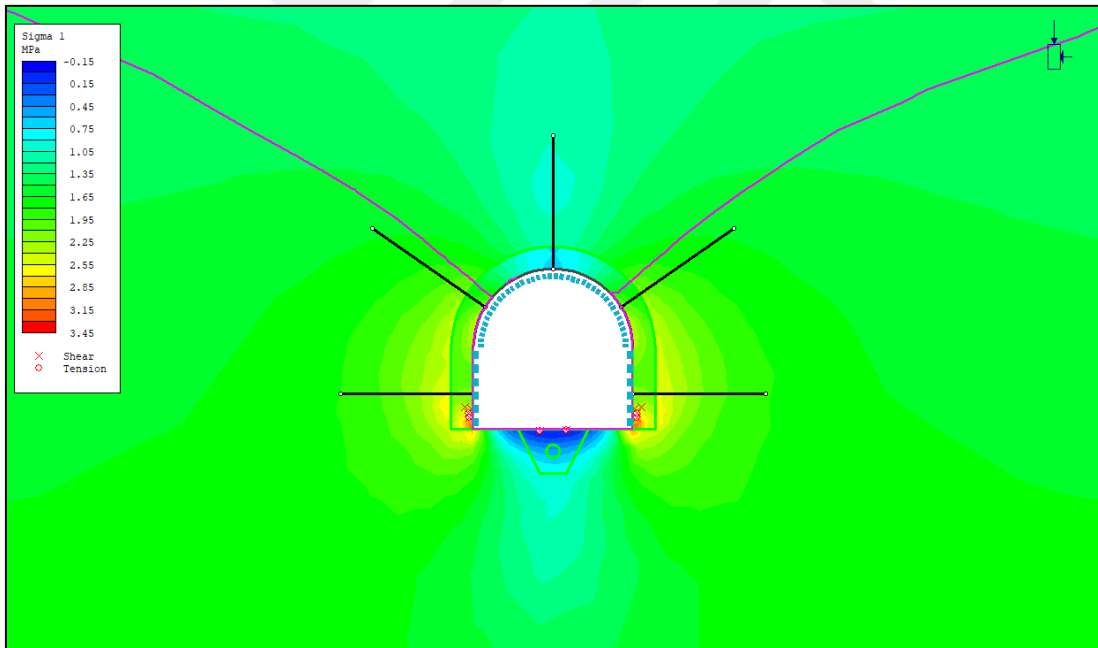
Şekil 4.50. 0+480 Kesiti kazı destek sistemi (Tip II)



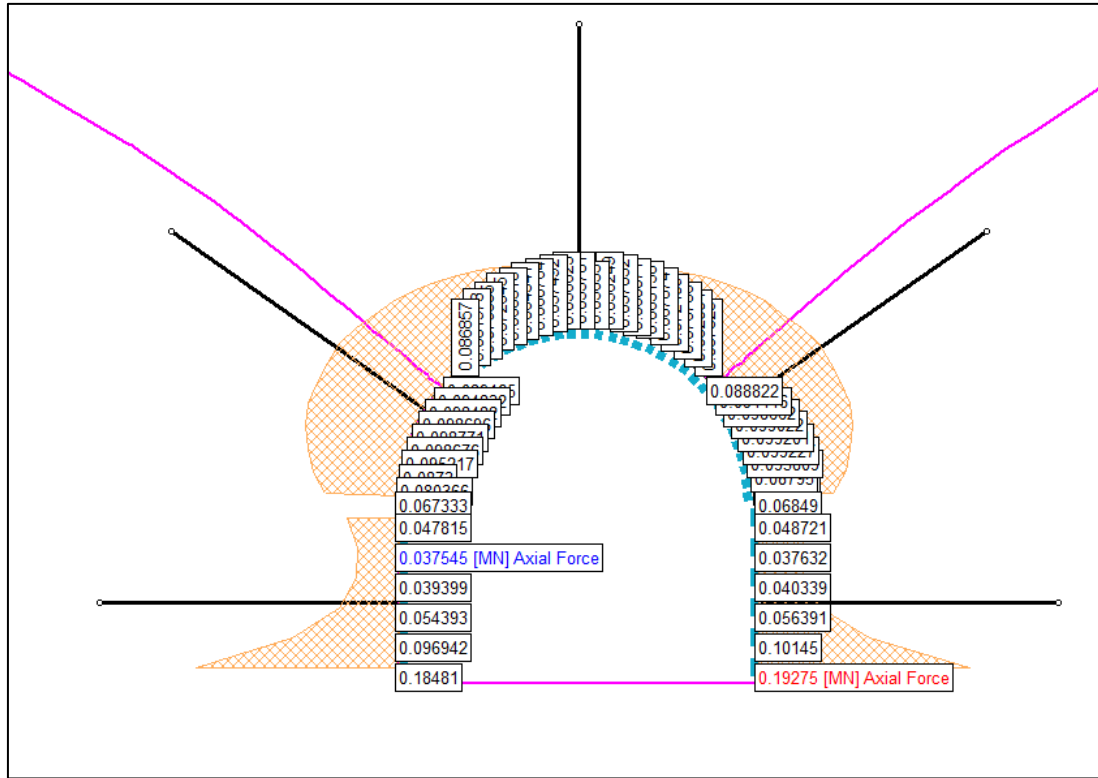
Şekil 4.51. 0+480 Kesiti oluşturulan phase 2 modeli



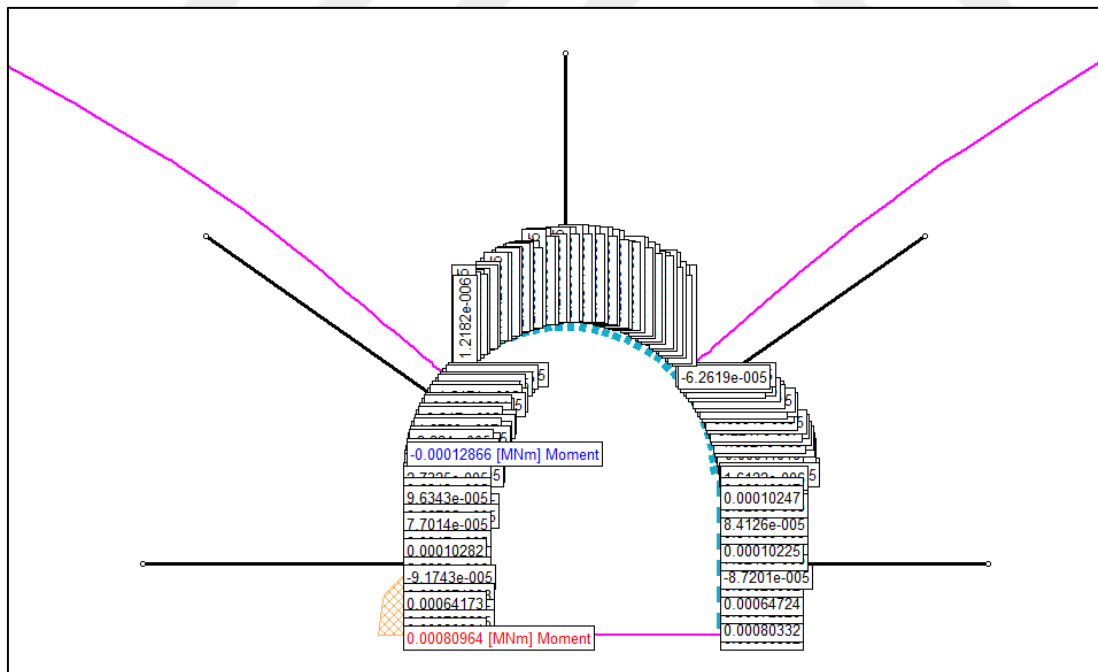
Şekil 4.52. 0+480 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



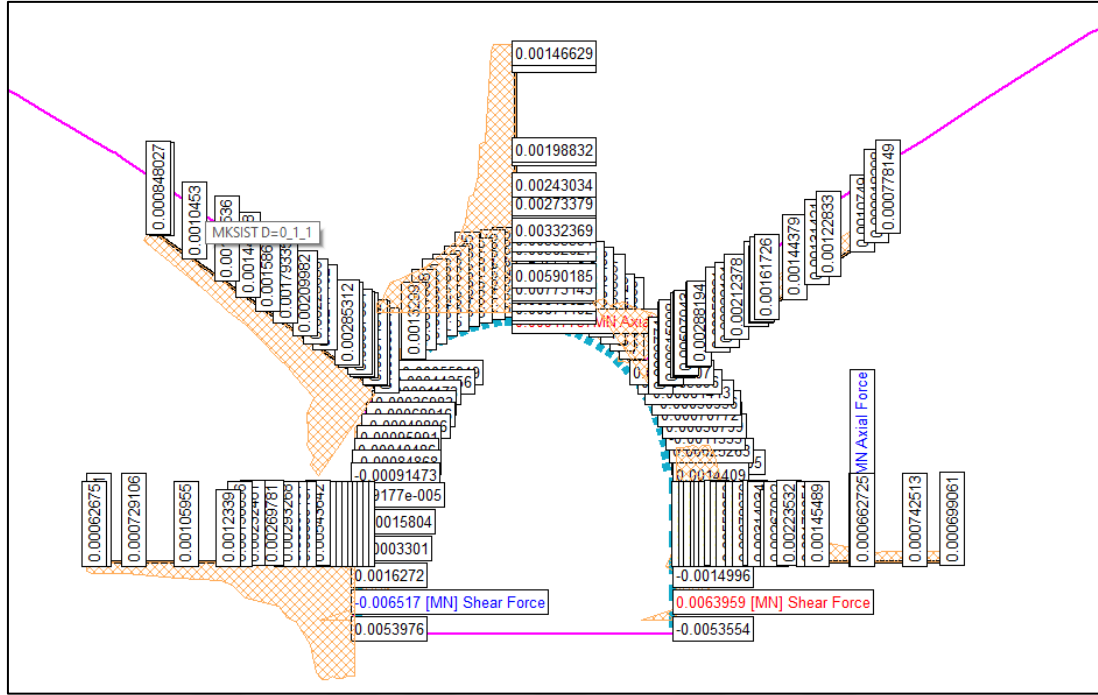
Şekil 4.53. 0+480 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar



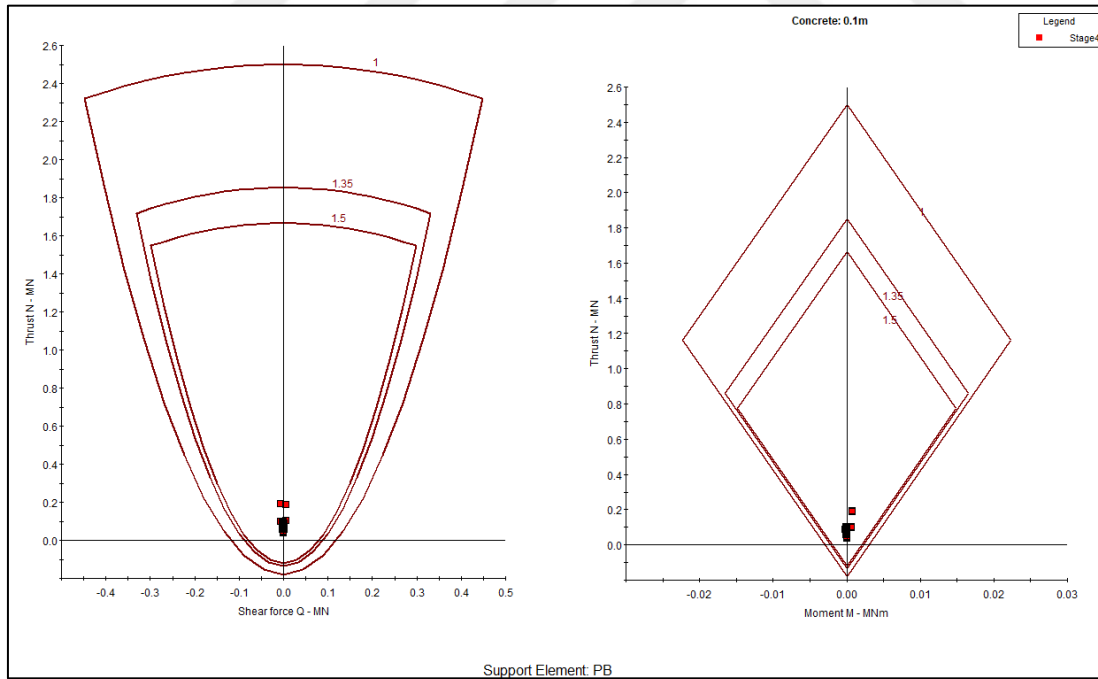
Şekil 4.54. 0+480 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı



Şekil 4.55. 0+480 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı

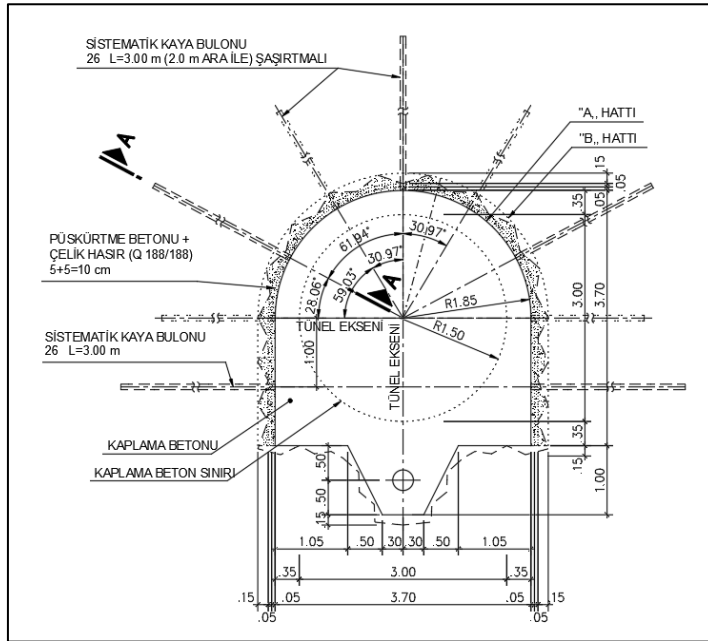


Şekil 4.56. 0+480 Kesiti püskürtme beton – kesme kuvveti ve bulon – eksenel kuvvet dağılımı

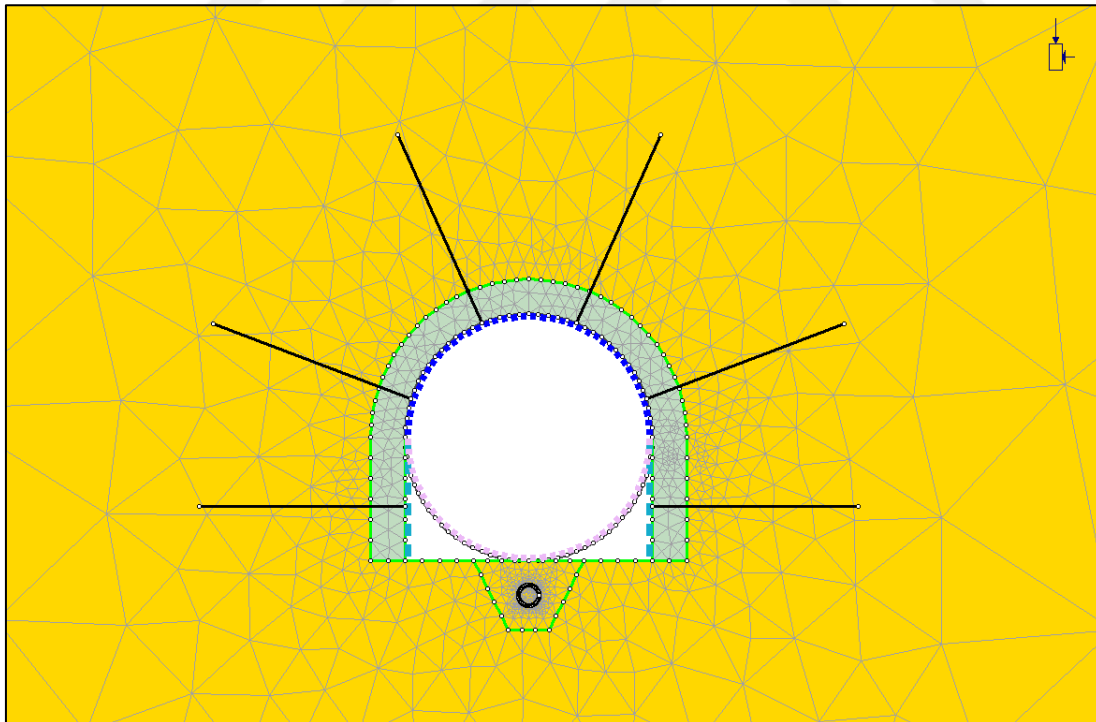


Şekil 4.57. 0+480 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı

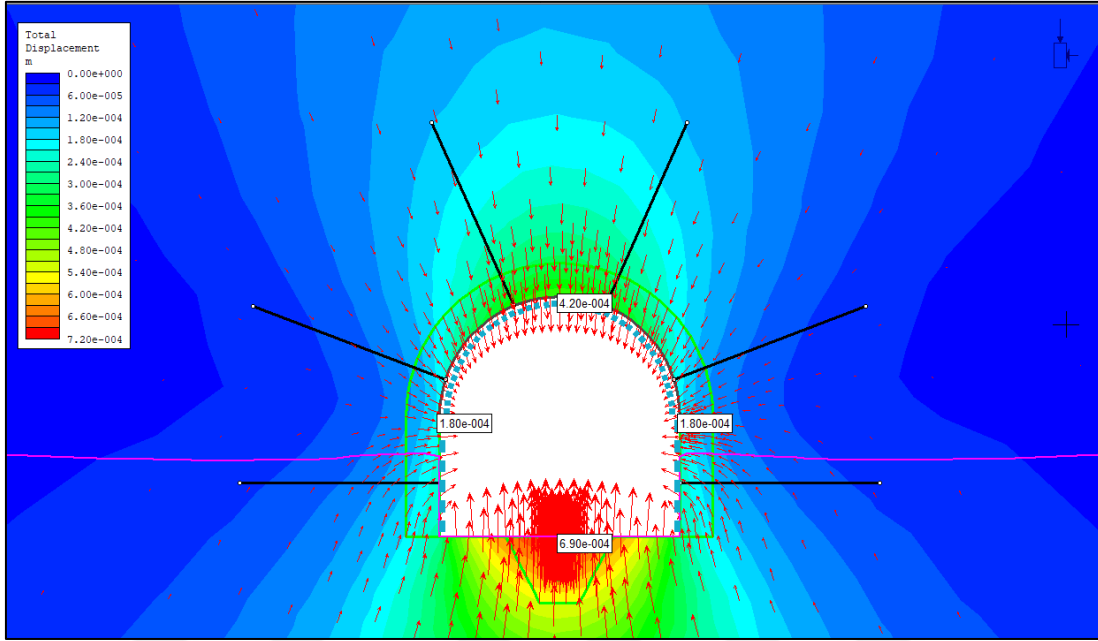
4.7.7. 0+730 Kesiti (TİP IV)



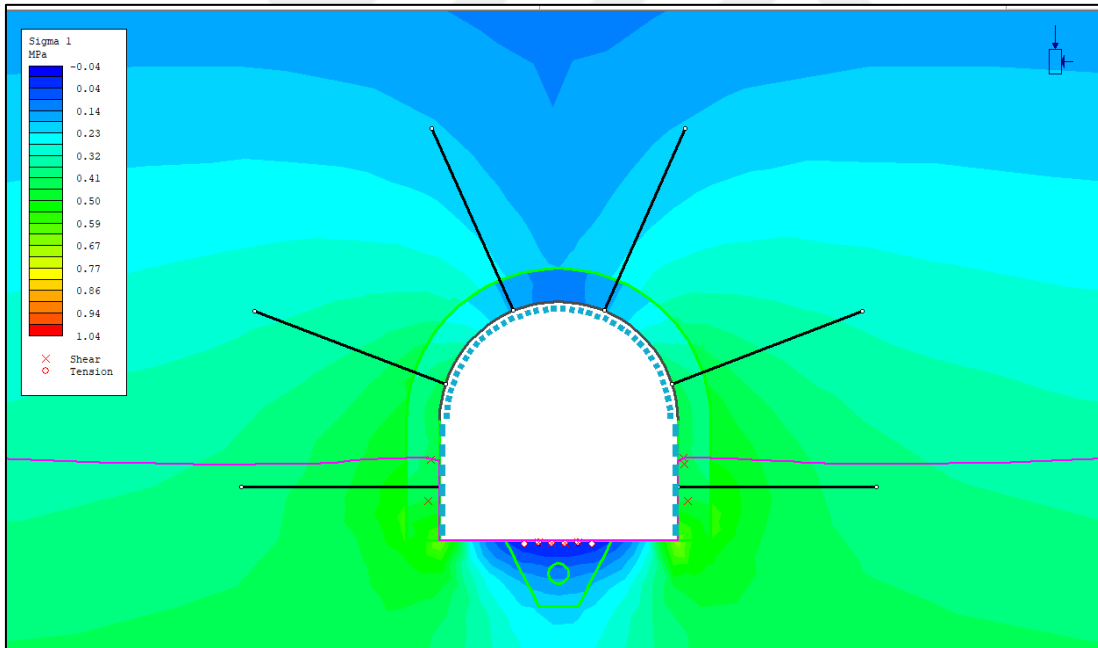
Şekil 4.58. 0+730 Kesiti kazı destek sistemi (Tip IV)



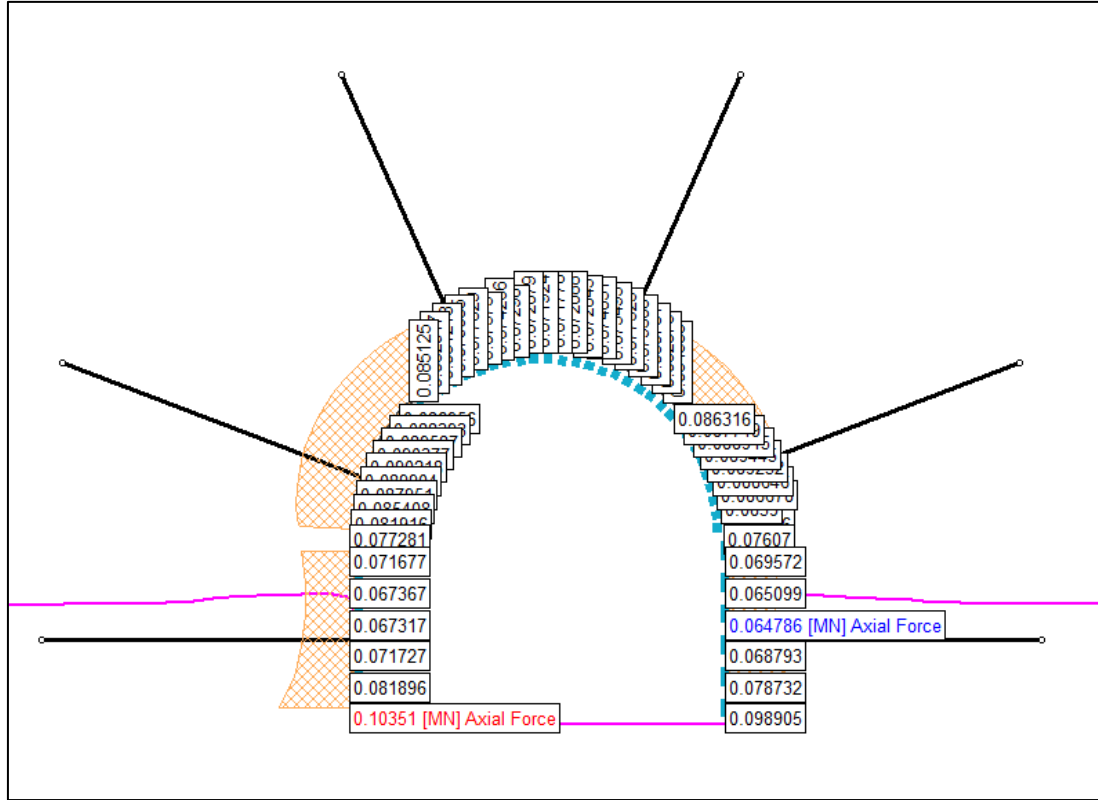
Şekil 4.59. 0+730 kesiti oluşturulan Phase 2 modeli



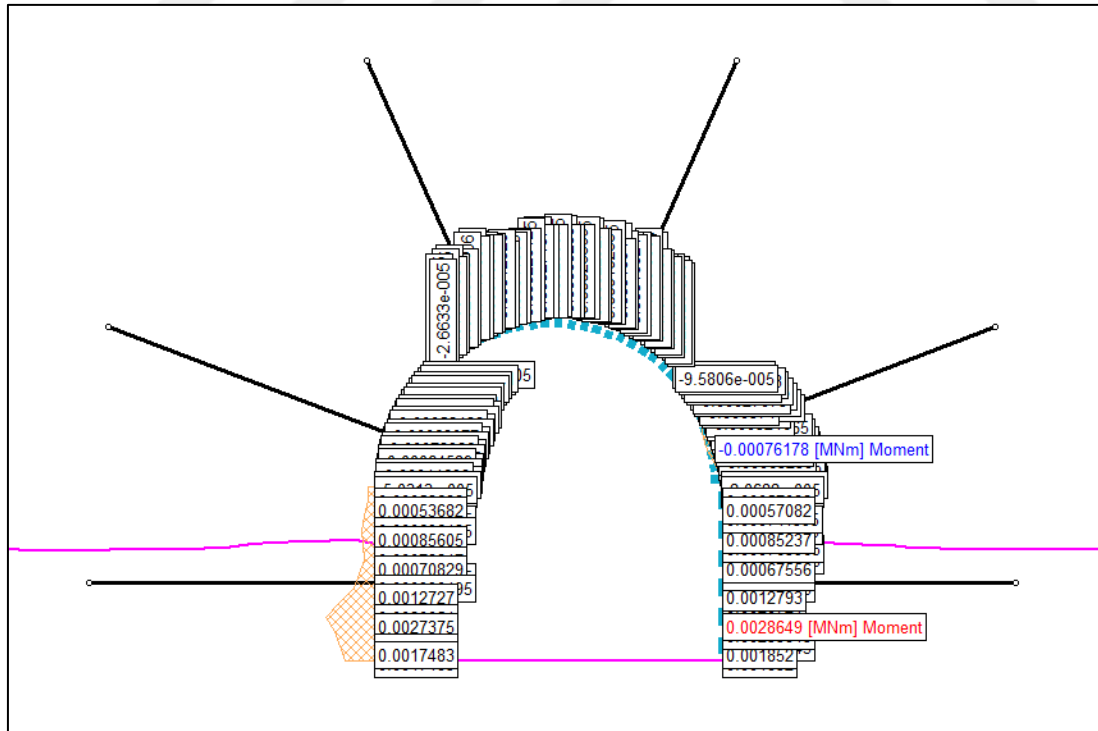
Şekil 4.60. 0+730 Kesiti tünel kazısı sonrası oluşan toplam deplasmanlar



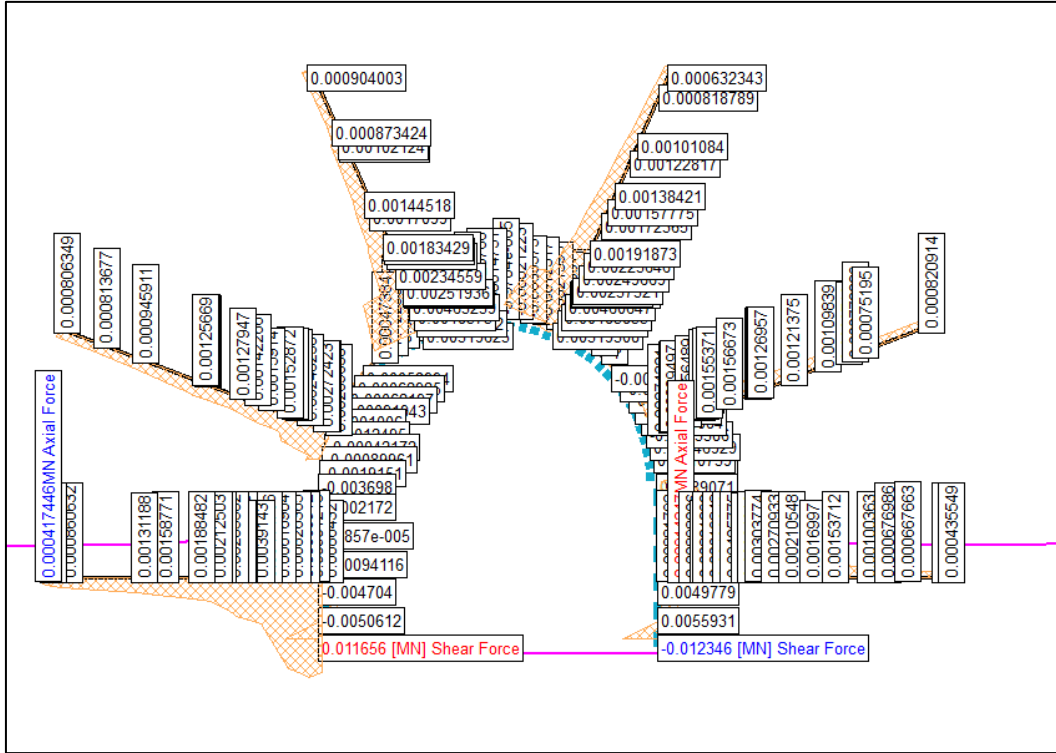
Şekil 4.61. 0+730 Kesiti sigma 1 ve tünel kazısı sonrası yenilen elemanlar



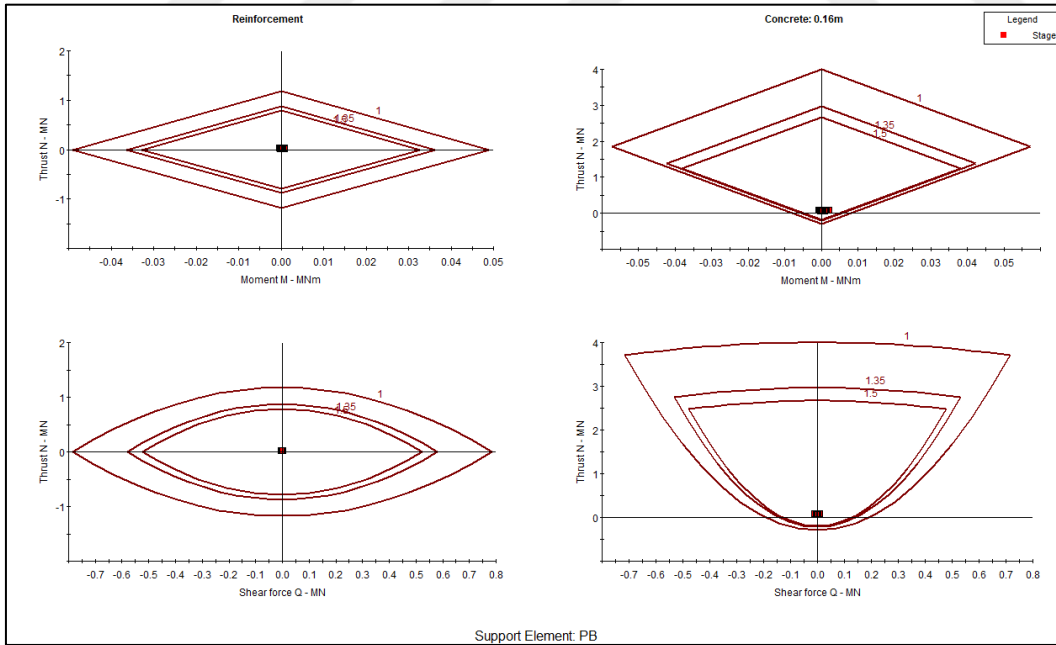
Şekil 4.62. 0+730 Kesiti püskürtme betona etki eden eksenel kuvvet dağılımı



Şekil 4.63. 0+730 Kesiti püskürtme betona etki eden moment dağılımı



Şekil 4.64. 0+730 Kesiti püskürtme beton - kesme kuvveti ve bulon - eksenel kuvvet dağılımı



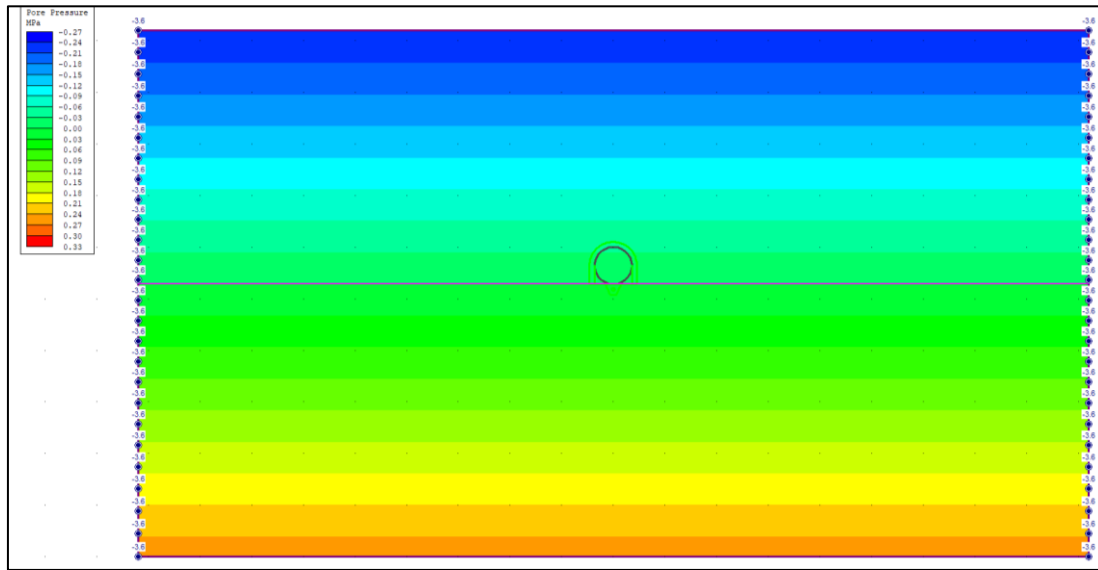
Şekil 4.65. 0+730 Kesiti destekleme etkileşim diyagramı

Yapılan analizler sonucunda elde edilen deplasmanların kabul edilebilir mertebelerde olduğu değerlendirilmiştir. Ayrıca etkileşim diyagramları incelendiğinde önerilen kazı destek sistemlerinde herhangi bir problem beklenmemektedir.

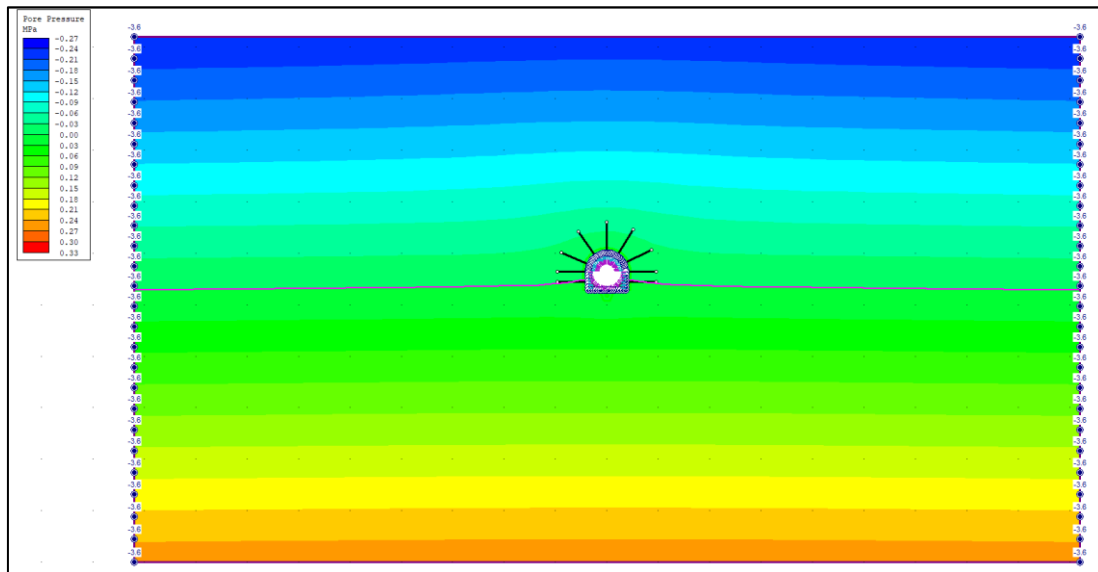
4.8. Su Düşümü Analiz Sonuçları

Tünelin incelenen her bir kesiti için yeraltı su seviyesine bağlı olarak su düşüm analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen analiz sonuçları aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.

4.8.1. 0+024 Kesiti analiz sonuçları

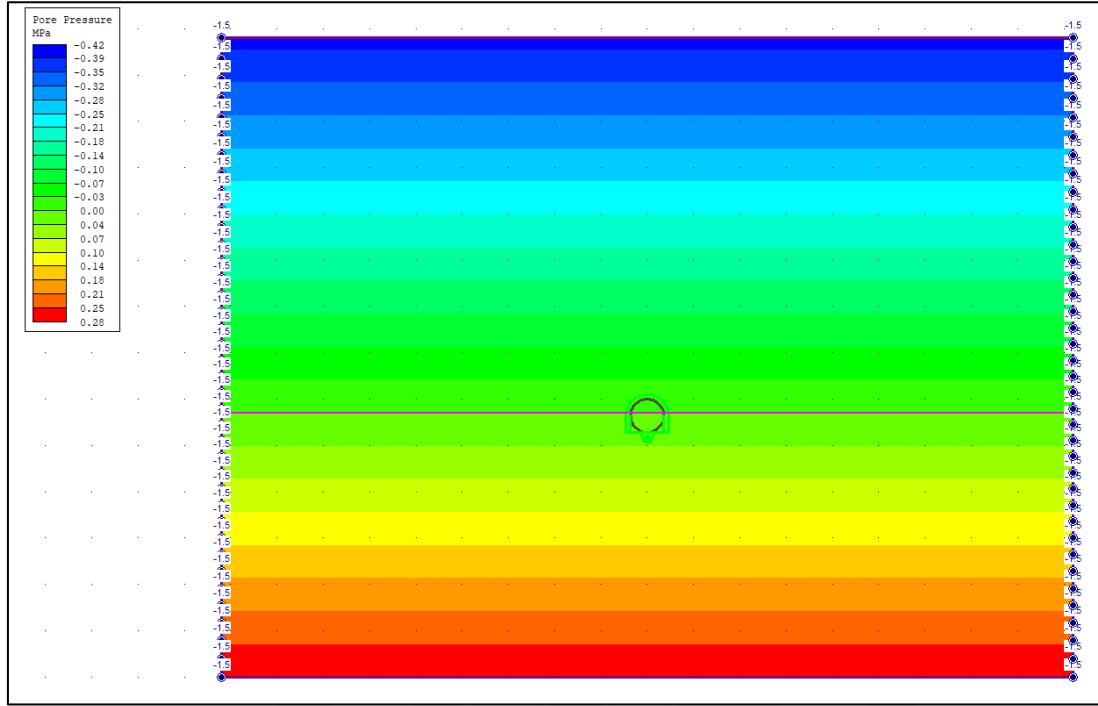


Şekil 4.66. 0+024 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı

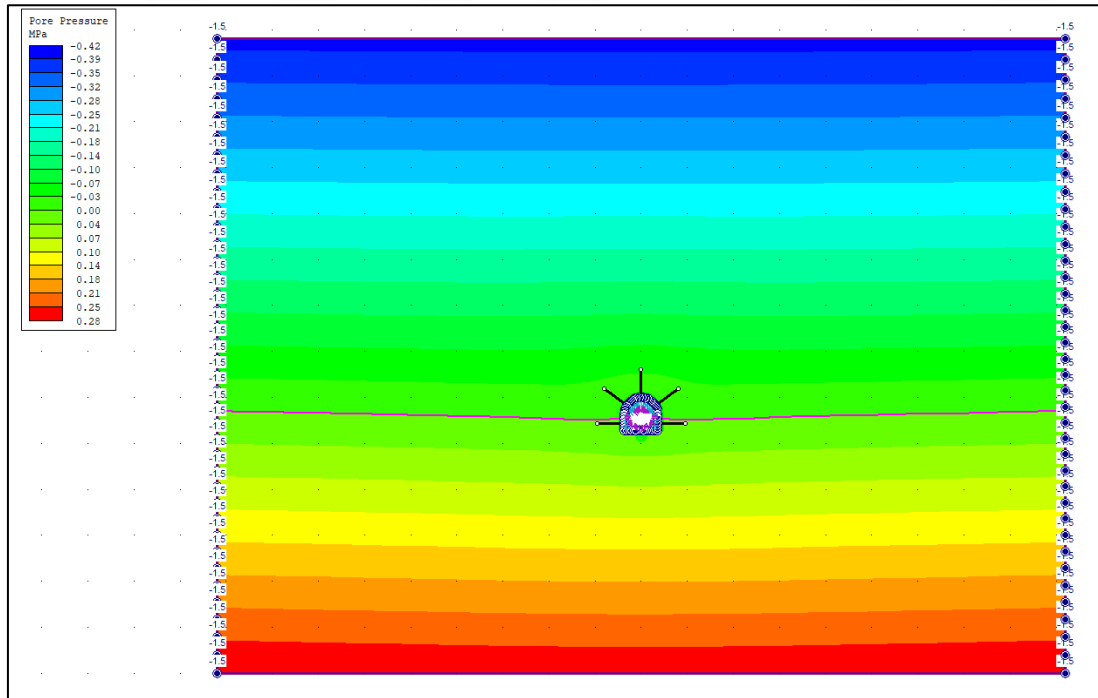


Şekil 4.67. 0+024 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.8.2. 0+078 Kesiti analiz sonuçları

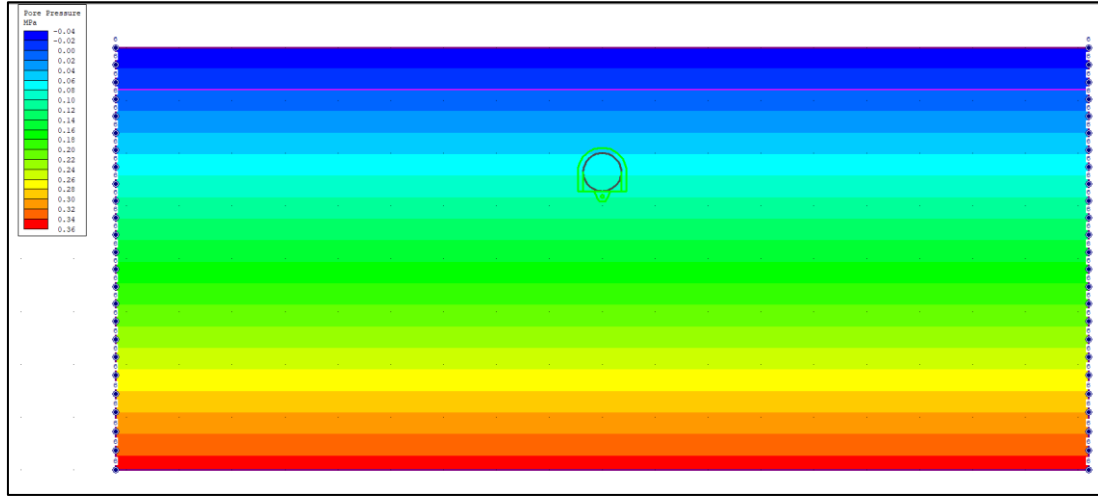


Şekil 4.68. 0+078 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı

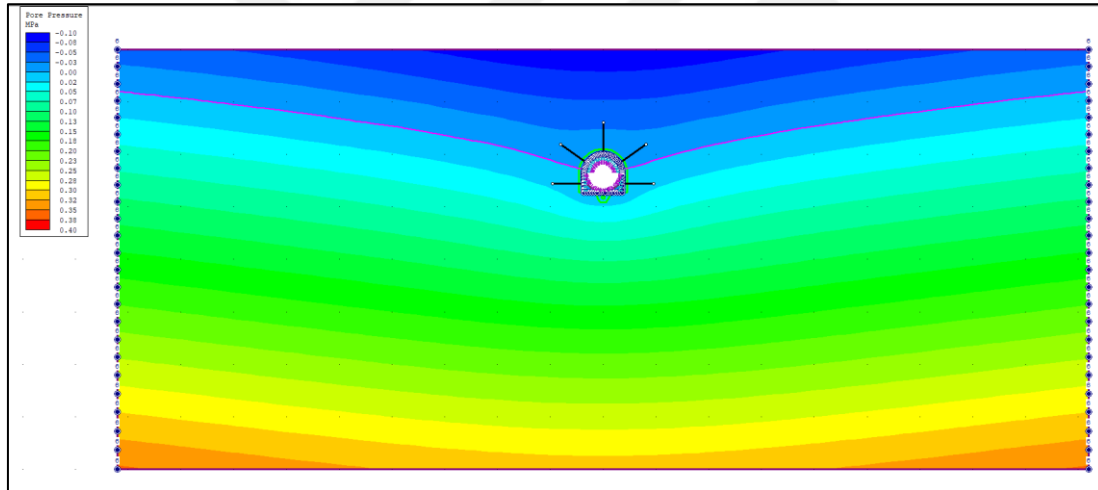


Şekil 4.69. 0+024 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.8.3. 0+158 Kesiti analiz sonuçları

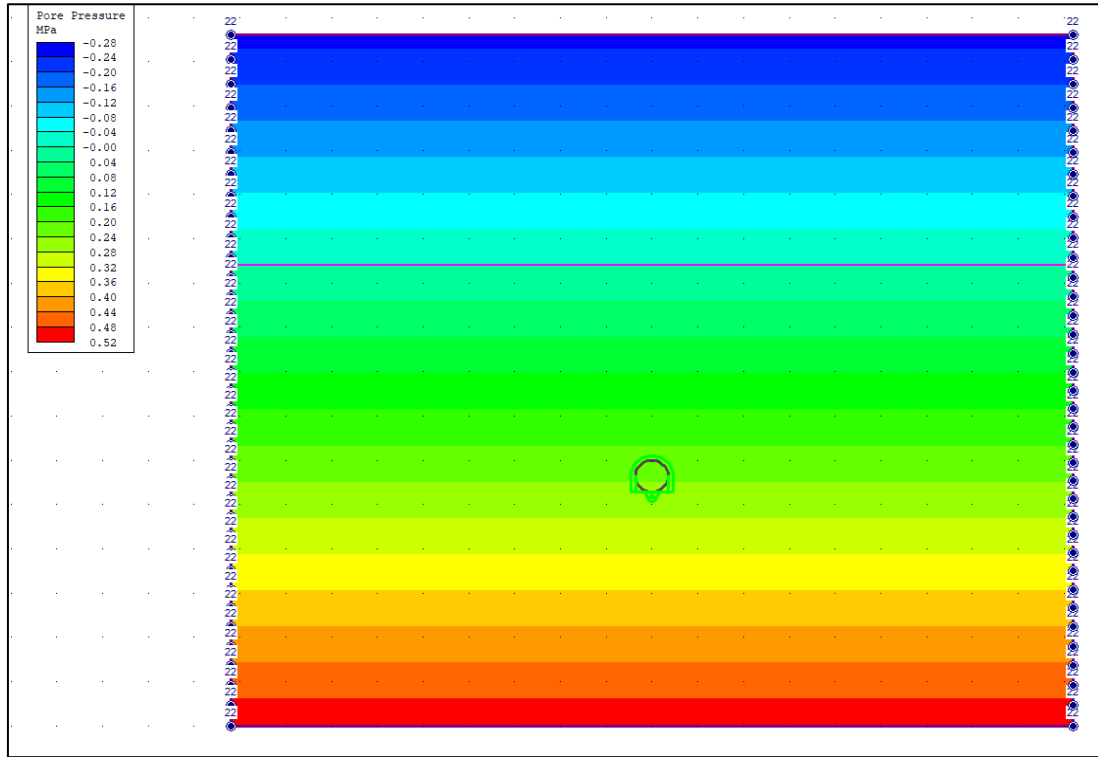


Şekil 4.70. 0+158 Kesiti durumu ve boşluk suyu basıncı

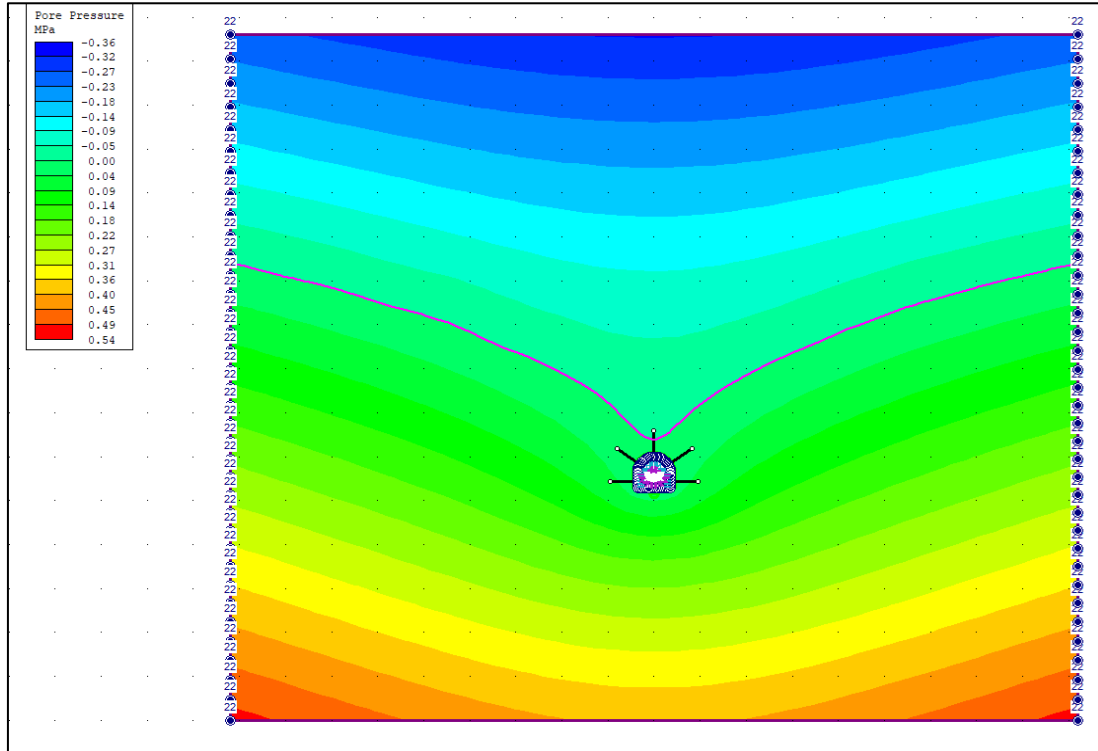


Şekil 4.71. 0+158 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.8.4. 0+290 Kesiti analiz sonuçları

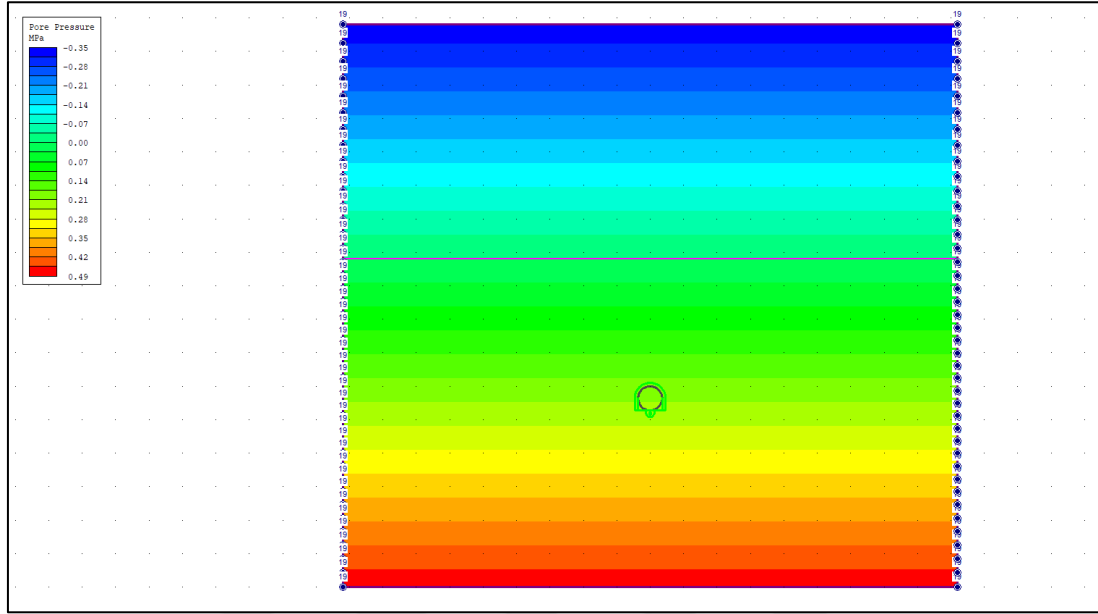


Şekil 4.72. 0+290 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı

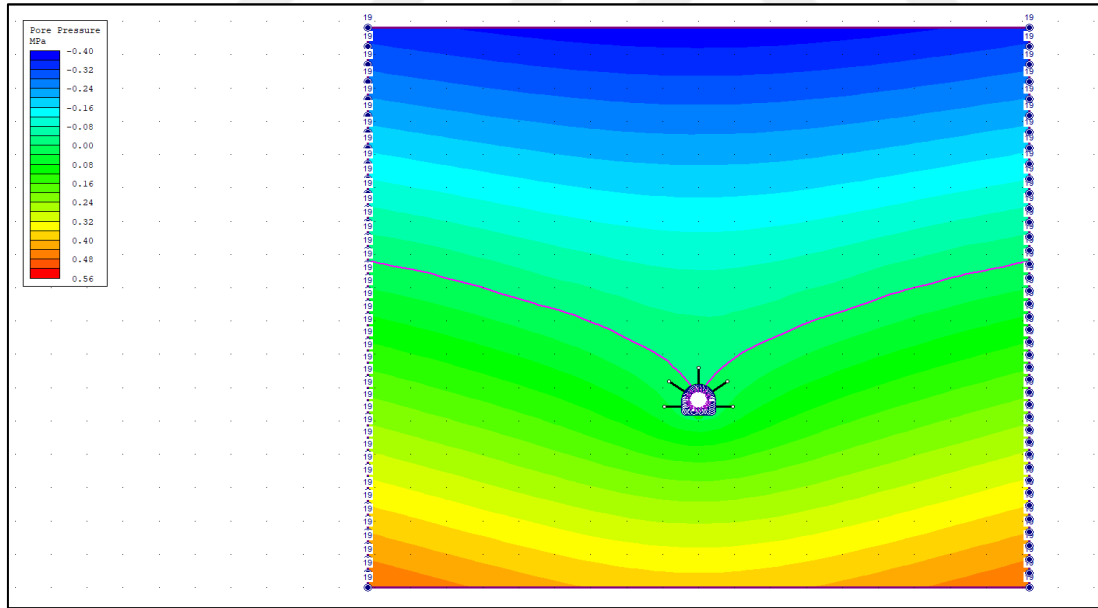


Şekil 4.73. 0+290 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.8.5. 0+373 Kesiti analiz sonuçları

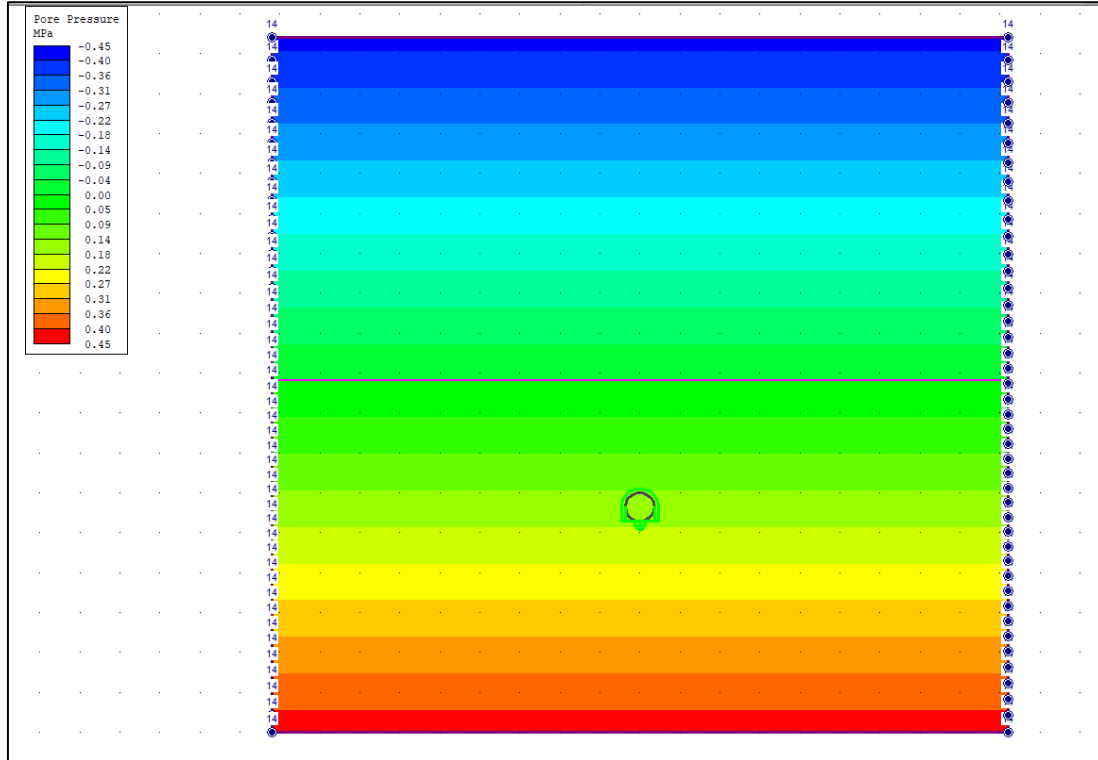


Şekil 4.74. 0+373 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı

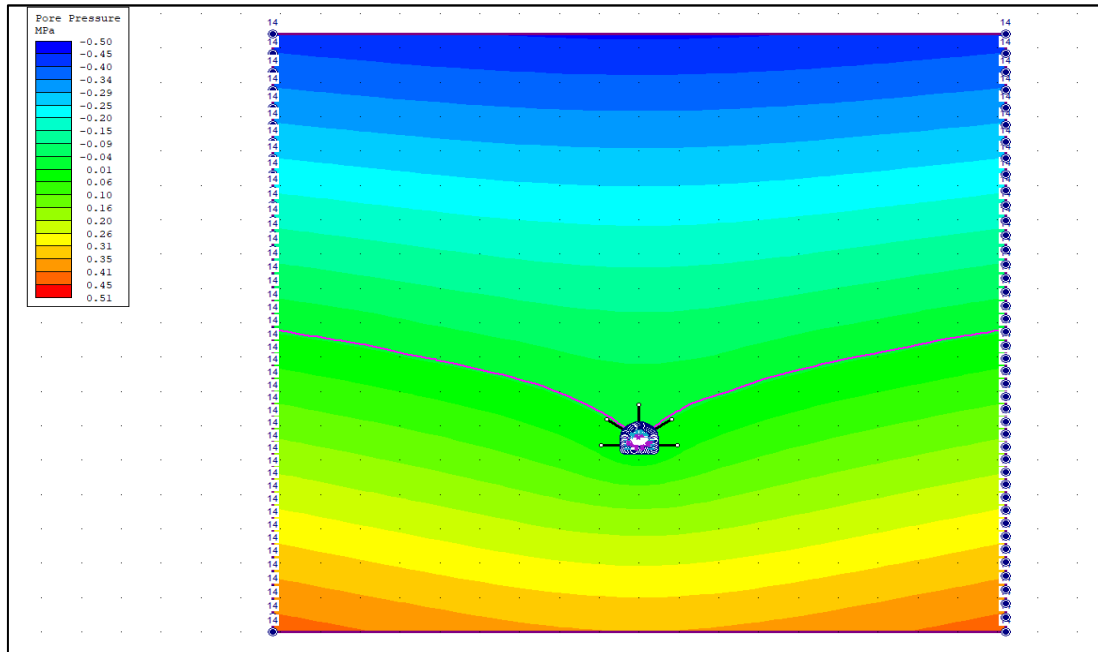


Şekil 4.75. 0+373 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.8.6. 0+480 Kesiti analiz sonuçları

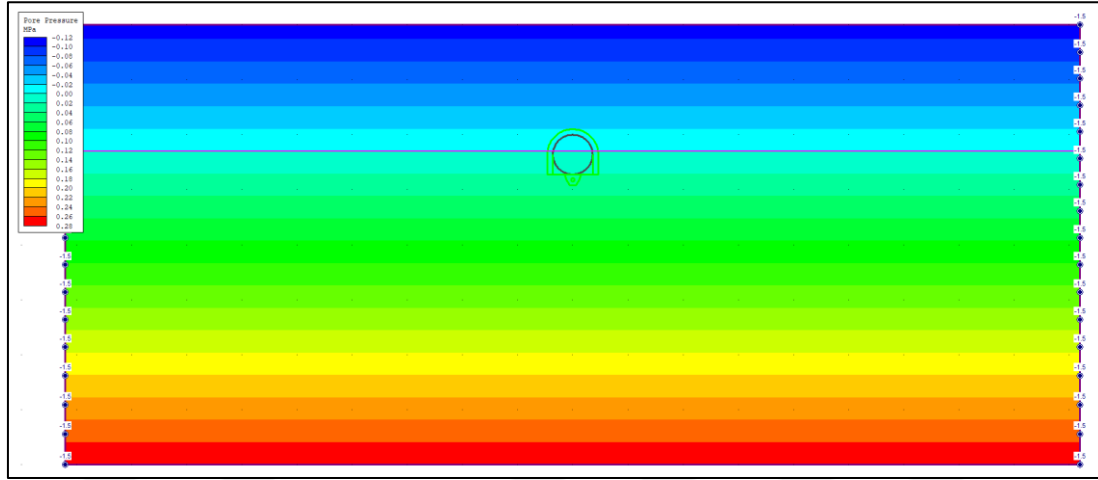


Şekil 4.76. 0+480 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı

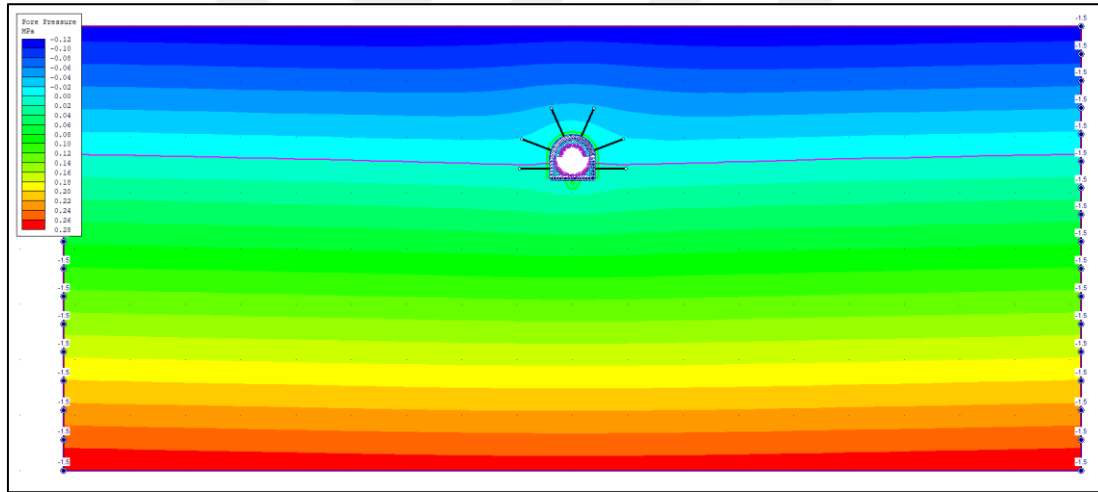


Şekil 4.77. 0+480 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.8.7. 0+730 Kesiti analiz sonuçları



Şekil 4.78. 0+730 Kesiti başlangıç durumu ve boşluk suyu basıncı



Şekil 4.79. 0+730 Kesiti kararlı denge durumu feratik hat (phreatic line) ve boşluk suyu basıncı

4.9. Kaplama Beton Analizi ve Sonuçları

Derivasyon aşaması yükleme analizlerinde 4 aşamalı sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. İlk aşamada başlangıç gerilme durumu, 2. aşamada kazı nedeniyle kazı çevresinde oluşacak örselenme dikkate alınmıştır. 3. aşamada kazı bölgesi gevşetilmiş, 4. Aşamada ise nihai destek sistemleri ve yükleme durumlarına göre dış yükler etkilmiştir.

Farklı tiplerdeki destek sisteminin tahkiki için oluşturulan sonlu elemanlar modelleri aşağıda verilmektedir. Yapılan analizde öngörülen kaya parametreleri kullanılmış, tünel kazısı sonrasındaki stabilite ve deplasman durumu incelenmiştir.

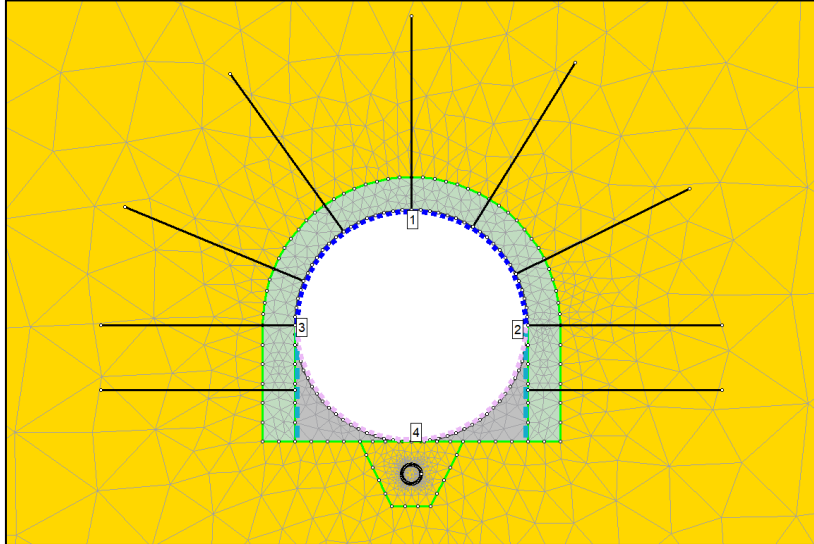
Analizler, 4 aşamadan oluşmaktadır.

Aşama 1 - Kazı öncesi başlangıç gerilme durumu

Aşama 2 - Kazı çevresinin örselenmesi

Aşama 3 - Kazı bölgesinin gevşetilmesi

Aşama 4— Nihai kaplamanın uygulanması ve yüklemelerin etkitilmesi

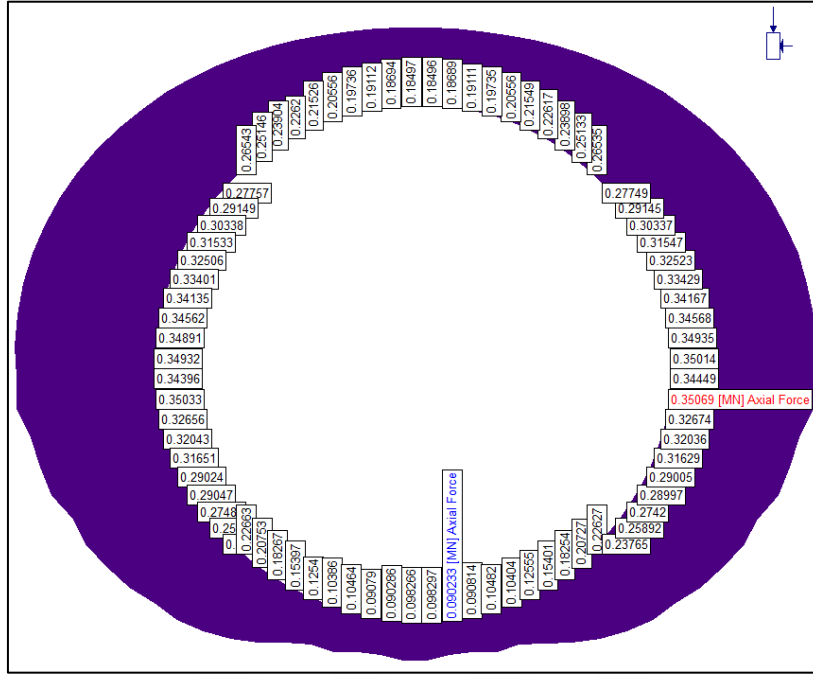


Şekil 4.80. Tip Phase2 modeli

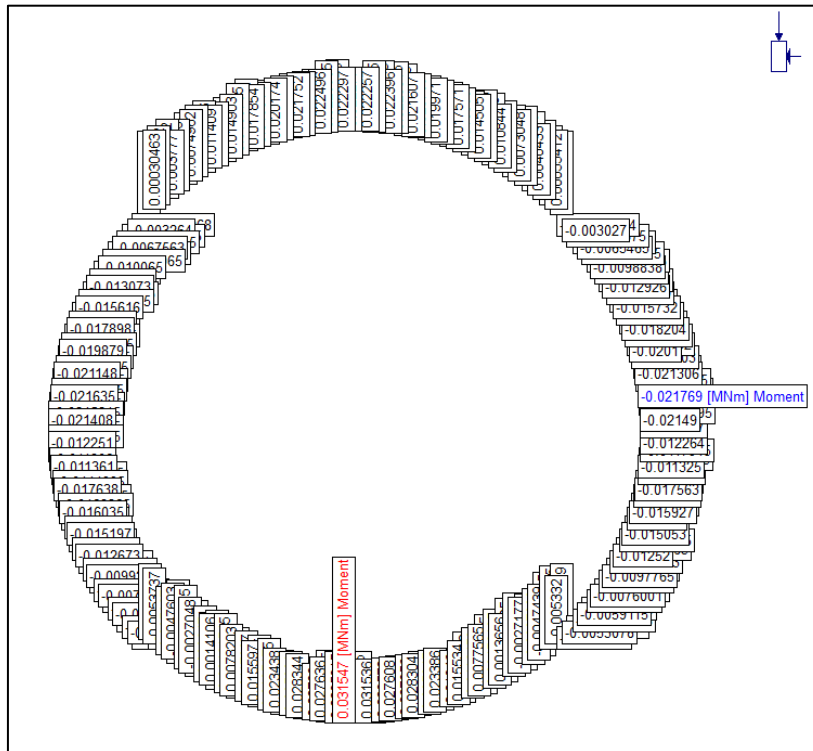
Modelde tünel kaplaması, kiriş (liner) elemanlar ile, beton özellikleri kullanılarak modellenmiştir. Gerçekleştirilen analiz sonucunda, tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet, eğilme momenti ve kesme kuvveti değerleri aşağıdaki şekillerde verilmektedir.

4.10. Derivasyon Yükleme Durumu Analizi ve Sonuçları

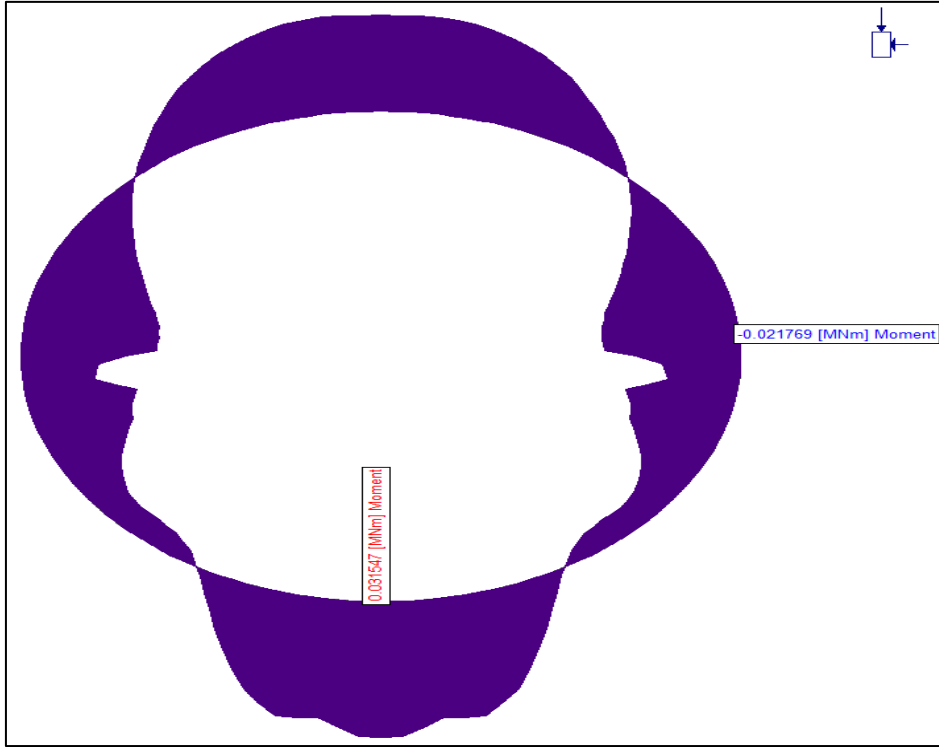
4.10.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları



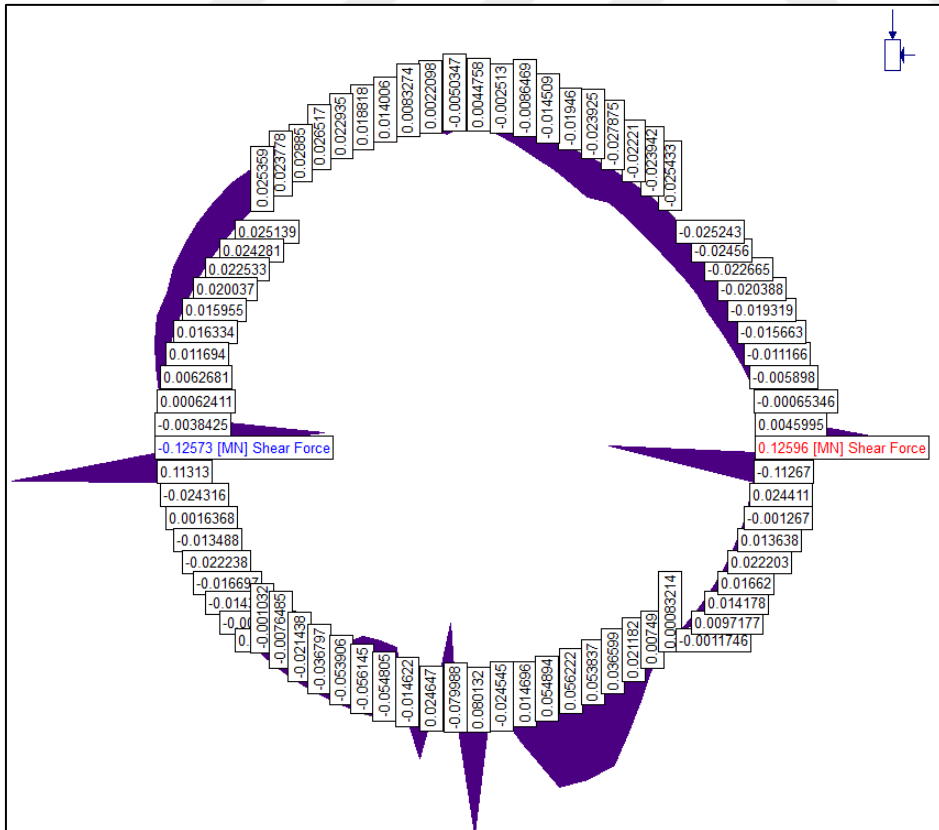
Şekil 4.81. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



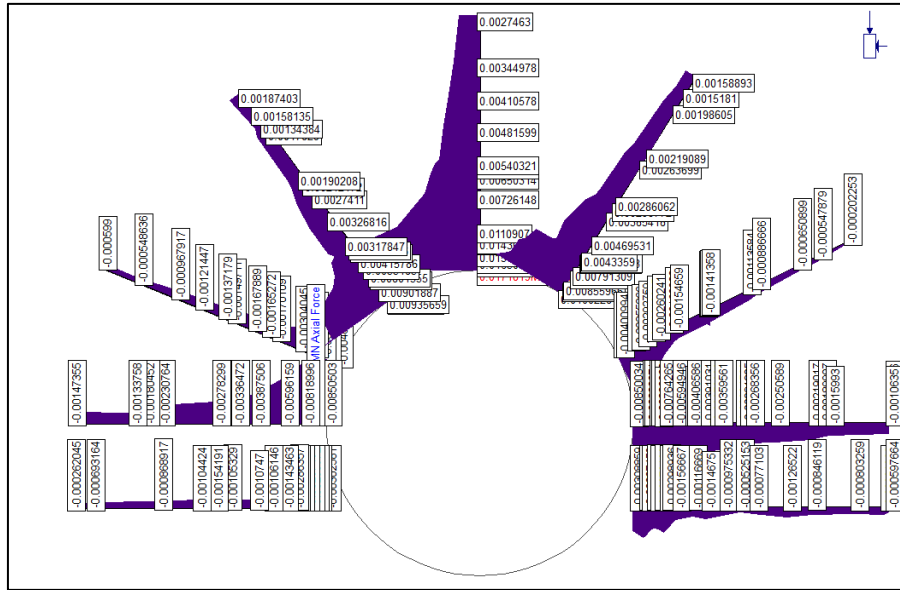
Şekil 4.82. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.83. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.84. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.85. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.11. 0+024 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	184,96	350,14	349,32	98,30	350,69	90,23
M (kN.m)	22,26	-21,77	-21,63	31,55	31,55	-21,63
V (kN)	-5,03	-0,65	0,62	80,13	125,96	-125,73

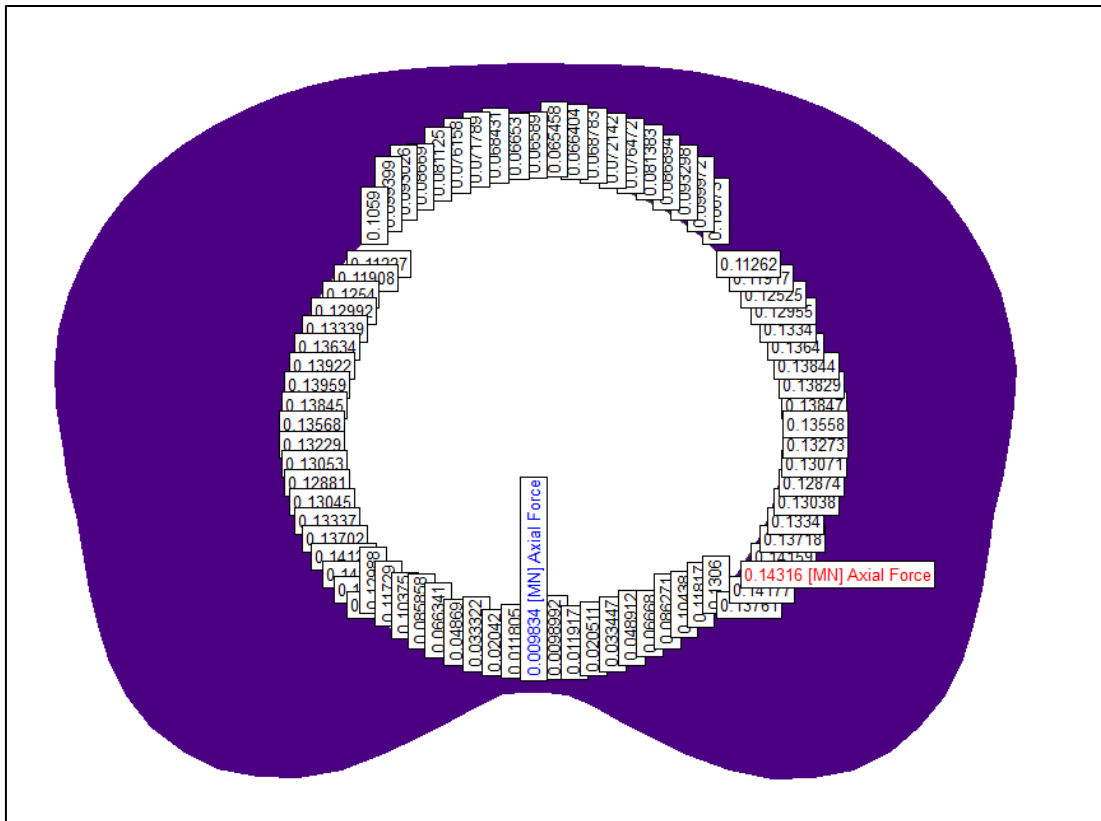
Çizelge 4.12. 0+024 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	336,63	637,25	635,76	178,91	638,26	164,22
M (kN.m)	40,51	-39,62	-39,37	57,42	57,42	-39,37
V (kN)	-9,15	-1,18	1,13	145,84	229,25	-228,83

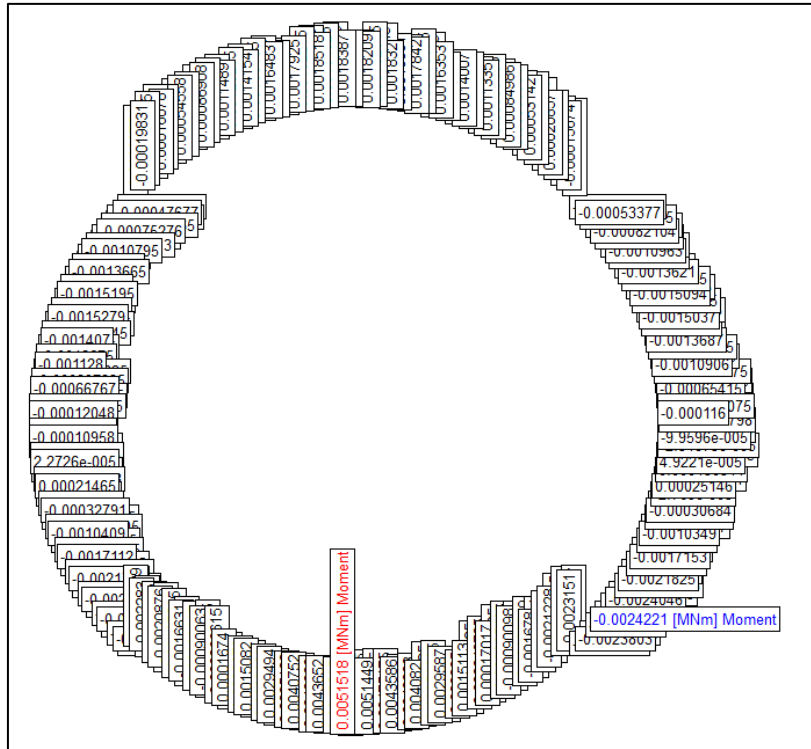
Çizelge 4.13. 0+024 Kesiti derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+024	
	Max	Min
N (kN)	17,19	-8,67

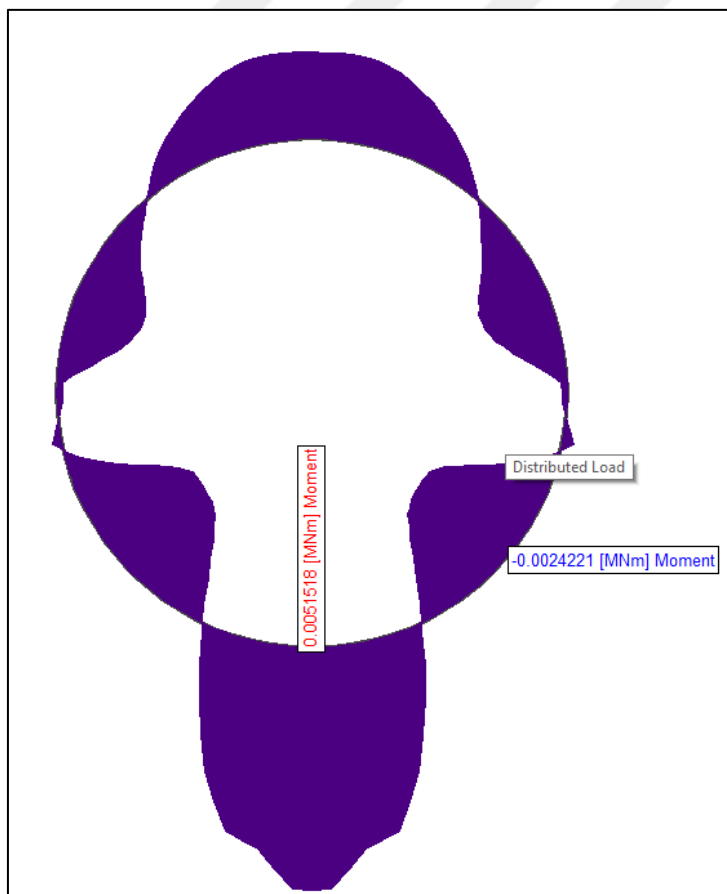
4.10.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları



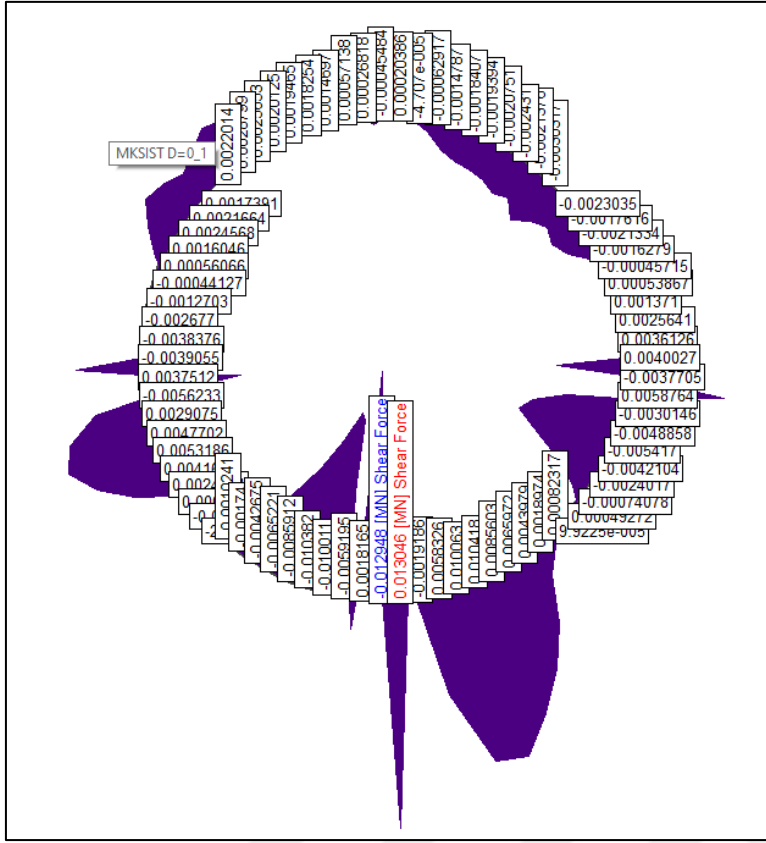
Şekil 4.86. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



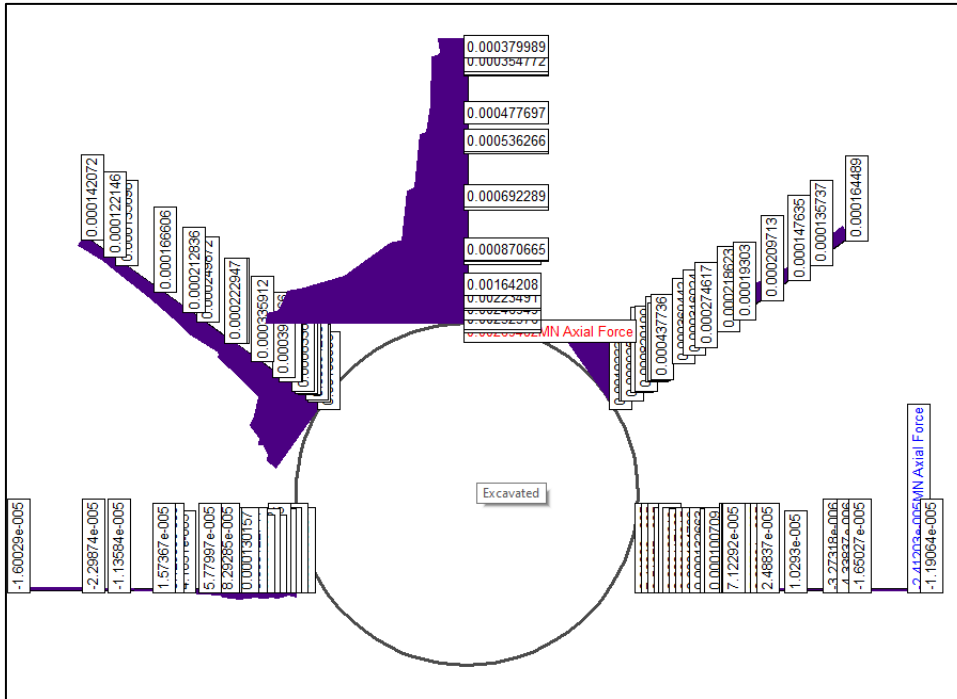
Şekil 4.87. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.88. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.89. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.90. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.14. 0+078 Kesiti Phase2 analizi derivasyon kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	65,46	138,29	138,45	9,83	143,16	9,83
M (kN.m)	1,82	-0,11	-0,67	5,15	5,15	-2,42
V (kN)	-0,45	4,00	-3,90	13,05	13,05	-12,95

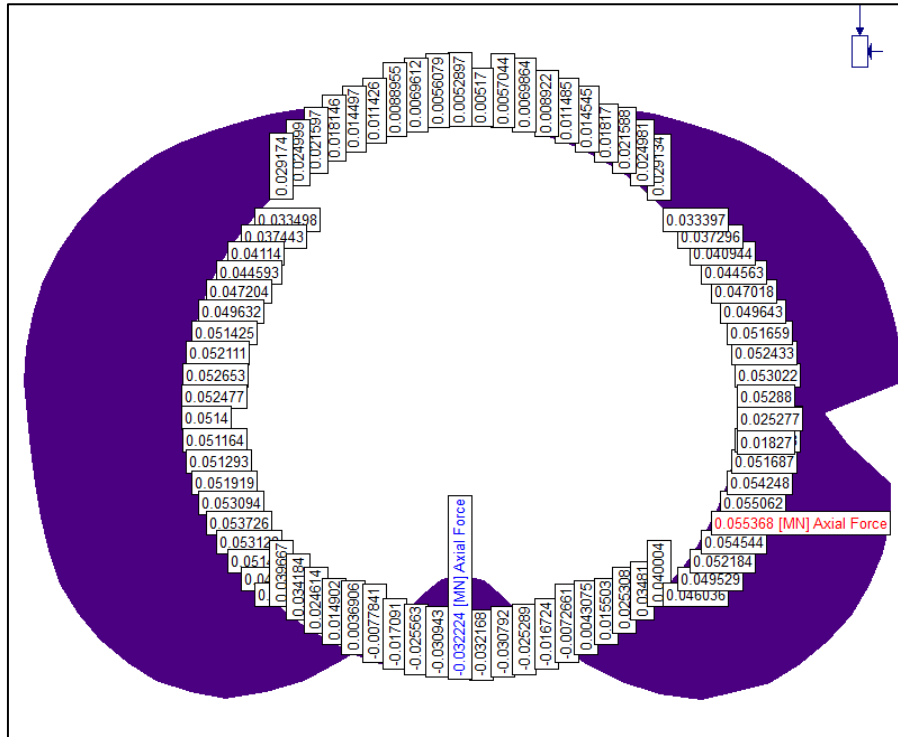
Çizelge 4.15. 0+078 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	119,14	251,69	251,98	17,89	260,55	17,89
M (kN.m)	3,31	-0,20	-1,22	9,37	9,373	-4,40
V (kN)	-0,82	7,28	-7,098	23,75	23,75	-23,57

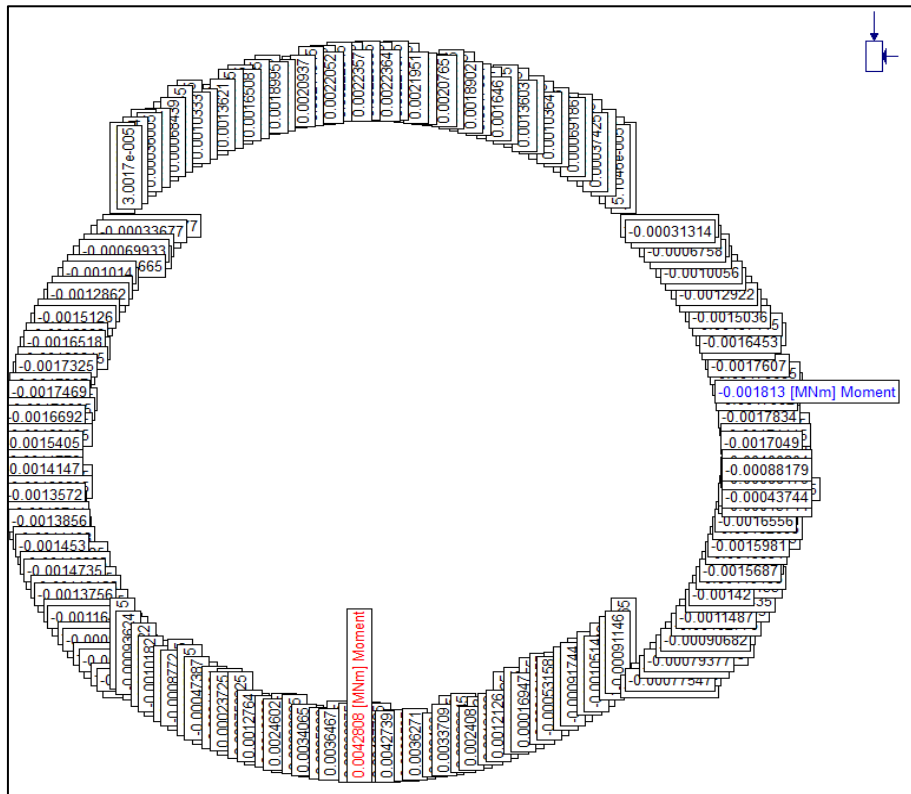
Çizelge 4.16. 0+078 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+078	
	Max	Min
N (kN)	2,69	-0,024

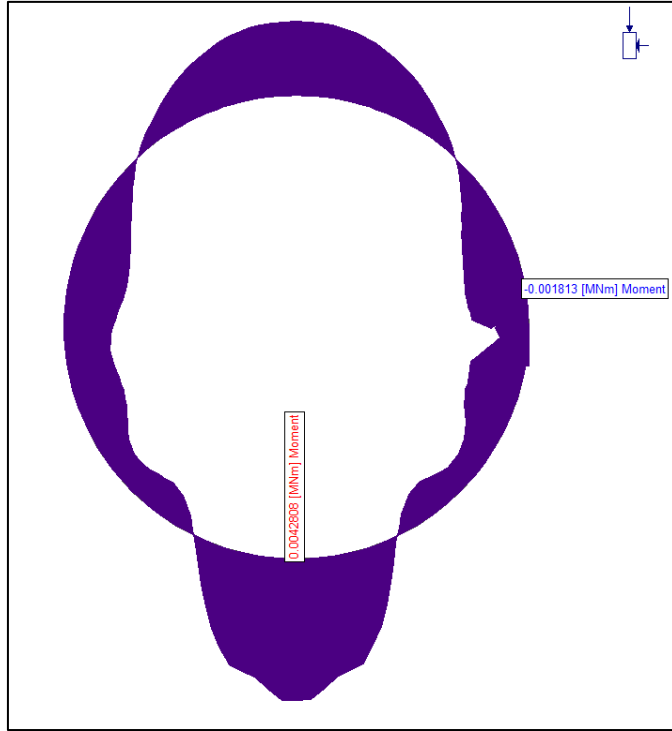
4.10.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları



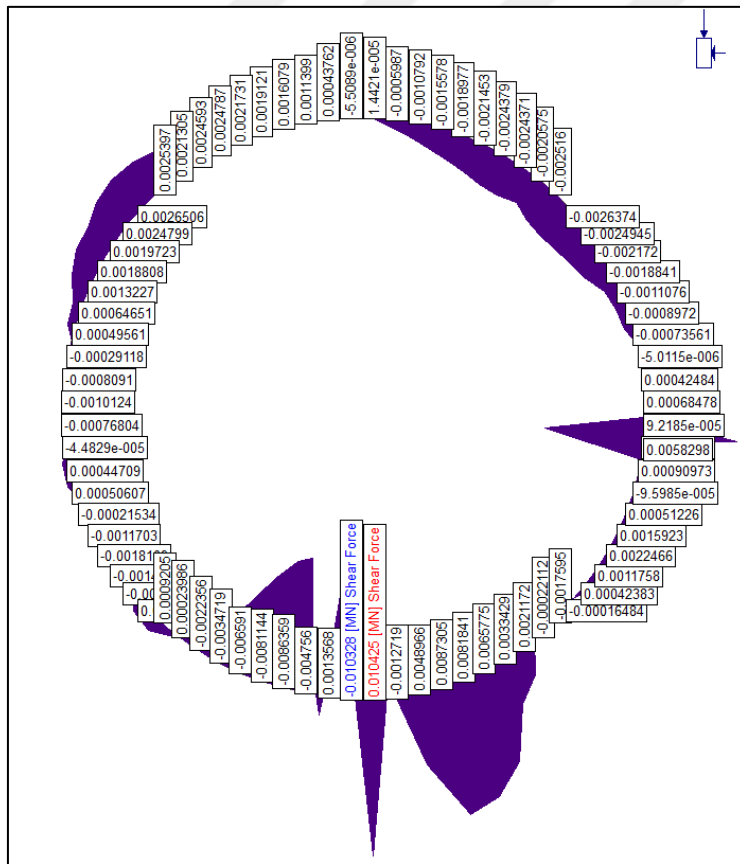
Şekil 4.91. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



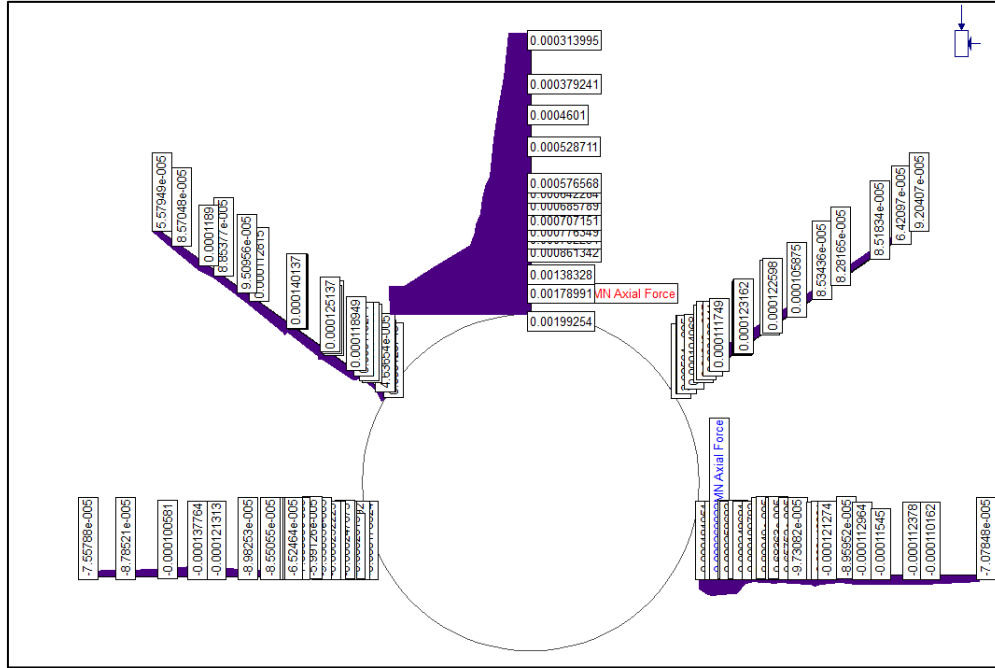
Şekil 4.92. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.93. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.94. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.95. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.17. 0+158 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	5,17	52,88	52,48	-32,17	55,37	-32,22
M (kN.m)	2,24	-1,70	-1,54	4,28	4,28	-1,81
V (kN)	0,01	0,68	-1,01	10,43	10,43	-10,33

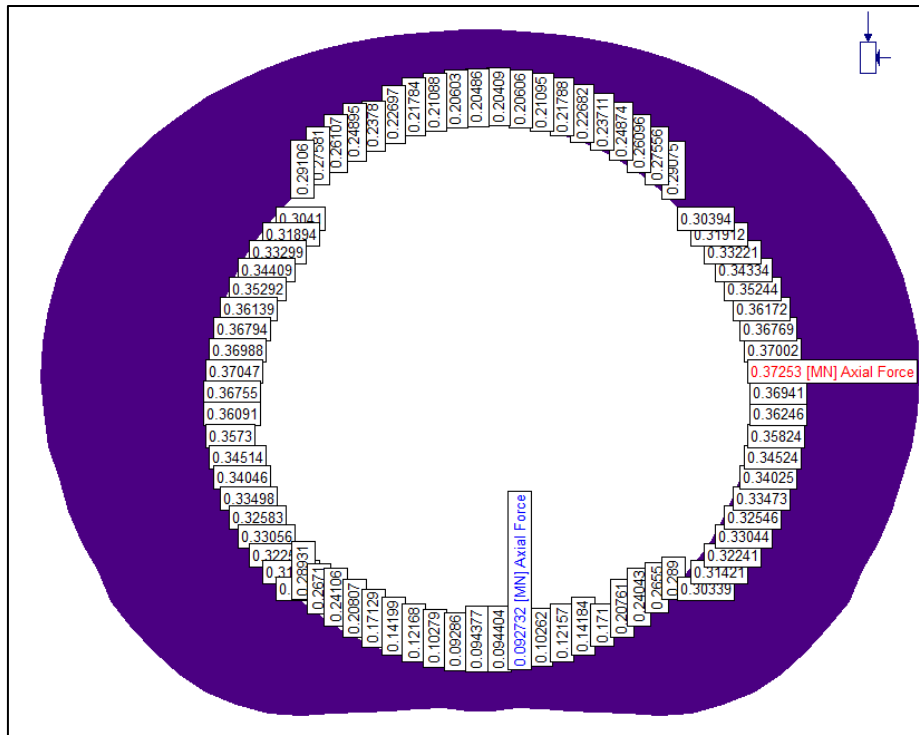
Çizelge 4.18. 0+158 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	9,41	96,24	95,51	-74,31	100,77	-74,43
M (kN.m)	4,08	-3,09	-2,80	9,89	7,79	-4,18
V (kN)	0,02	1,24	-1,84	24,09	18,98	-23,86

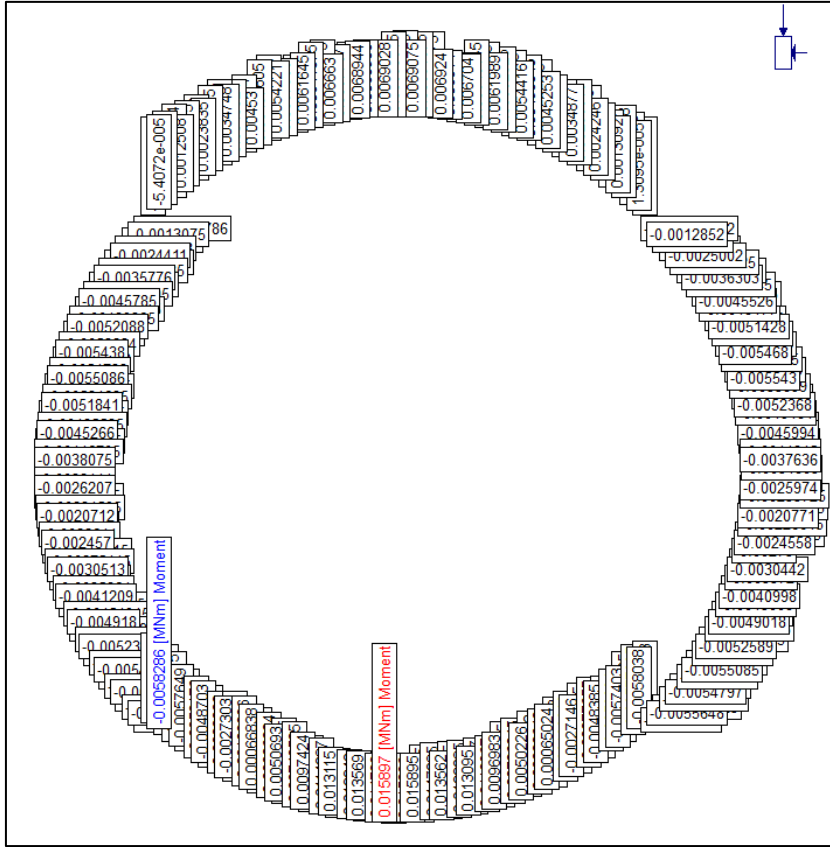
Çizelge 4.19. 0+158 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+158	
	Max	Min
N (kN)	2,00	-0,27

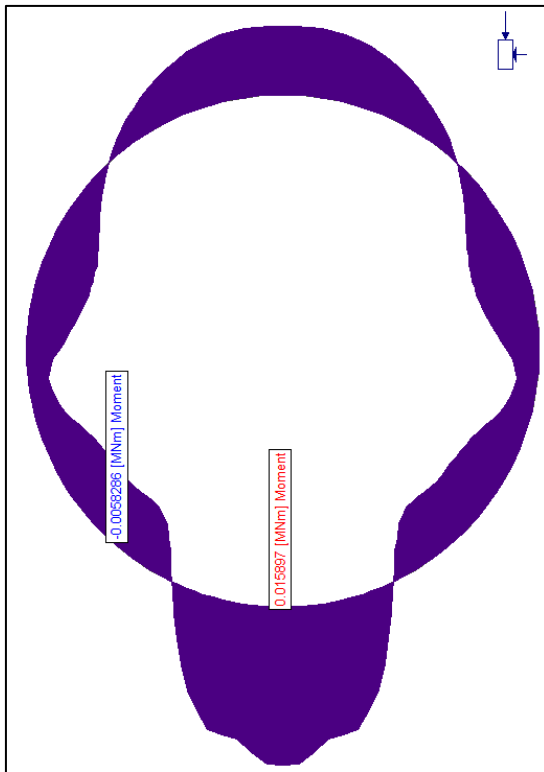
4.10.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları



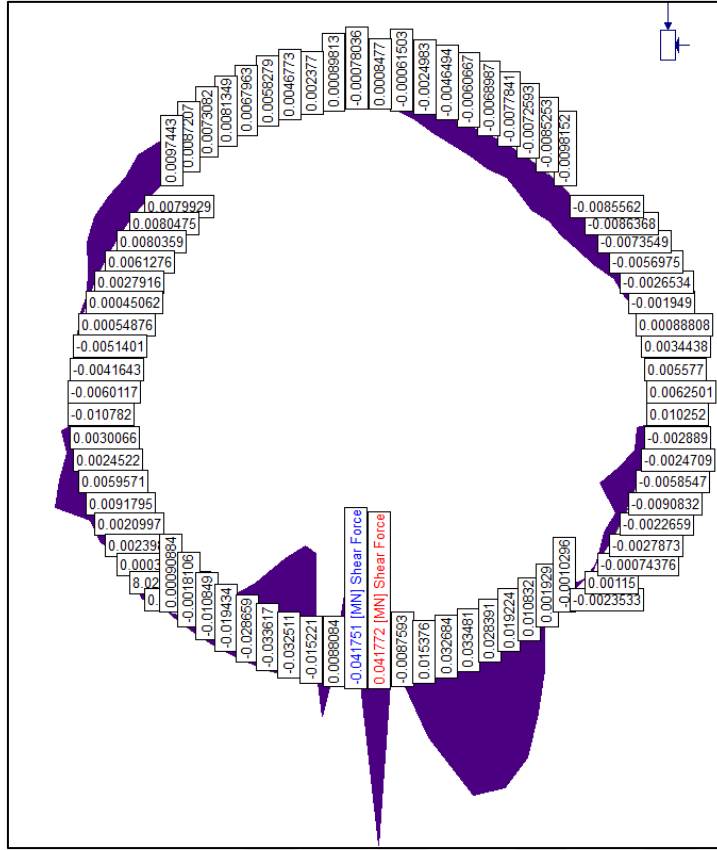
Şekil 4.96. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



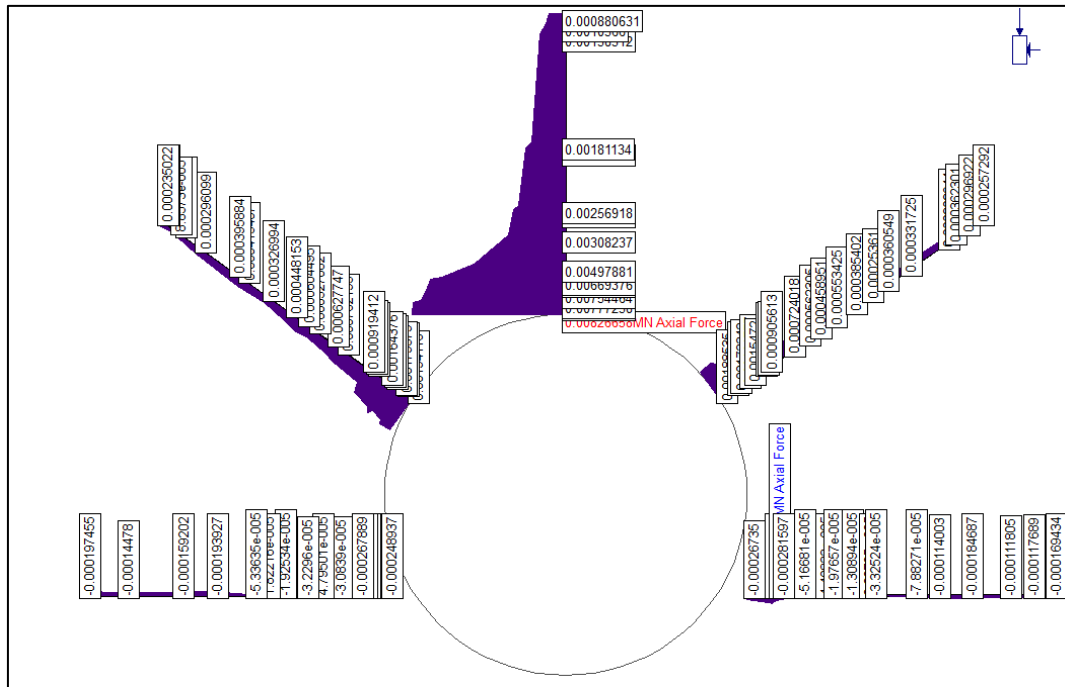
Şekil 4.97. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.98. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.99. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.100. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.20. 0+290 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	204,09	369,41	367,55	94,40	372,53	92,73
M (kN.m)	6,91	-3,76	-3,81	15,90	15,90	-5,83
V (kN)	-0,78	6,25	-6,01	41,77	41,77	-41,75

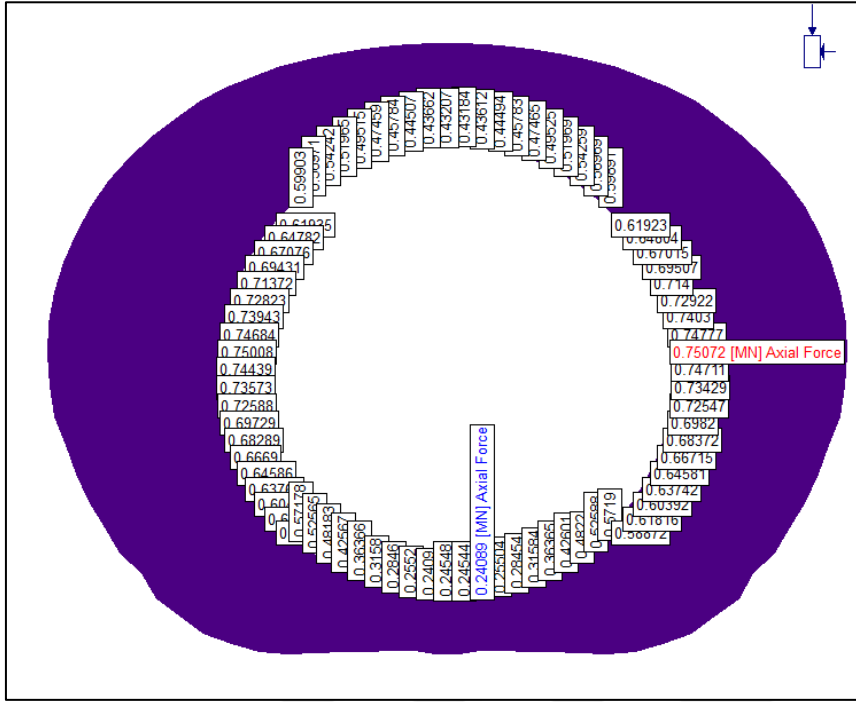
Çizelge 4.21. 0+290 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	371,44	672,33	668,94	171,81	678,00	168,77
M (kN.m)	12,58	-6,84	-6,93	28,94	28,94	-10,61
V (kN)	-1,42	11,38	-10,94	76,02	76,02	-75,99

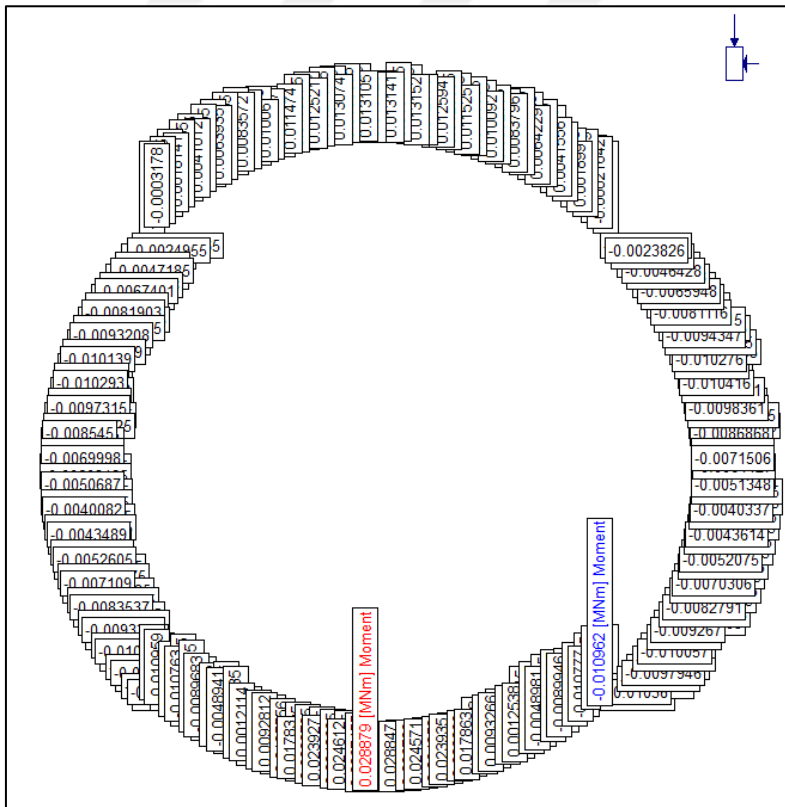
Çizelge 4.22. 0+290 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+290	
	Max	Min
N (kN)	8,26	-0,45

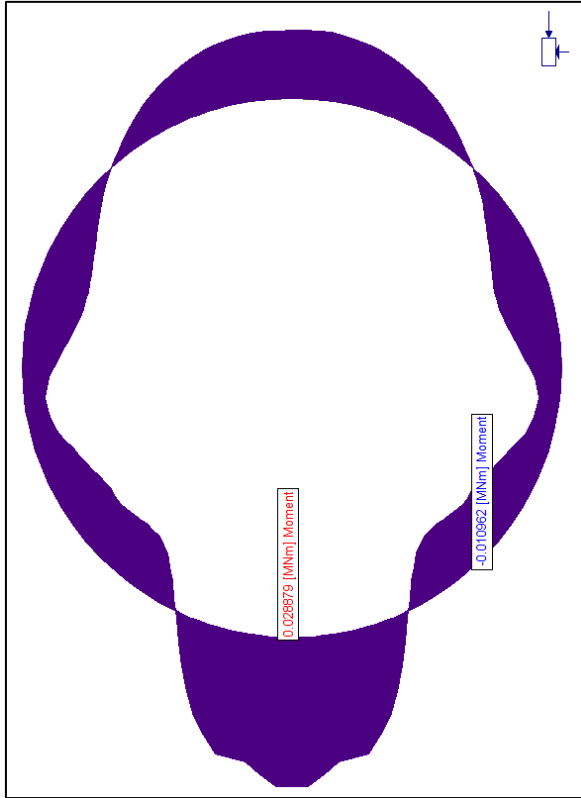
4.10.5. 0+373 Kesiti - analiz sonuçları



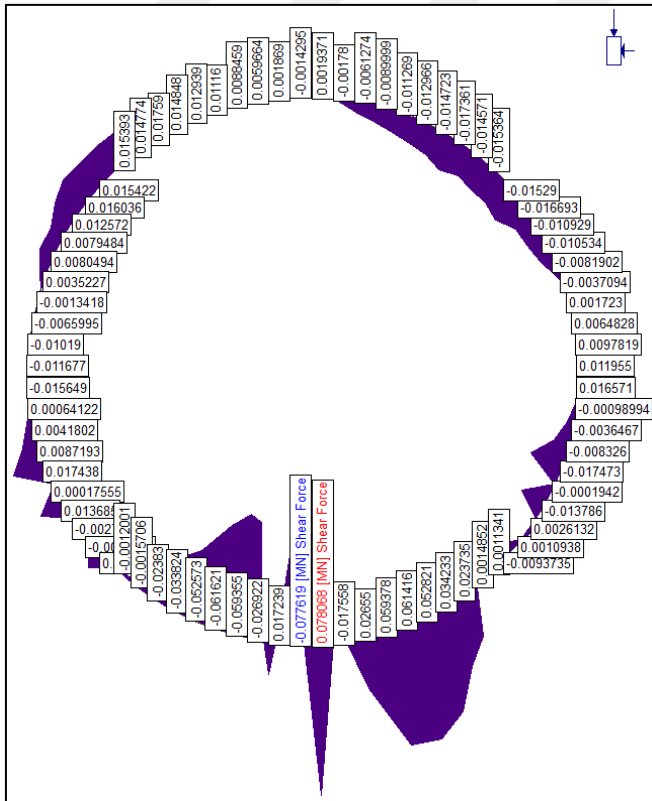
Şekil 4.101. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



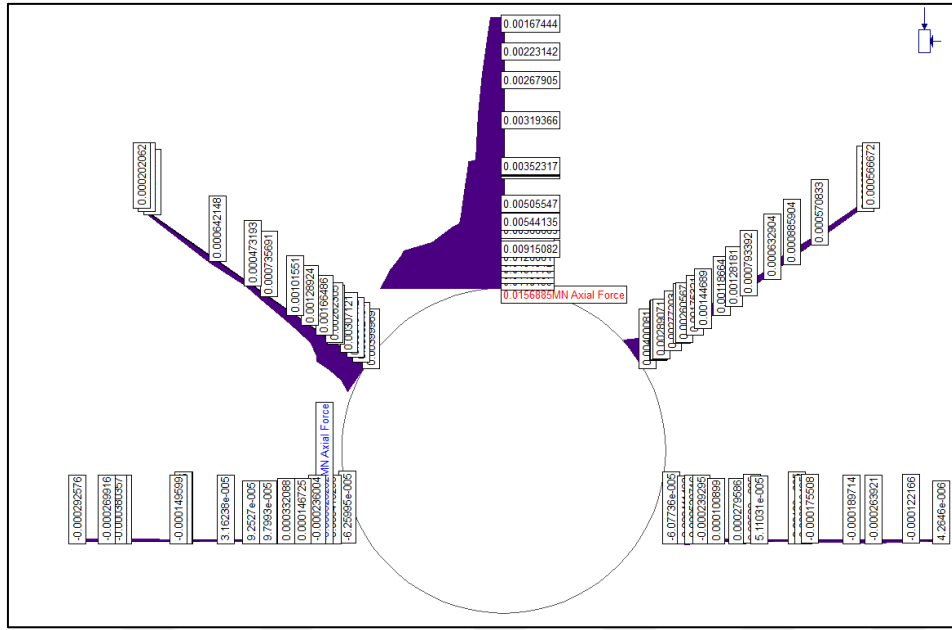
Şekil 4.102. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.103. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.104. 0+373 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.105. 0+373 Kesiti bulon - eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.23. 0+373 Kesiti Phase2 derivasyon durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	431,84	747,11	744,39	245,44	750,72	240,89
M (kN.m)	13,14	-7,15	-6,99	28,88	28,88	-10,96
V (kN)	1,94	11,96	-11,68	78,07	78,07	-77,62

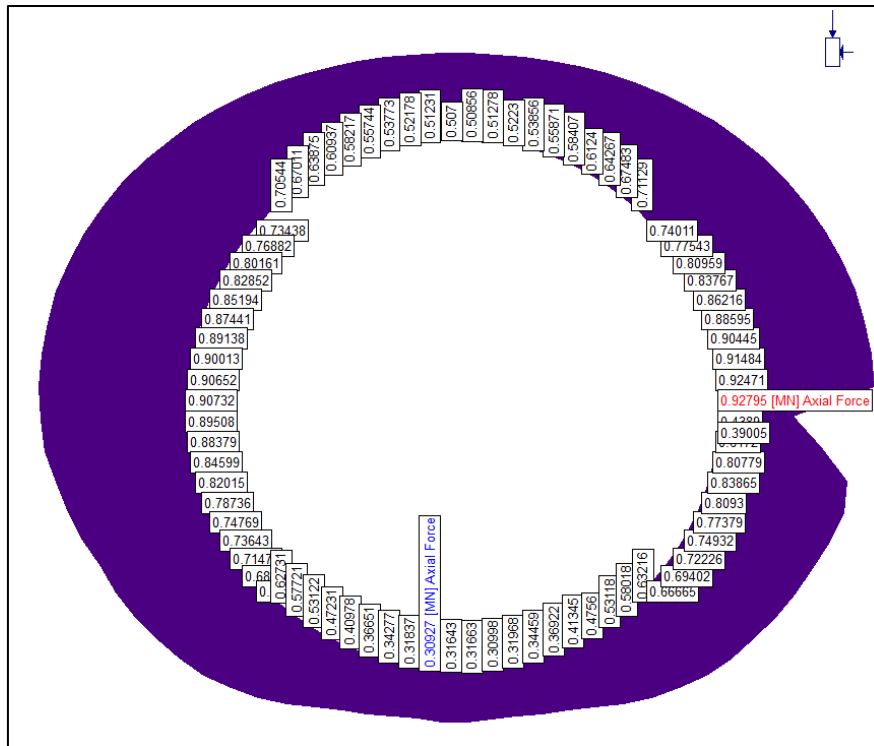
Çizelge 4.24. 0+373 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	785,95	1359,74	1354,79	446,70	1366,31	438,42
M (kN.m)	23,91	-13,01	-12,72	52,56	52,56	-19,95
V (kN)	3,53	21,77	-21,26	142,089	142,09	-141,27

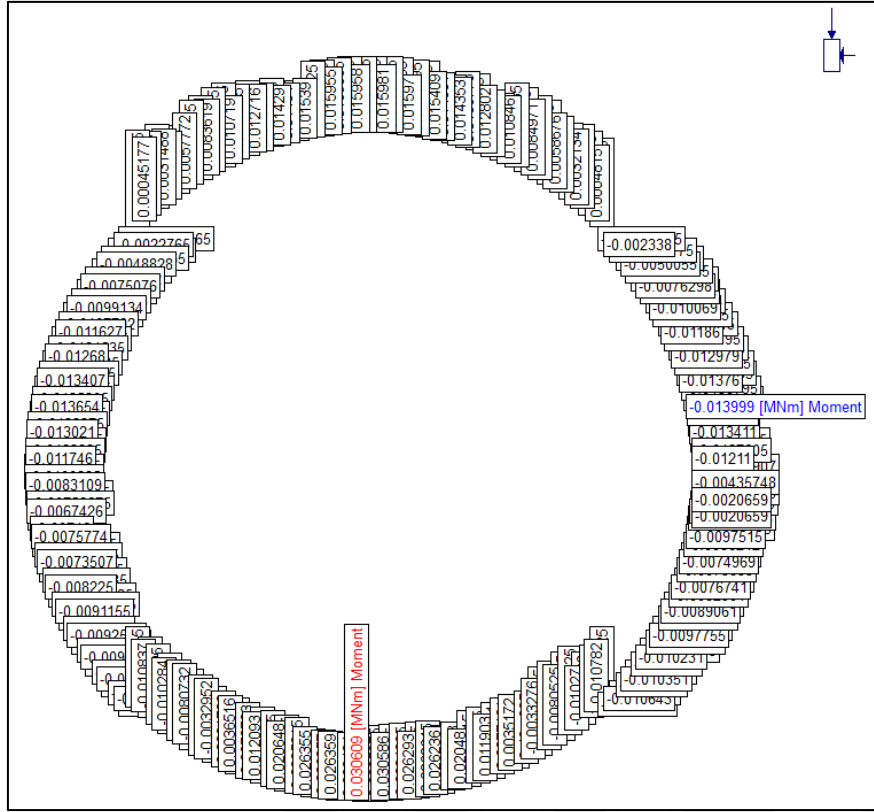
Çizelge 4.25. 0+373 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+373	
	Max	Min
N (kN)	15,69	-0,53

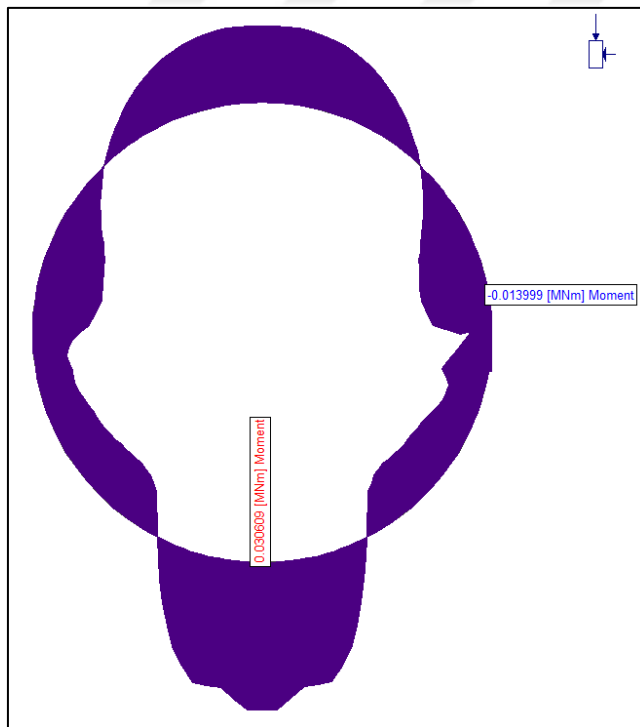
4.10.6. 0+480 Kesiti - analiz sonuçları



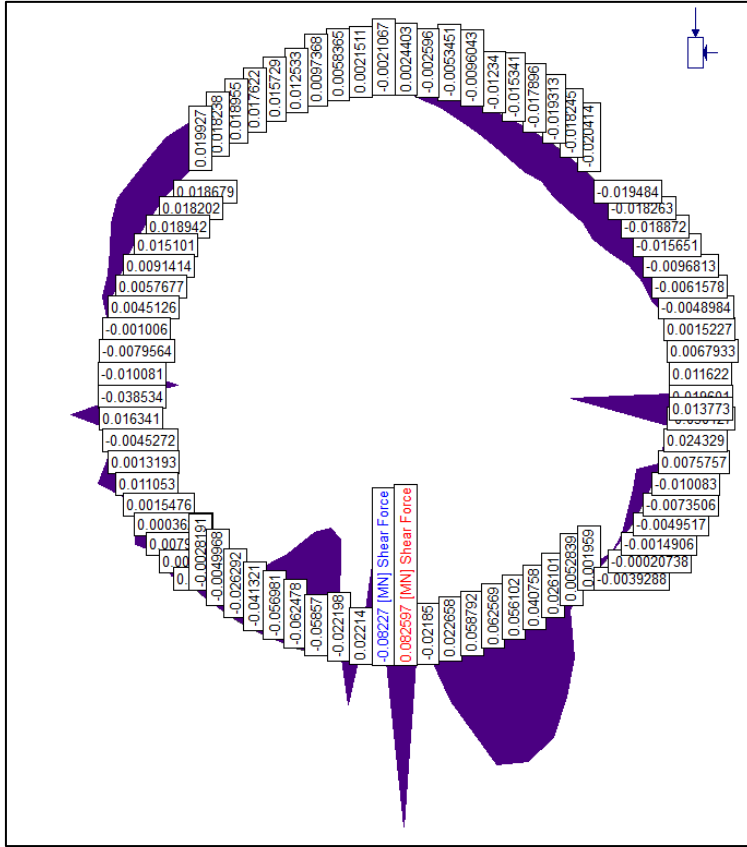
Şekil 4.106. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



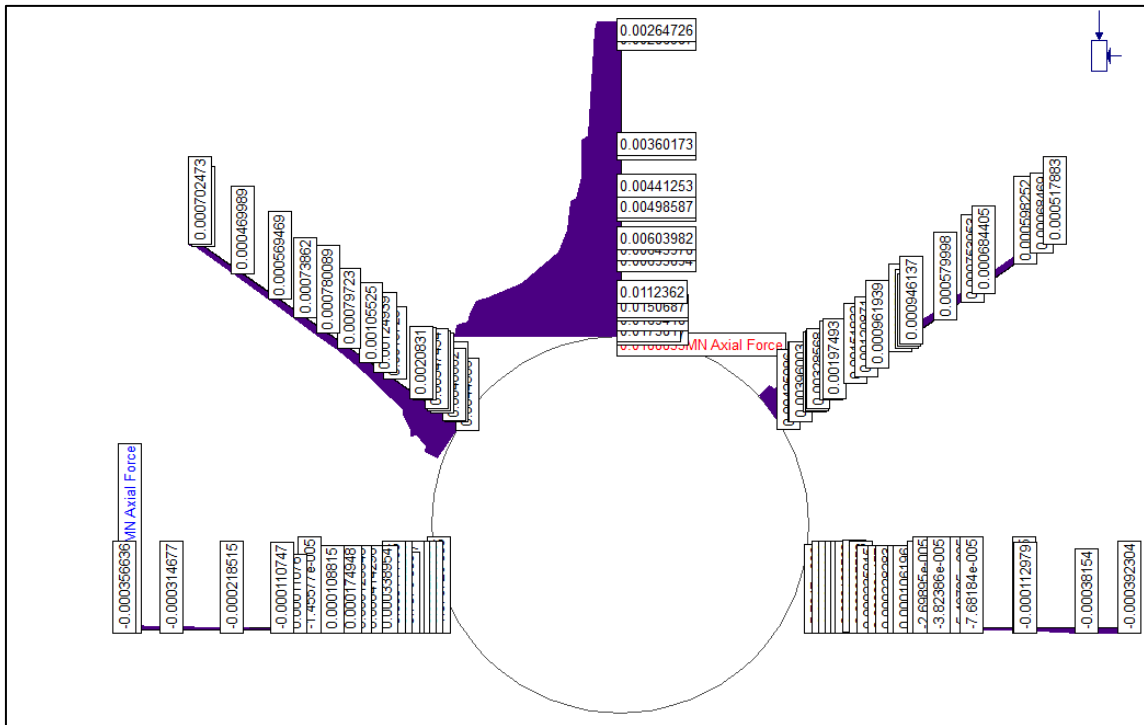
Şekil 4.107. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.108. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.109. 0+480 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.110. 0+480 Kesiti bulon - eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.26. 0+480 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+480					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	508,56	927,95	907,32	316,63	927,95	309,27
M (kN.m)	15,98	-12,11	-11,75	26,29	30,61	-14,00
V (kN)	2,44	11,62	-38,53	82,60	82,60	-82,27

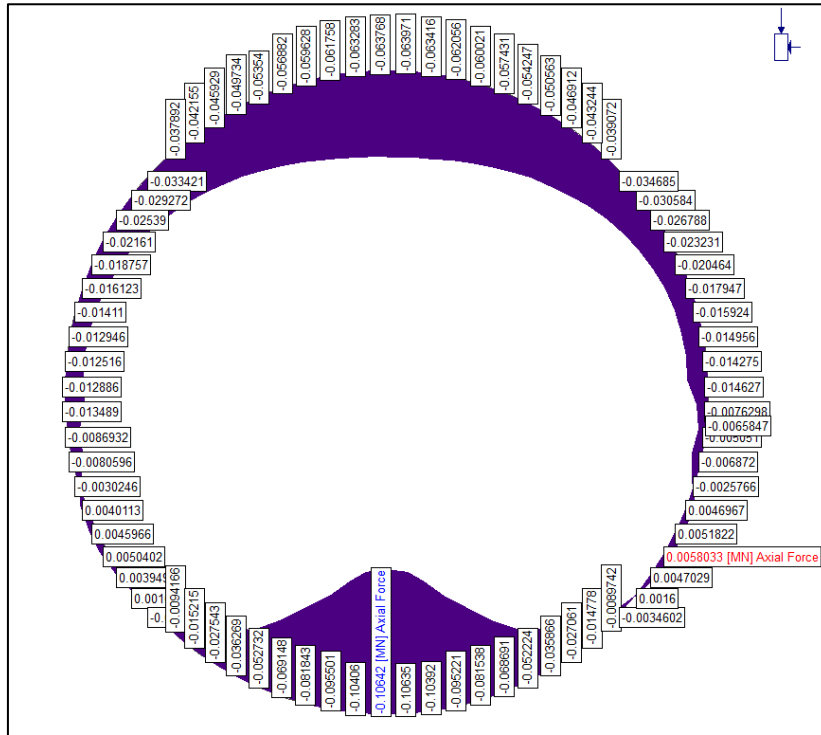
Çizelge 4.27. 0+480 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+480					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	925,58	1688,87	1651,32	576,27	1688,87	562,87
M (kN.m)	29,08	-22,04	-21,39	47,85	55,71	-25,48
V (kN)	4,44	21,15	-70,12	150,33	150,33	-149,73

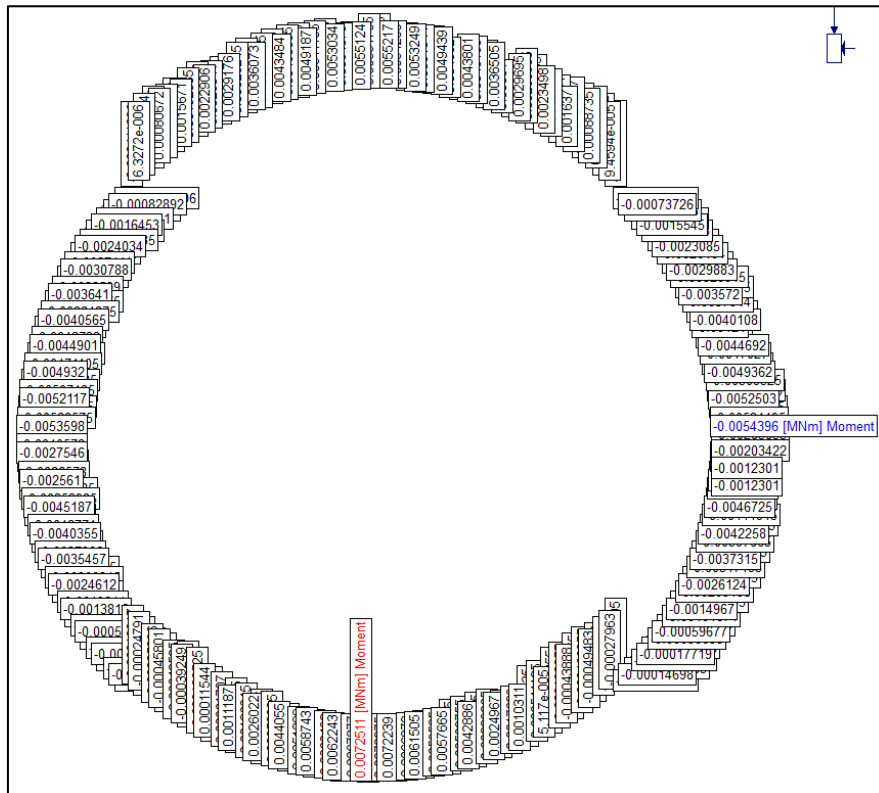
Çizelge 4.28. 0+480 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+480	
	Max	Min
N (kN)	18,89	-0,48

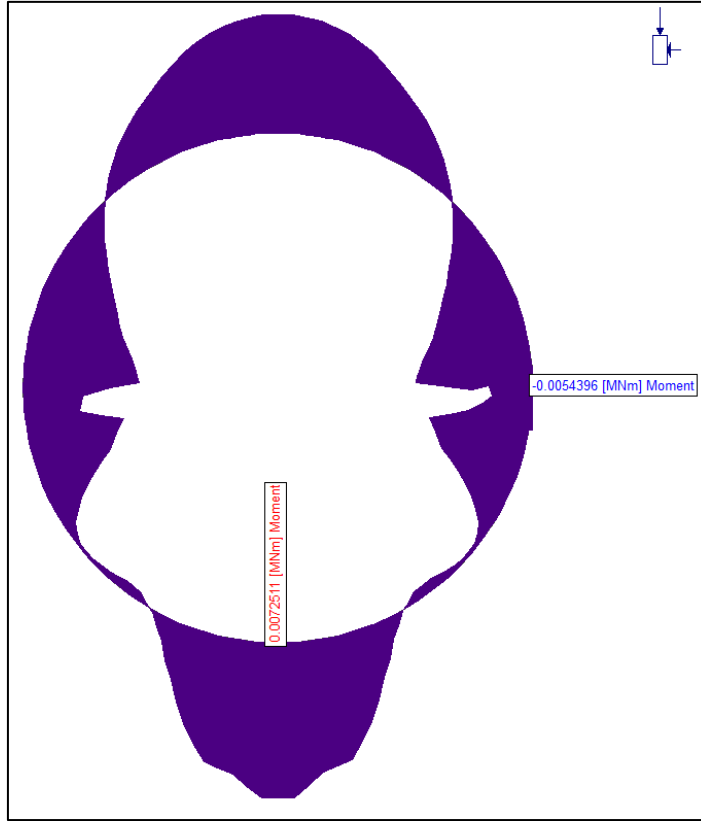
4.10.7. 0+730 Kesiti - analiz sonuçları



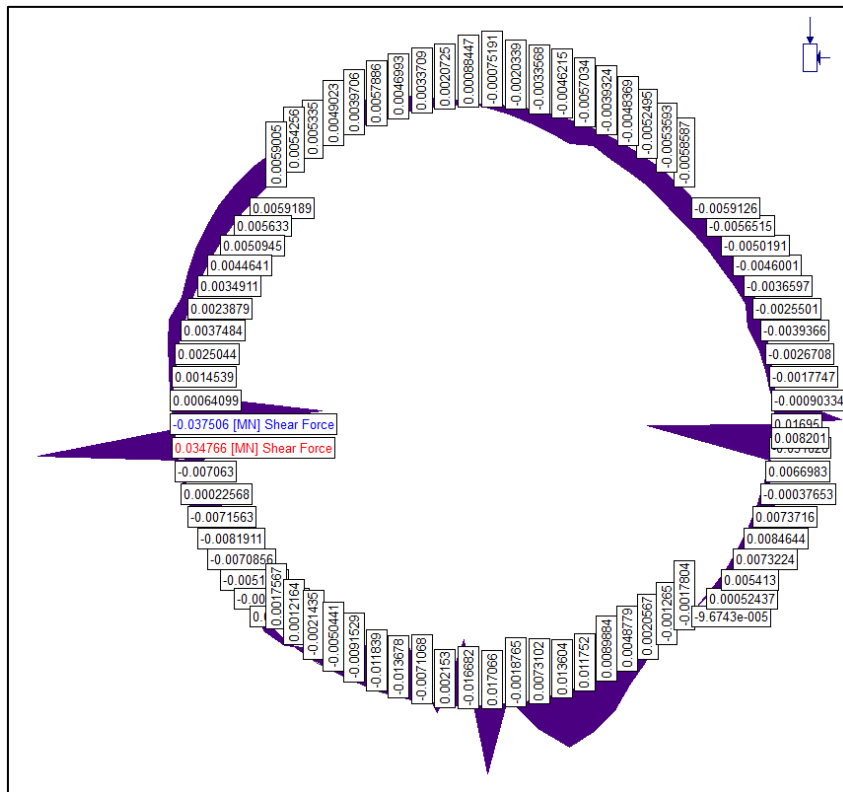
Şekil 4.111. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



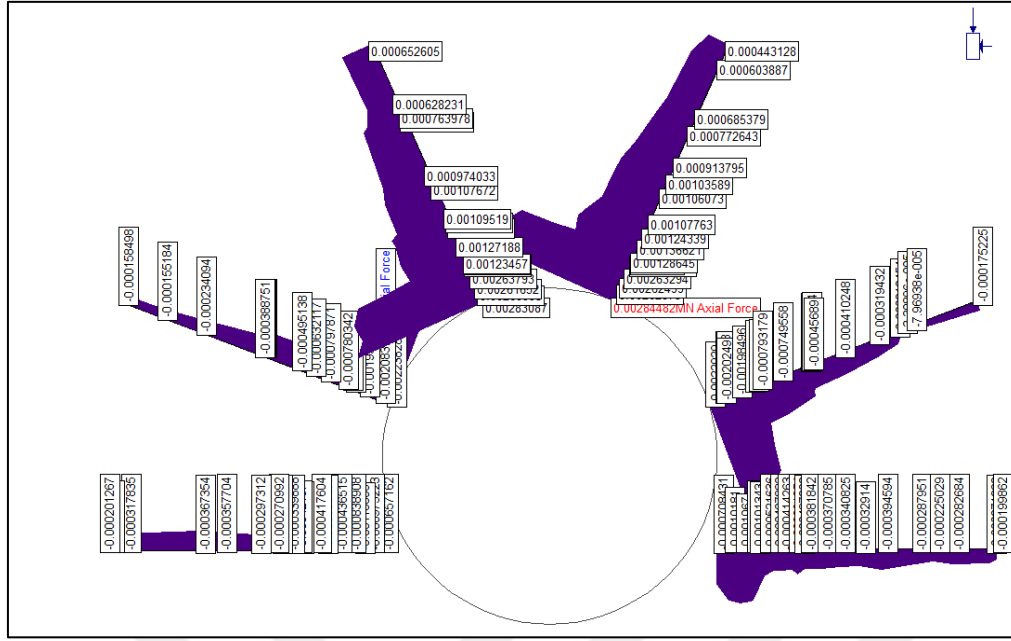
Şekil 4.112. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.113. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.114. 0+730 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.115. 0+730 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.29. 0+730 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+730					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-63,98	-14,63	-12,89	-106,42	-106,42	5,80
M (kN.m)	5,52	-5,44	-5,36	7,22	7,22	-5,44
V (kN)	-0,75	-0,90	0,6	-16,68	-37,51	34,77

Çizelge 4.30. 0+730 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

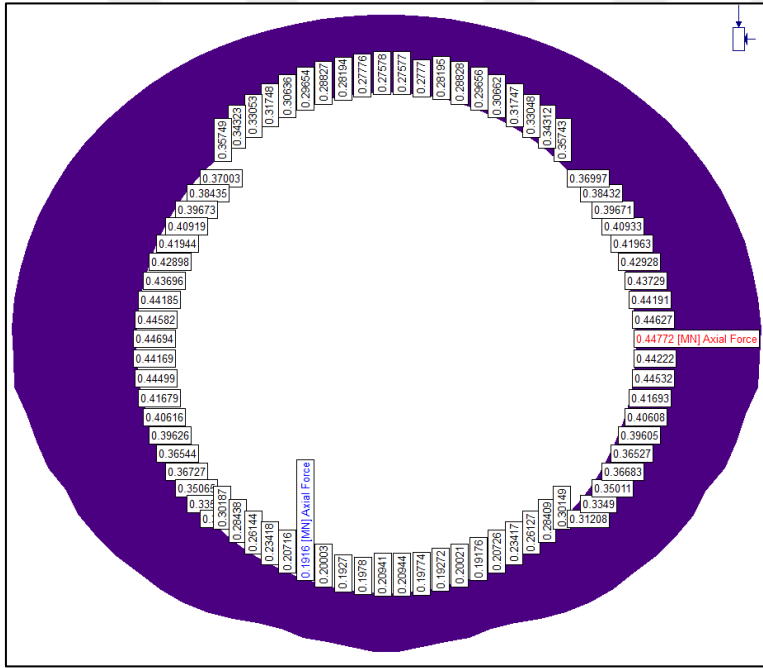
Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Derivasyon Yükleme Durumu					
	0+730					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-147,79	-33,80	-29,78	-245,83	-245,83	10,556
M (kN.m)	12,75	-12,57	-12,38	16,68	16,68	-9,90
V (kN)	-1,73	-2,08	1,39	-38,53	-86,65	63,28

Çizelge 4.31. 0+730 Kesiti Phase2 analizi derivasyon durumu bulon eksenel kuvvetleri

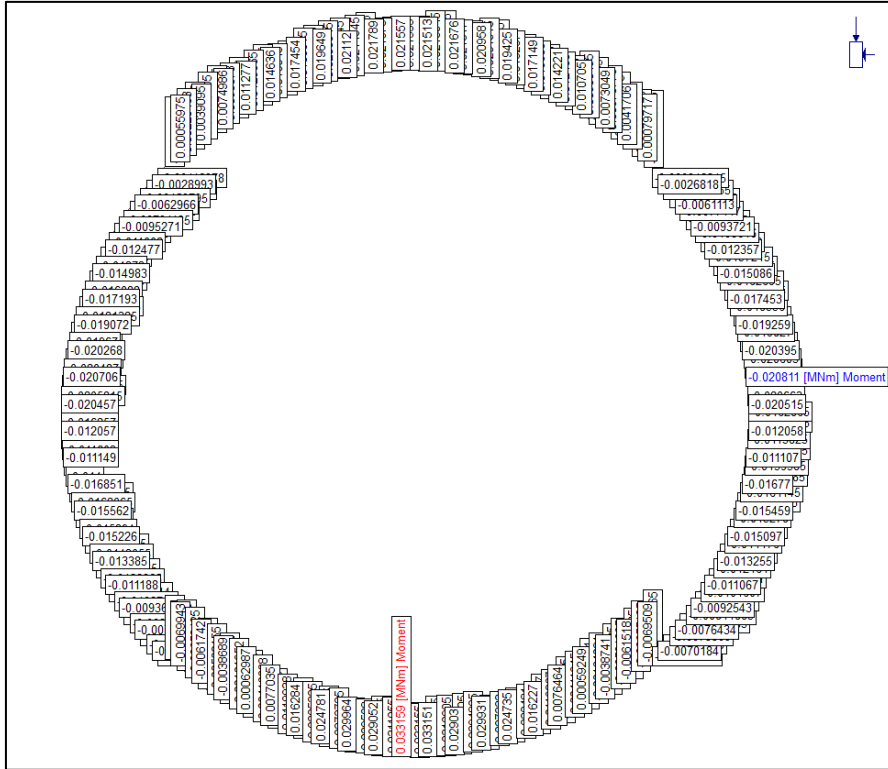
Phase 2 Analiz Sonuçları	Derivasyon Yükleme Durumu	
	0+730	
	Max	Min
N (kN)	2,84	-2,36

4.11. İnşaat Sonu Durumu Analizi ve Sonuçları

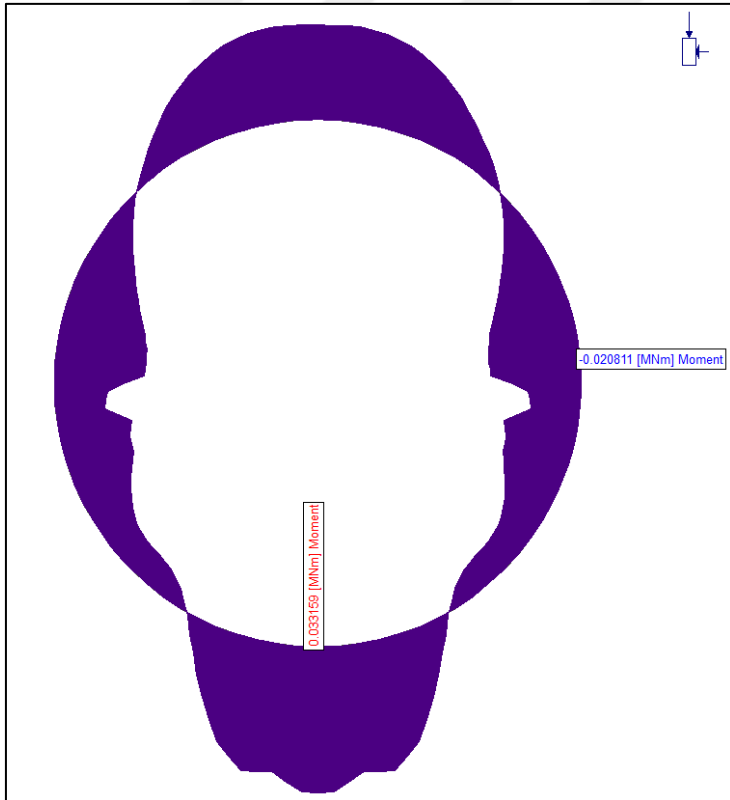
4.11.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları



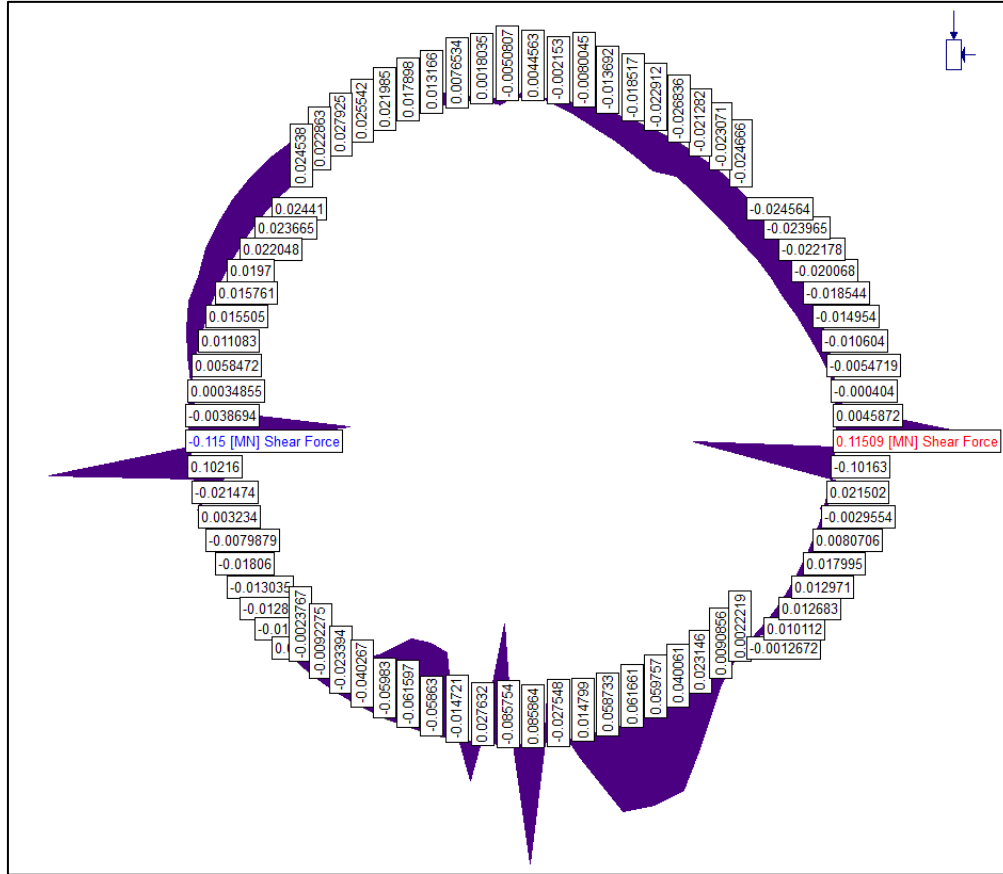
Şekil 4.116. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



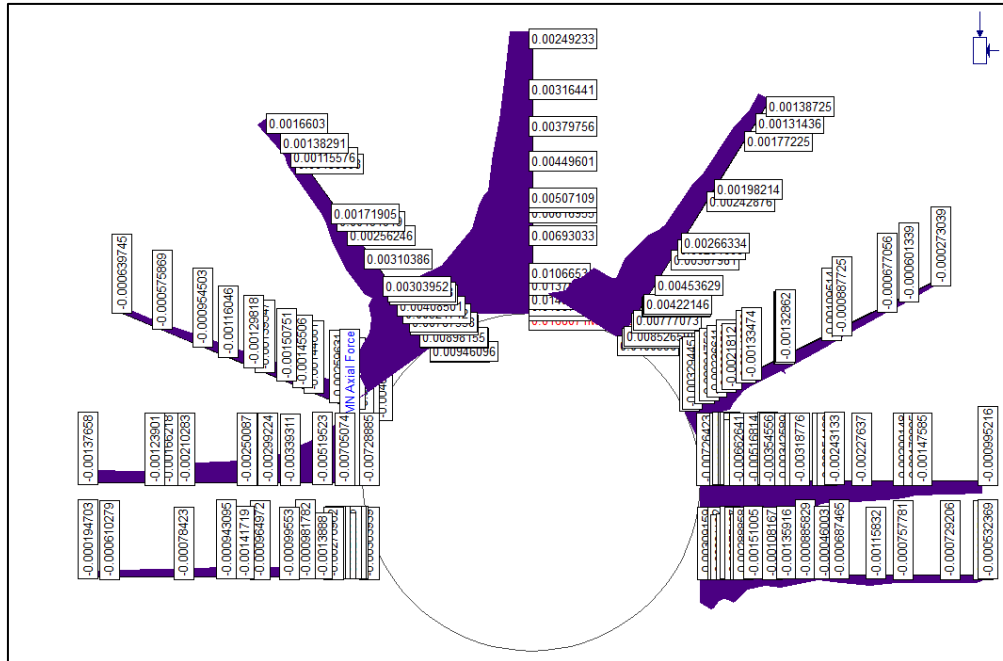
Şekil 4.117. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.118. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.119. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.120. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.32. 0+024 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	275,77	447,72	446,94	209,44	447,72	191,6
M (kN.m)	21,51	-20,52	-20,46	33,16	33,16	-20,81
V (kN)	4,45	4,59	-3,87	85,86	115,09	-115

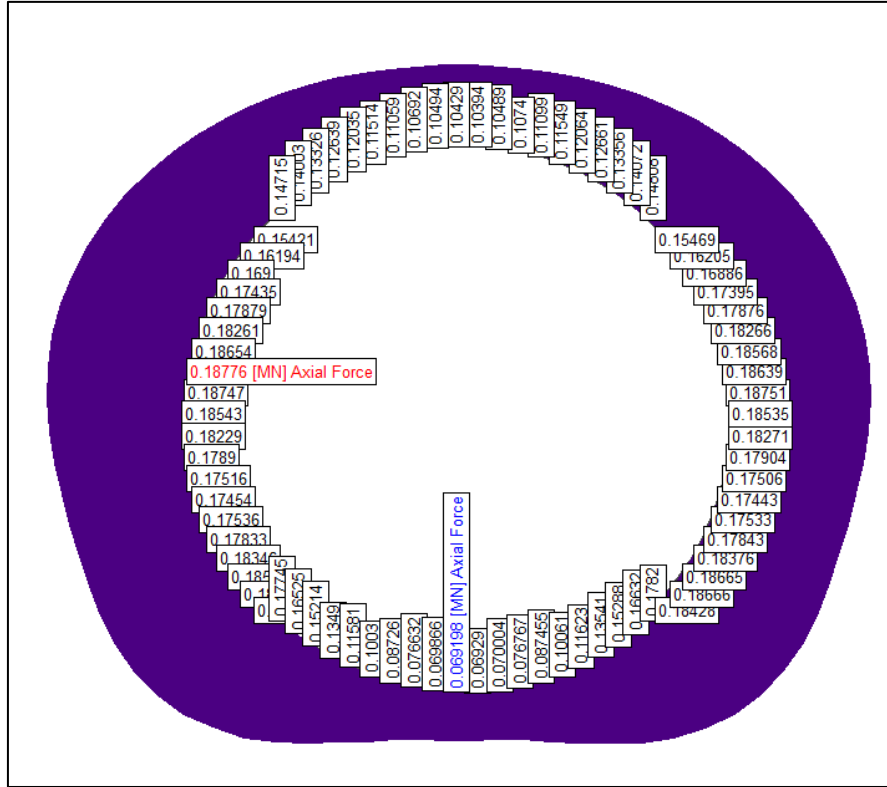
Çizelge 4.33. 0+024 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	501,90	814,85	813,43	381,18	814,85	348,71
M (kN.m)	39,15	-37,35	-37,24	60,35	60,35	-37,87
V (kN)	8,10	8,34	-7,04	156,27	209,46	-209,3

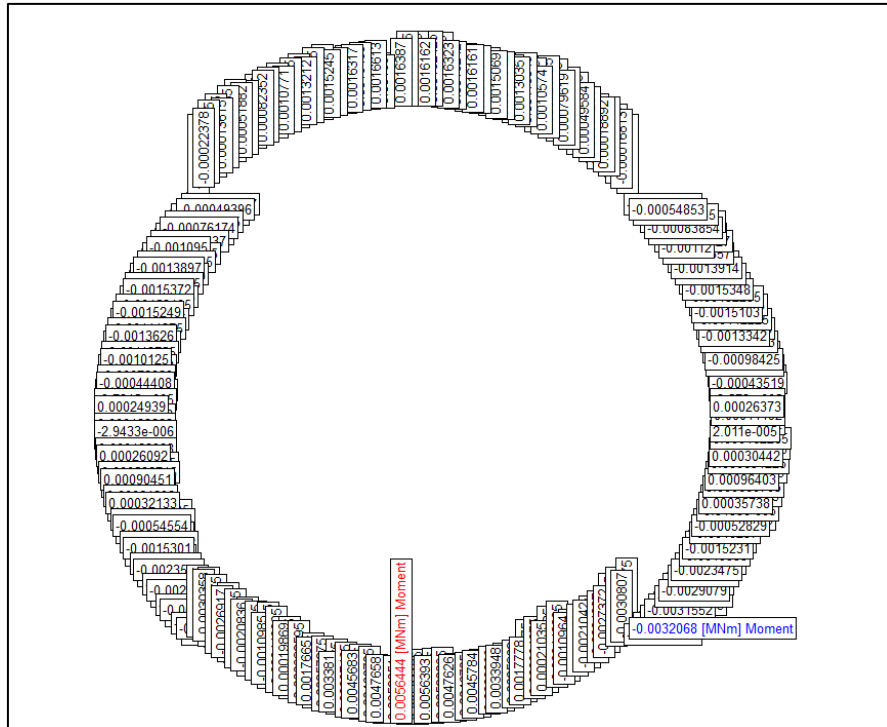
Çizelge 4.34. 0+024 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Yükleme Durumu	
	0+024	
	Max	Min
N (kN)	16,81	-7,41

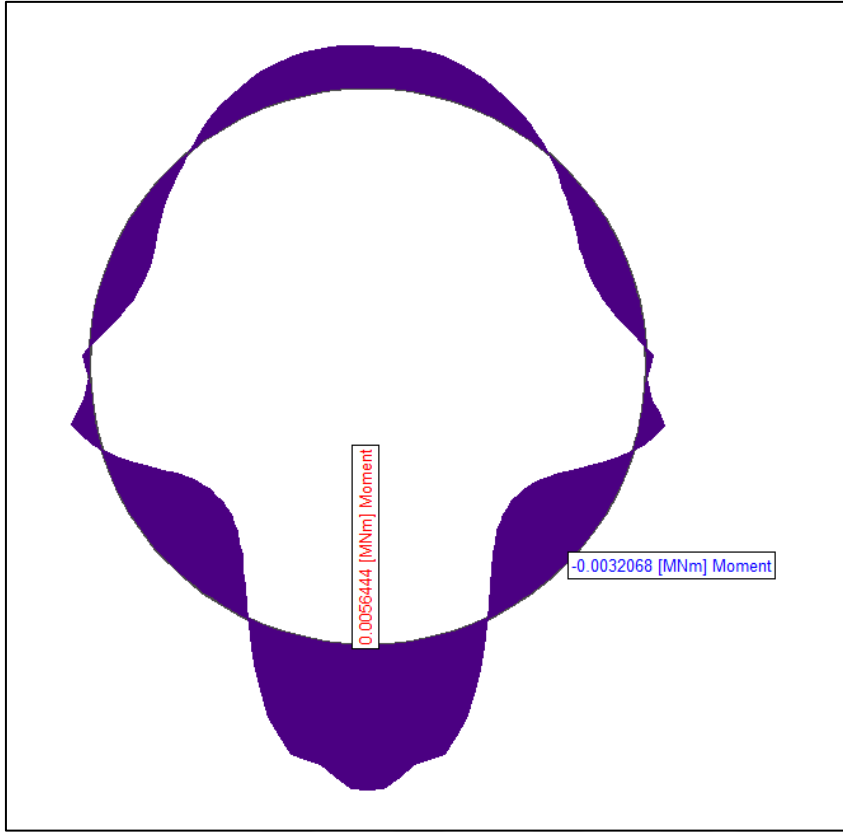
4.11.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları



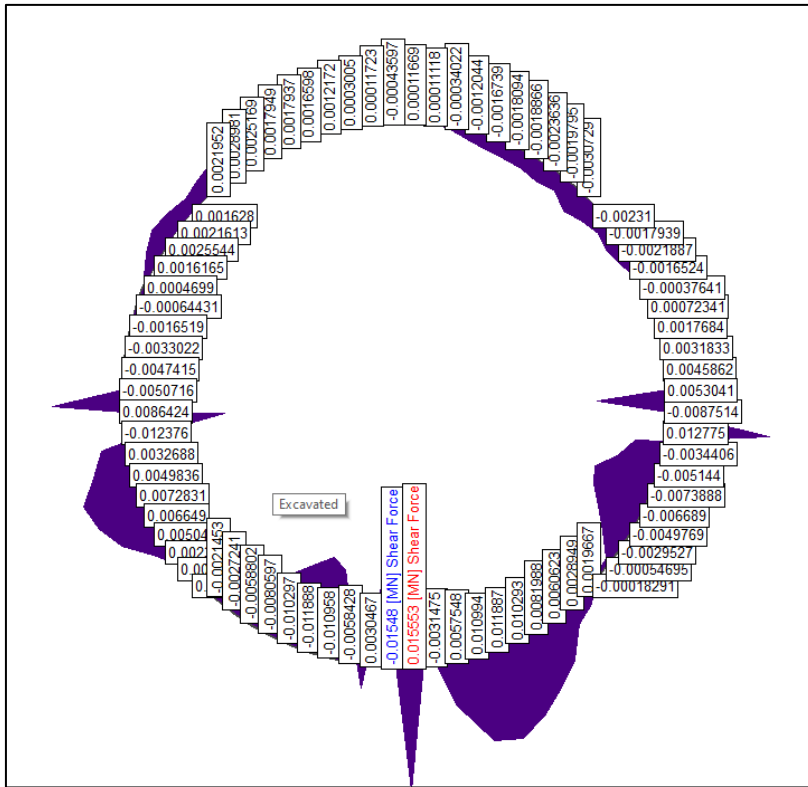
Şekil 4.121. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



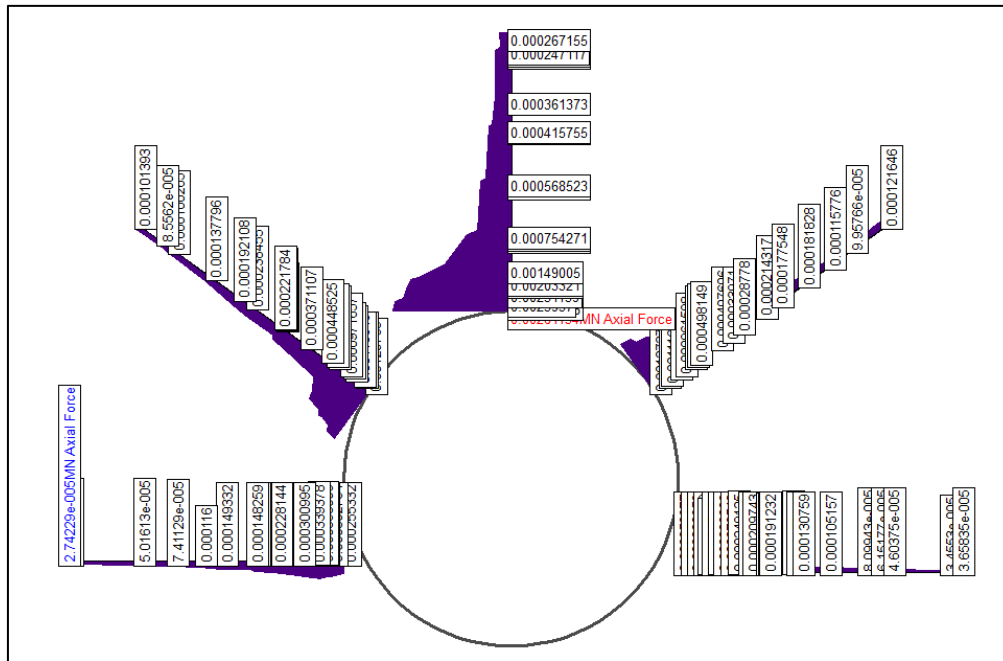
Şekil 4.122. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.123. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.124. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.125. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.35. 0+078 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	104,29	185,35	182,29	69,29	187,76	69,19
M (kN.m)	1,64	-0,4	-0,25	5,64	5,64	-3,2
V (kN)	-0,44	5,3	-5,07	15,53	15,53	-15,48

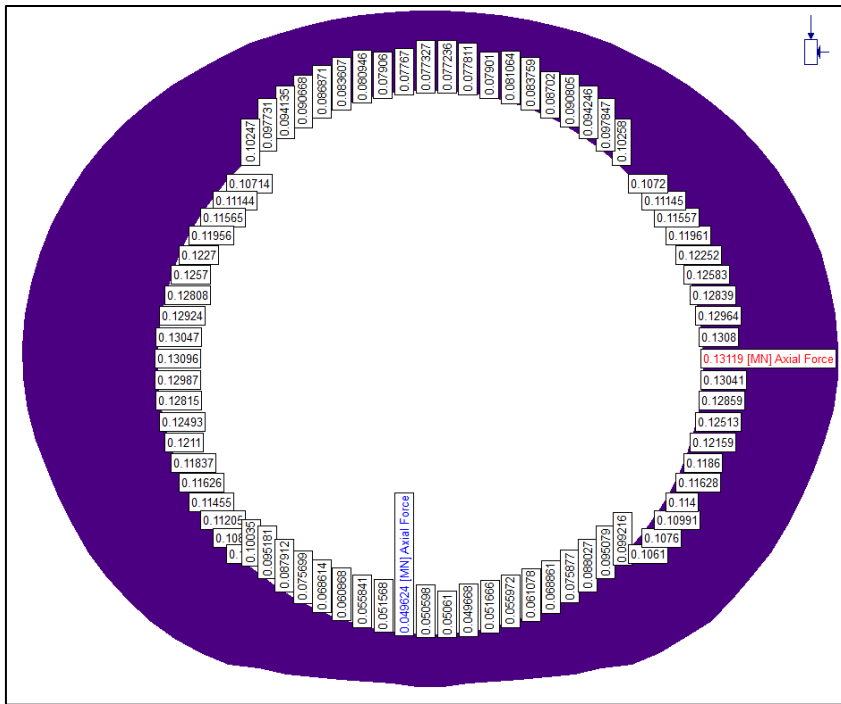
Çizelge 4.36. 0+078 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	189,81	337,34	331,77	126,11	341,72	125,93
M (kN.m)	2,98	-0,73	-0,46	10,26	10,26	-5,82
V (kN)	-0,80	9,65	-9,23	28,26	28,26	-28,17

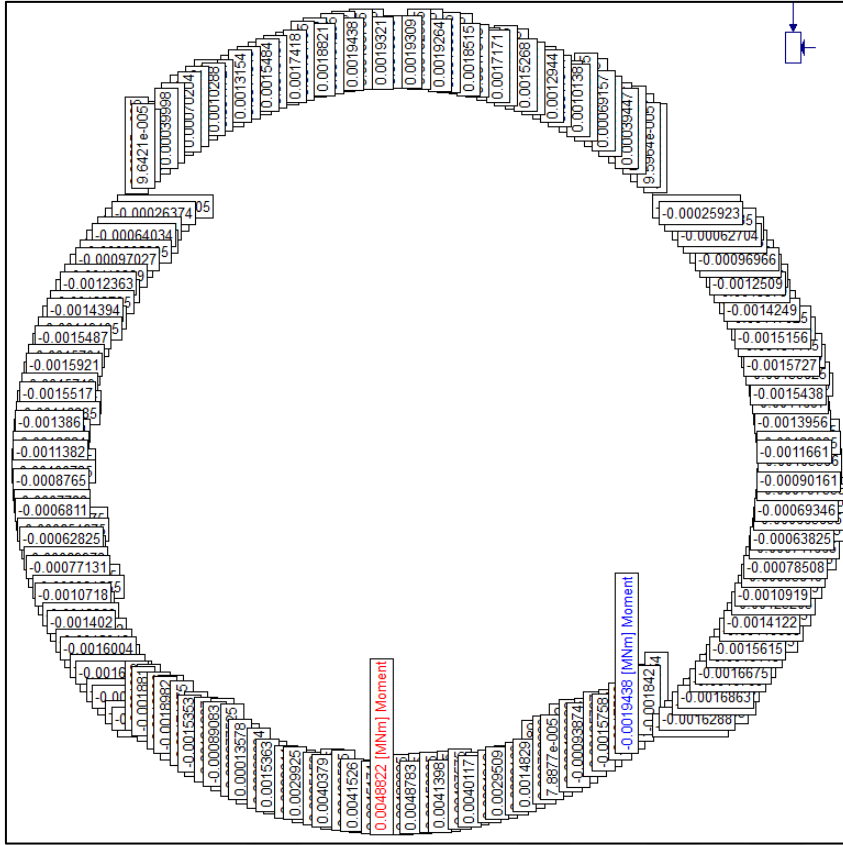
Çizelge 4.37. 0+078 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu	
	0+078	
	Max	Min
N (kN)	2,61	0,027

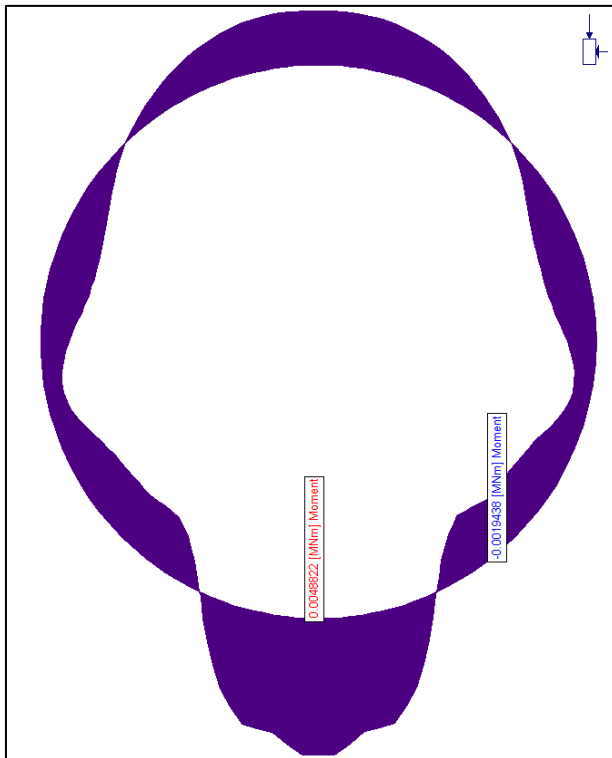
4.11.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları



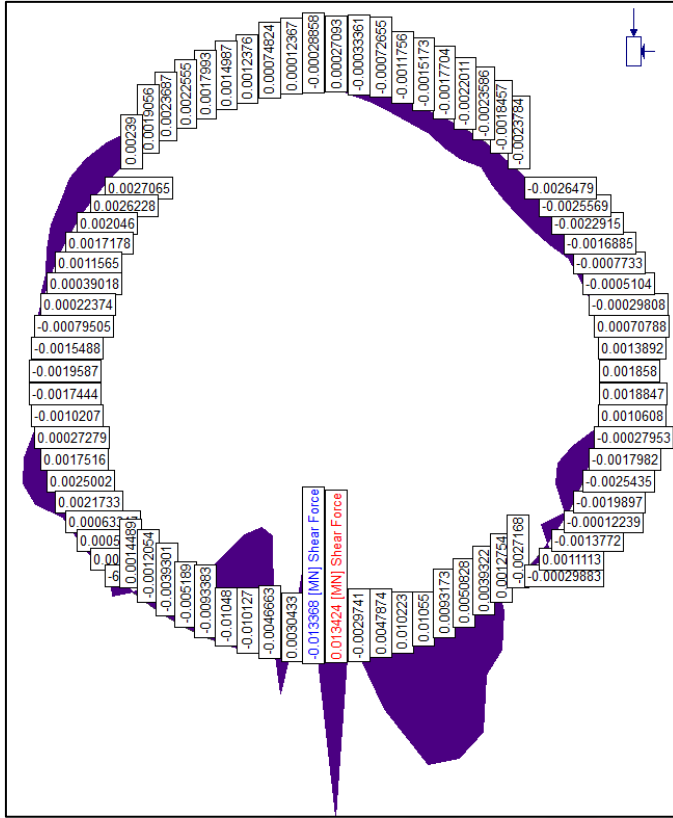
Şekil 4.126. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



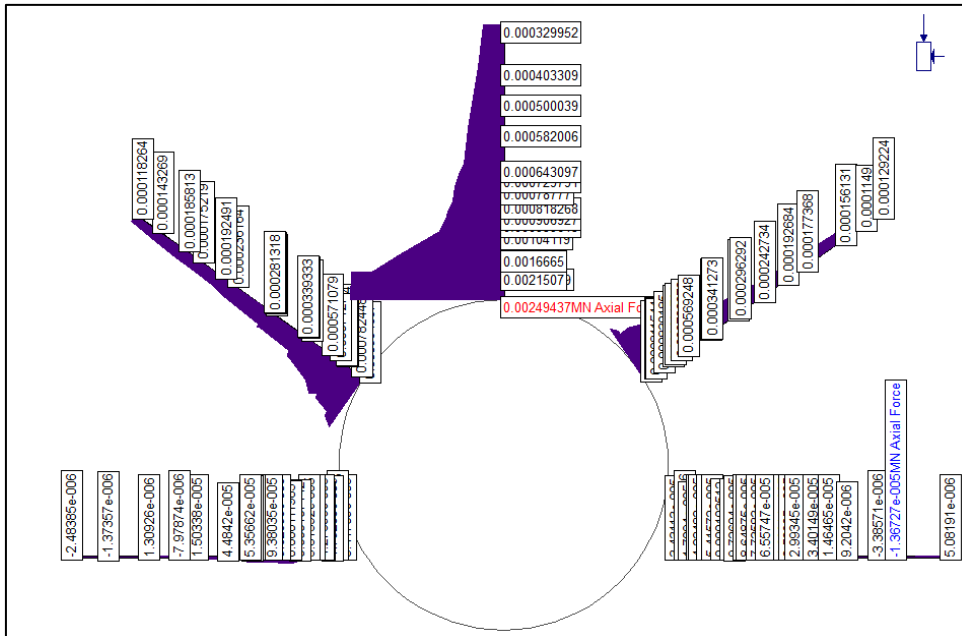
Şekil 4.127. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.128. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.129. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.130. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.38. 0+158 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	77,24	131,19	130,96	50,60	131,19	49,62
M (kN.m)	1,93	-1,17	-0,88	4,88	4,88	-1,94
V (kN)	0,27	1,86	-1,96	13,42	13,42	-13,37

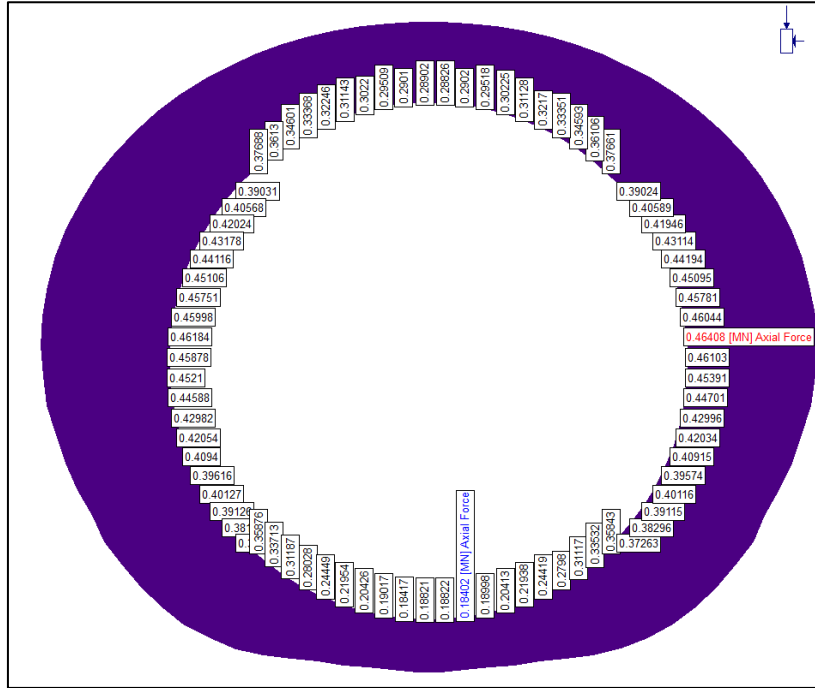
Çizelge 4.39. 0+158 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	140,58	238,77	238,35	92,09	238,77	90,31
M (kN.m)	3,51	-2,13	-1,60	8,88	8,88	-3,53
V (kN)	0,49	3,39	-3,57	24,42	24,42	-24,33

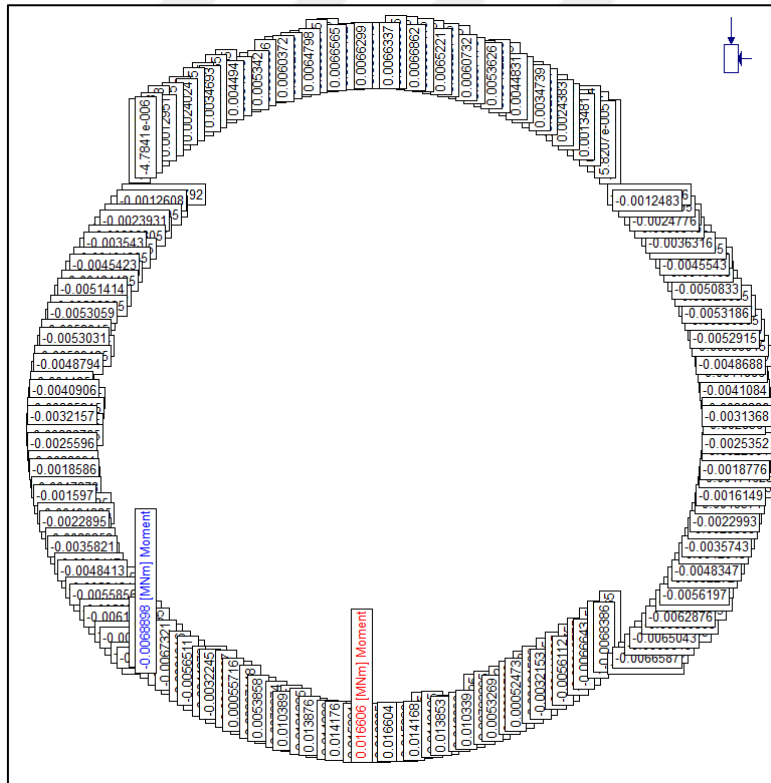
Çizelge 4.39. 0+158 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu	
	0+158	
	Max	Min
N (kN)	2,49	-0,01

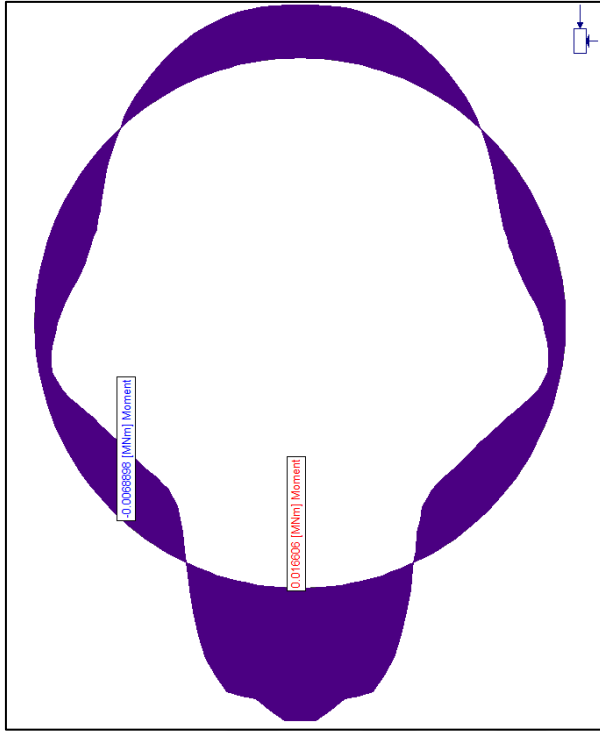
4.11.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları



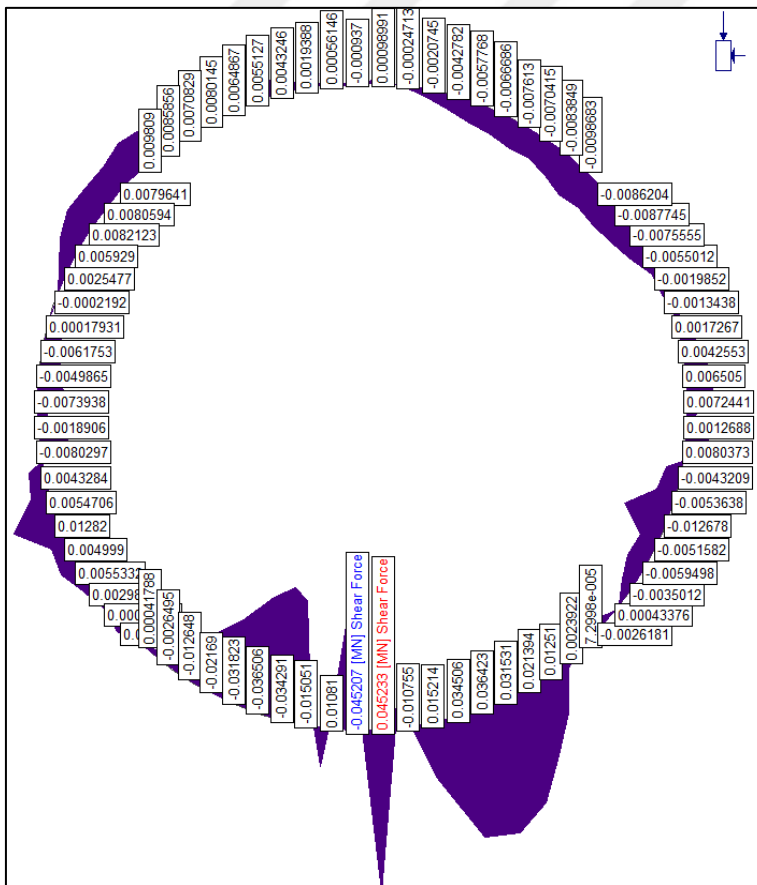
Şekil 4.131. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



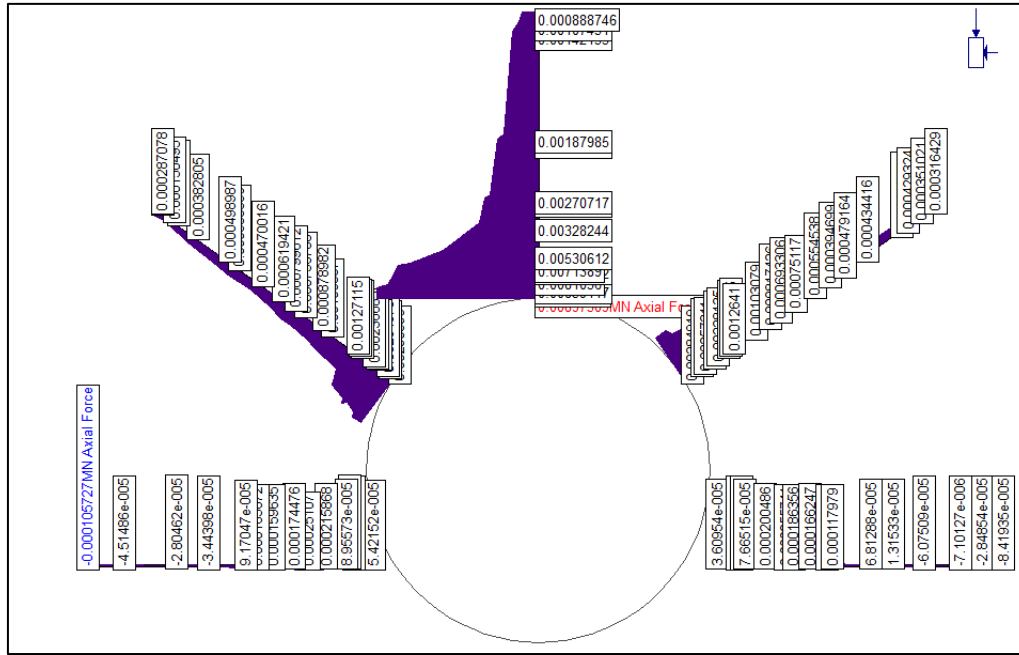
Şekil 4.132. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.133. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.134. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.135. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.40. 0+290 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	288,26	464,08	461,84	188,22	464,08	184,02
M (kN.m)	6,63	-4,11	-3,22	16,61	16,61	-6,89
V (kN)	0,99	7,24	-7,39	-45,21	45,23	-45,21

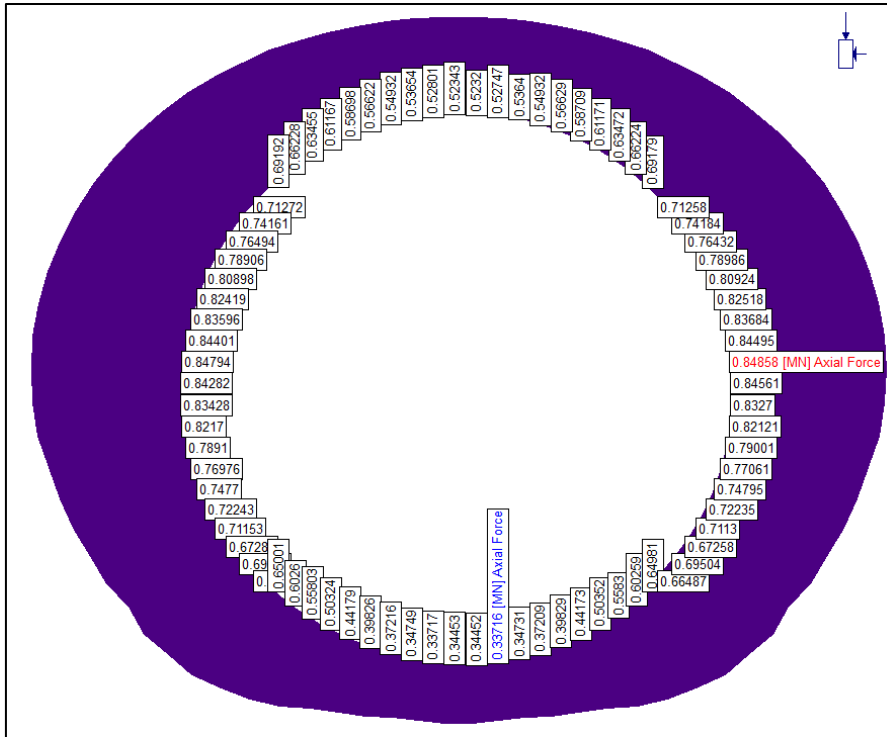
Çizelge 4.41. 0+290 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	524,63	844,63	840,55	342,56	844,63	334,92
M (kN.m)	12,07	-7,48	-5,86	30,23	30,23	-12,54
V (kN)	1,80	13,18	-13,45	-82,28	82,32	-82,28

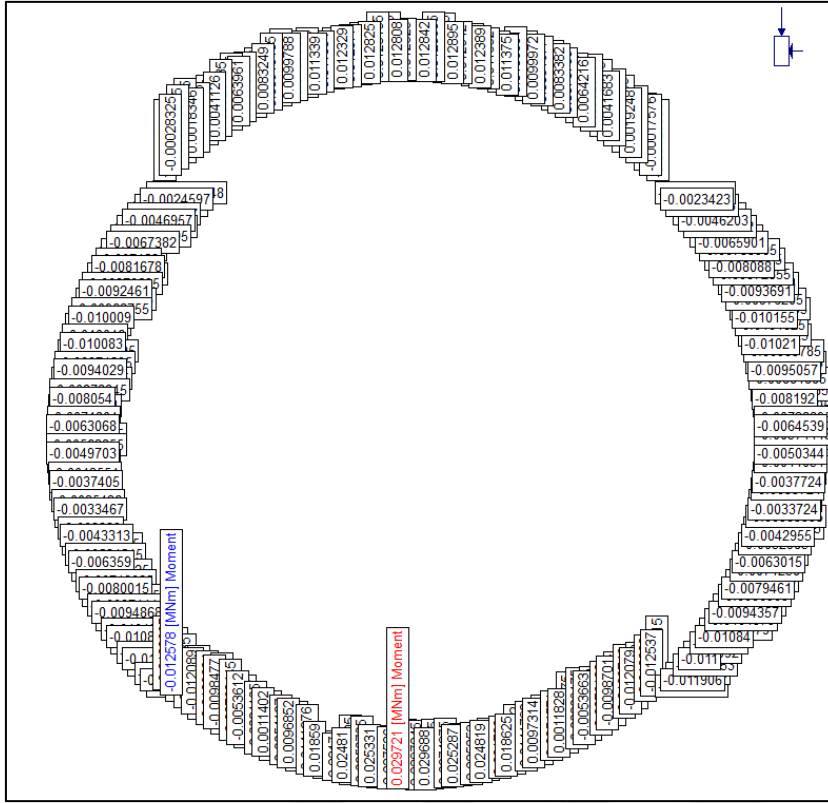
Çizelge 4.42. 0+290 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu	
	0+290	
	Max	Min
N (kN)	8,98	-0,11

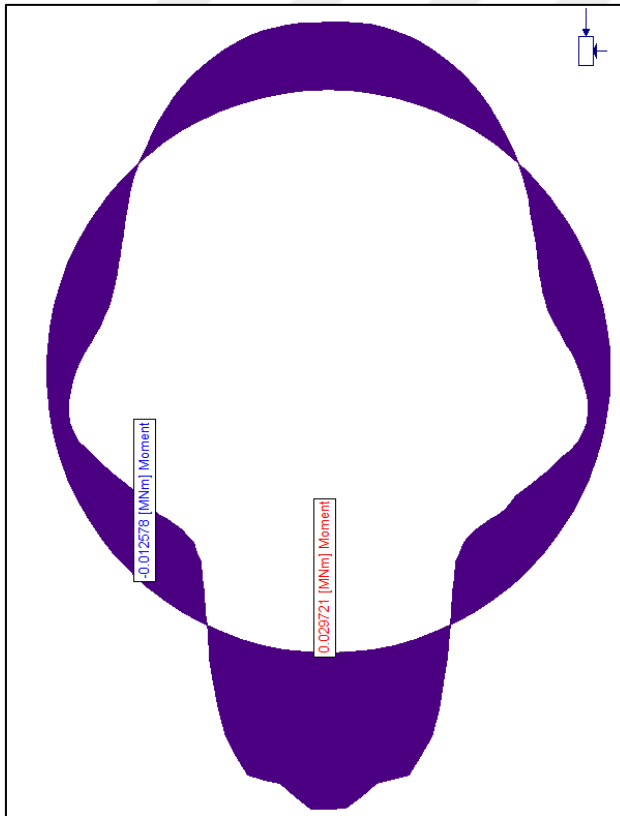
4.11.5. 0+373 Kesiti - analiz sonuçları



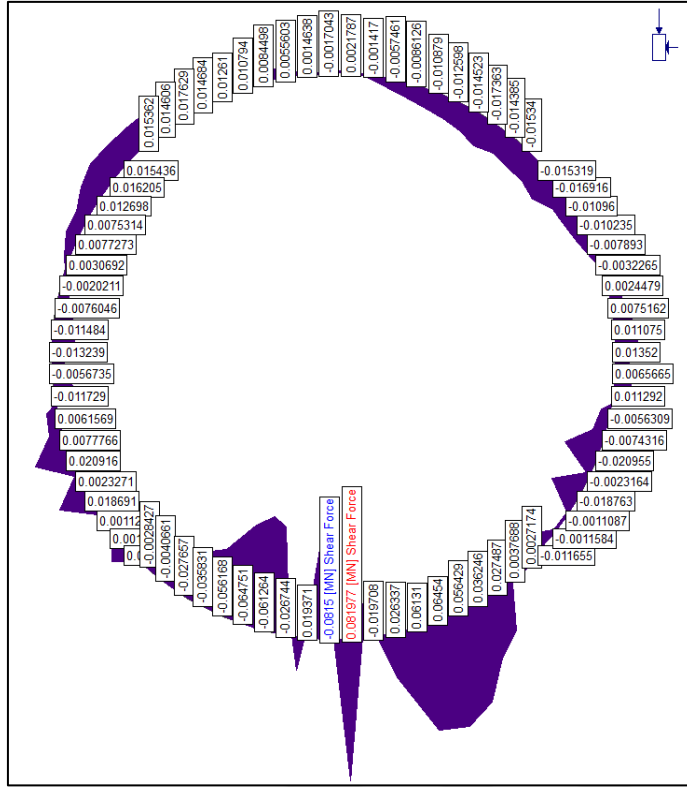
Şekil 4.136. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



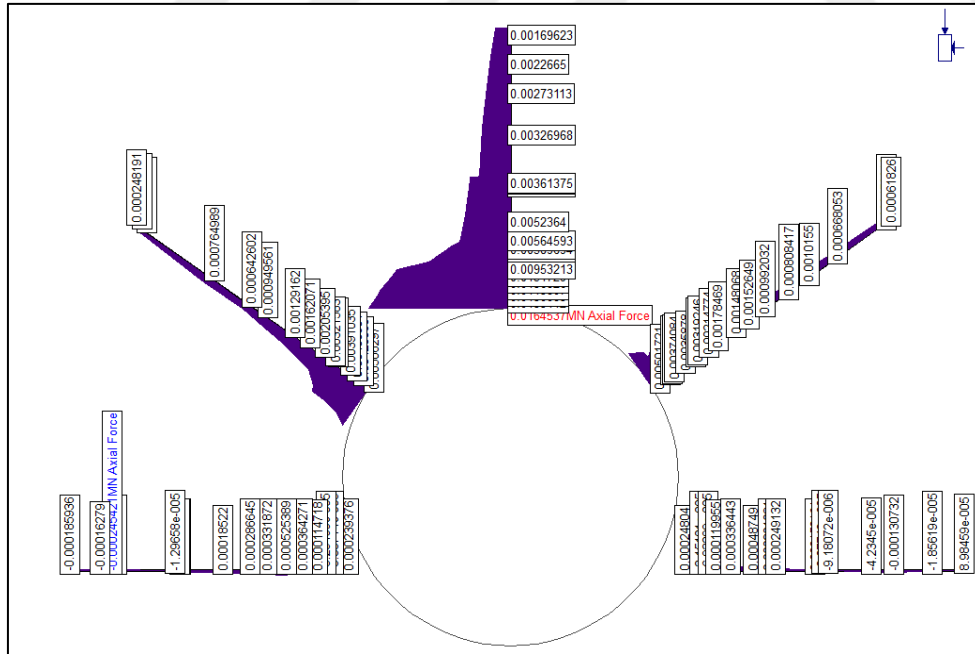
Şekil 4.137. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.138. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.139. 0+373 Kesiti tünel kaplaması - kesme kuvveti



Şekil 4.140. 0+373 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.43. 0+373 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	523,43	848,58	847,94	344,53	848,58	337,16
M (kN.m)	12,84	-6,45	-6,31	29,72	29,72	-12,58
V (kN)	2,18	13,52	-13,24	81,98	81,98	-81,5

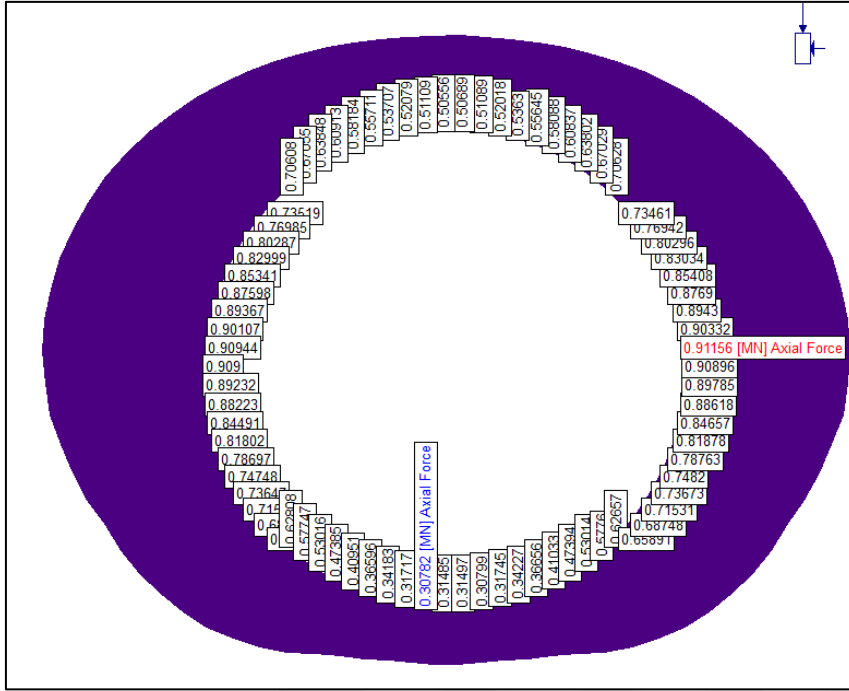
Çizelge 4.44. 0+373 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	952,64	1544,42	1543,25	627,04	1544,42	613,63
M (kN.m)	23,37	-11,74	-11,48	54,09	54,09	-22,90
V (kN)	3,97	24,61	-24,10	149,20	149,20	-148,33

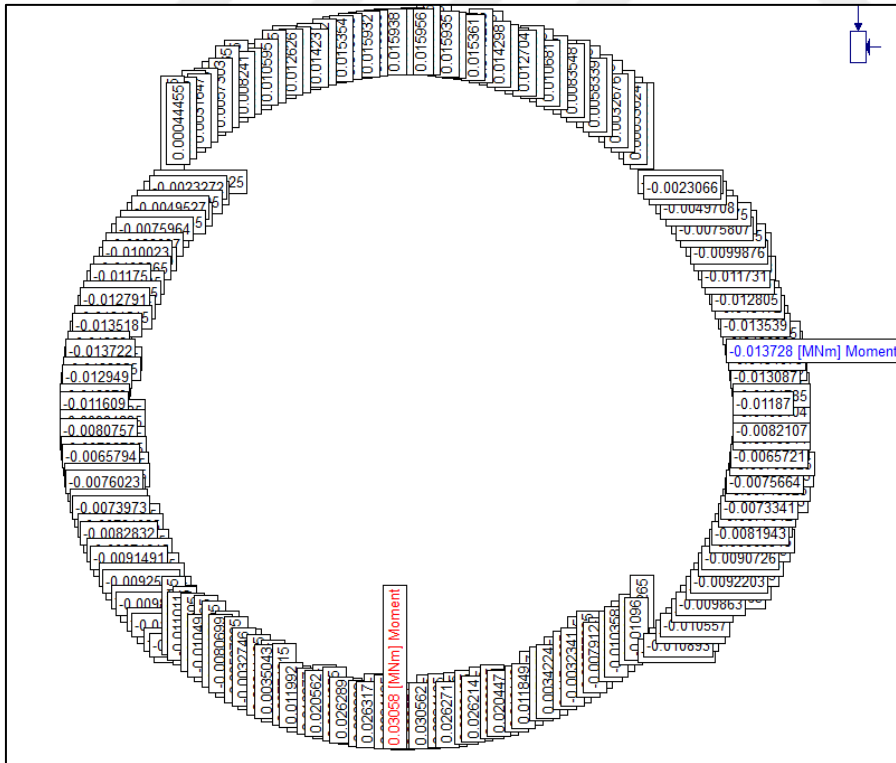
Çizelge 4.45. 0+373 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu	
	0+373	
	Max	Min
N (kN)	16,45	-2,25

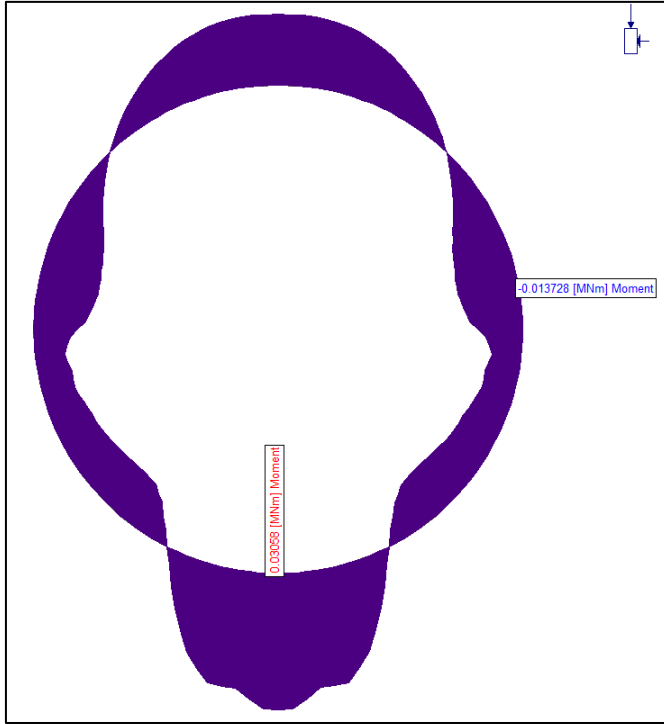
4.11.6. 0+480 Kesiti - analiz sonuçları



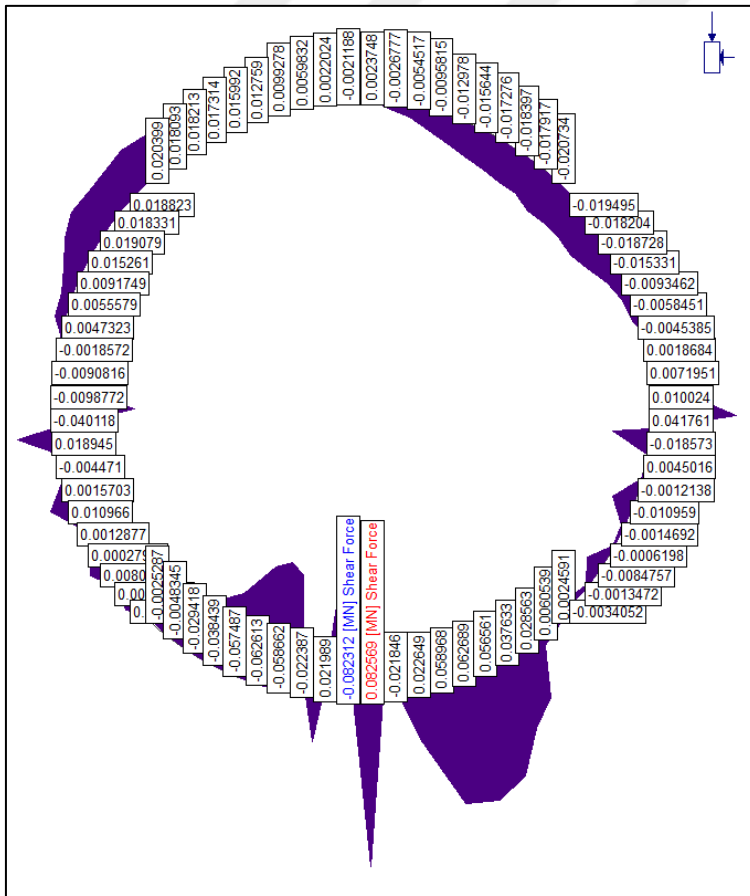
Şekil 4.141. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



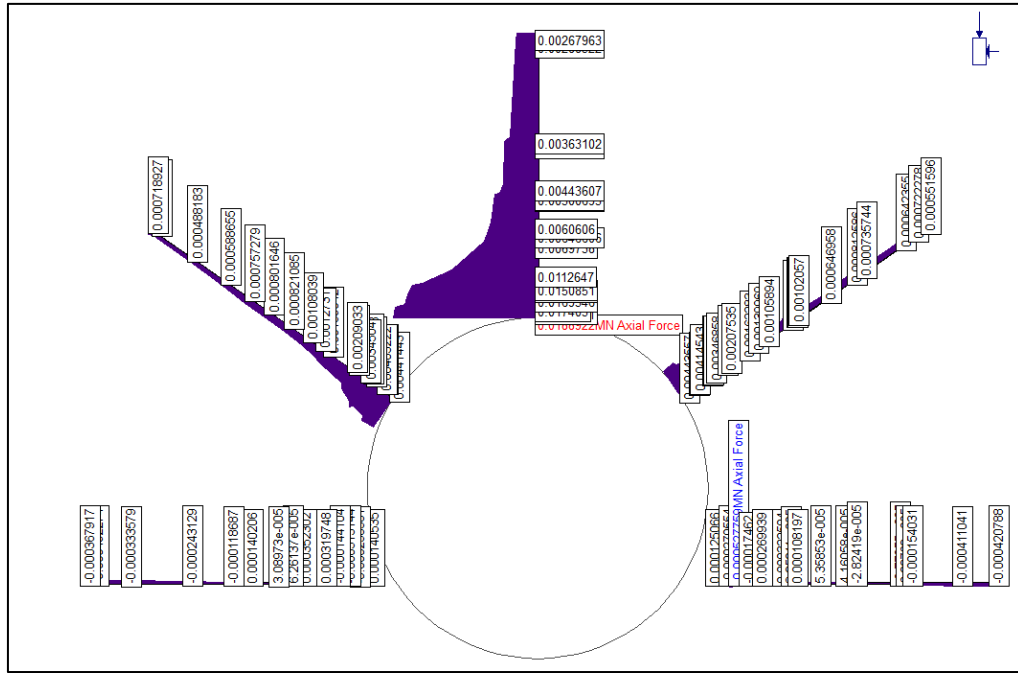
Şekil 4.142. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.143. 0+480 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.144. 0+480 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.145. 0+480 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.46. 0+480 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+480					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	506,89	911,56	909,44	314,97	911,56	314,97
M (kN.m)	15,96	-11,87	-8,08	26,27	30,58	-13,73
V (kN)	2,37	10,04	-9,88	82,57	82,57	-82,31

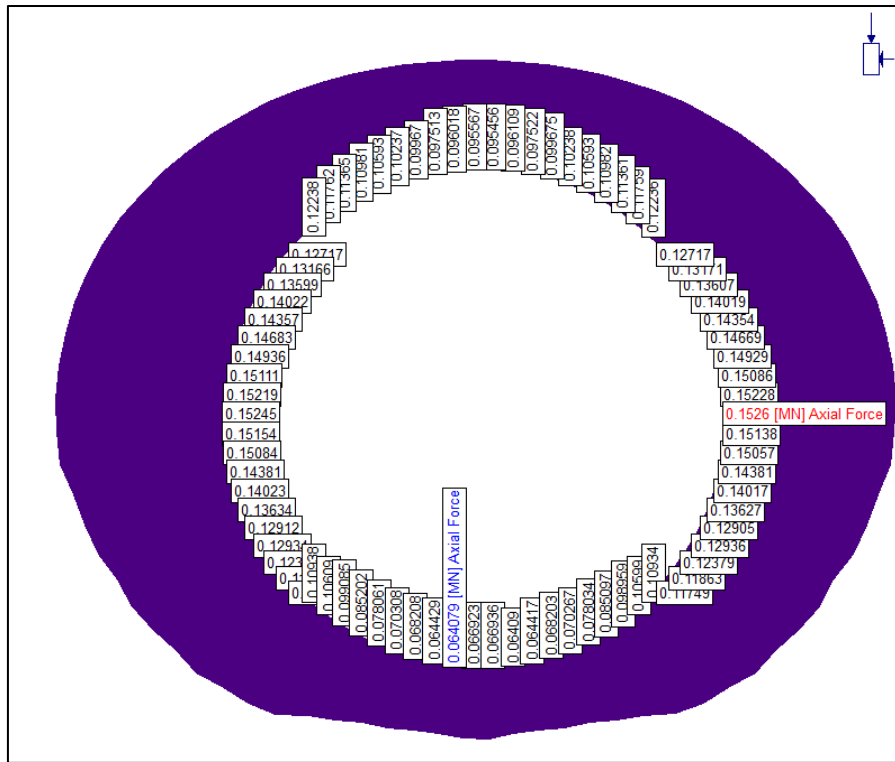
Çizelge 4.47. 0+480 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+480					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	922,54	1659,04	1655,18	573,25	1659,04	573,25
M (kN.m)	29,05	-21,60	-14,71	47,81	55,66	-24,99
V (kN)	4,31	18,27	-17,98	150,28	150,28	-149,80

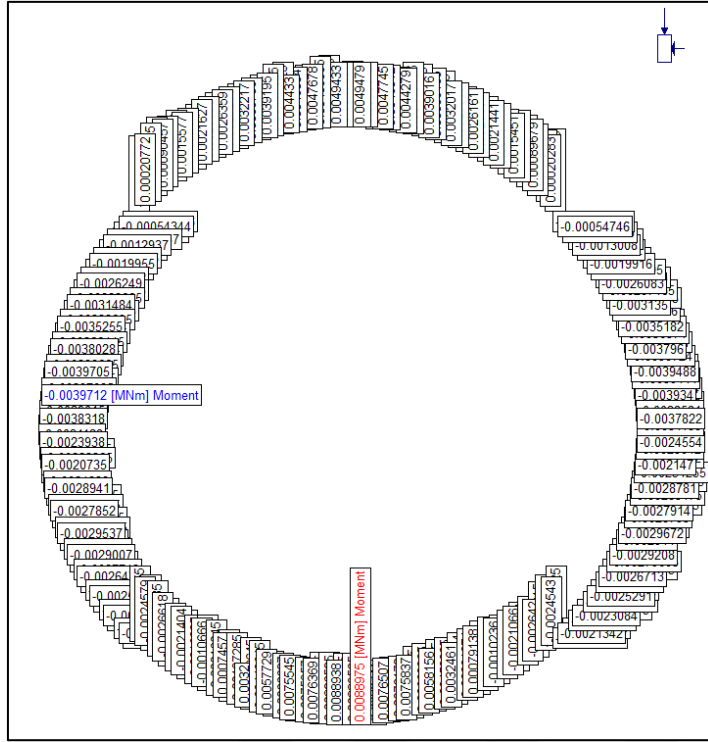
Çizelge 4.48. 0+480 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu	
	0+480	
	Max	Min
N (kN)	18,89	-0,53

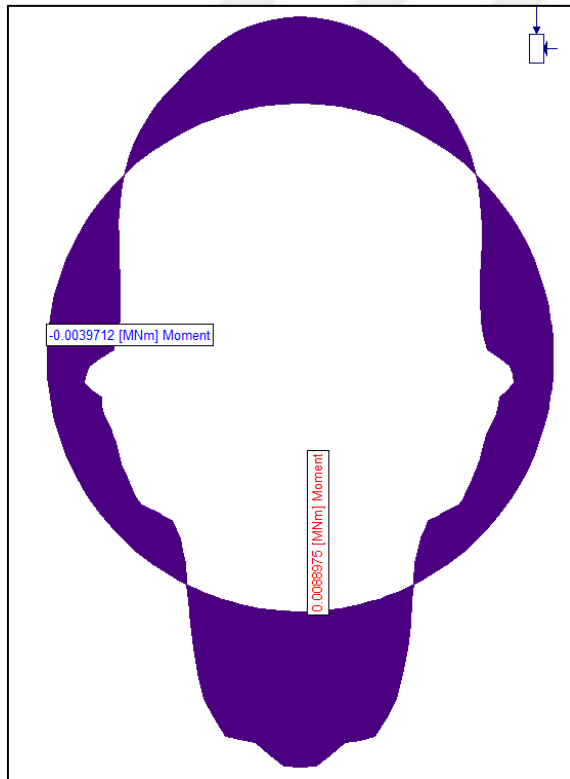
4.11.7. 0+730 Kesiti - analiz sonuçları



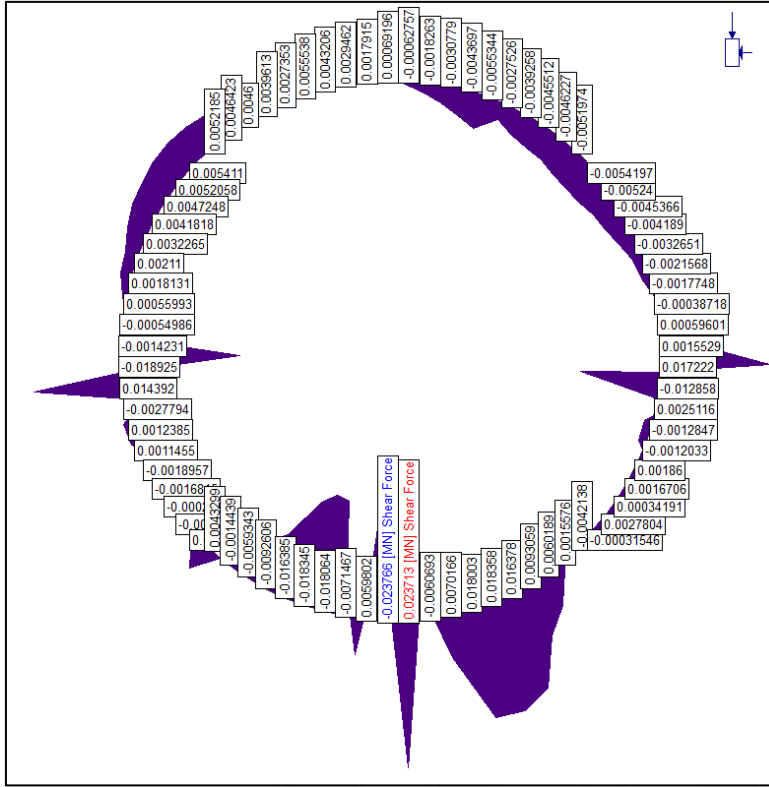
Şekil 4.146. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



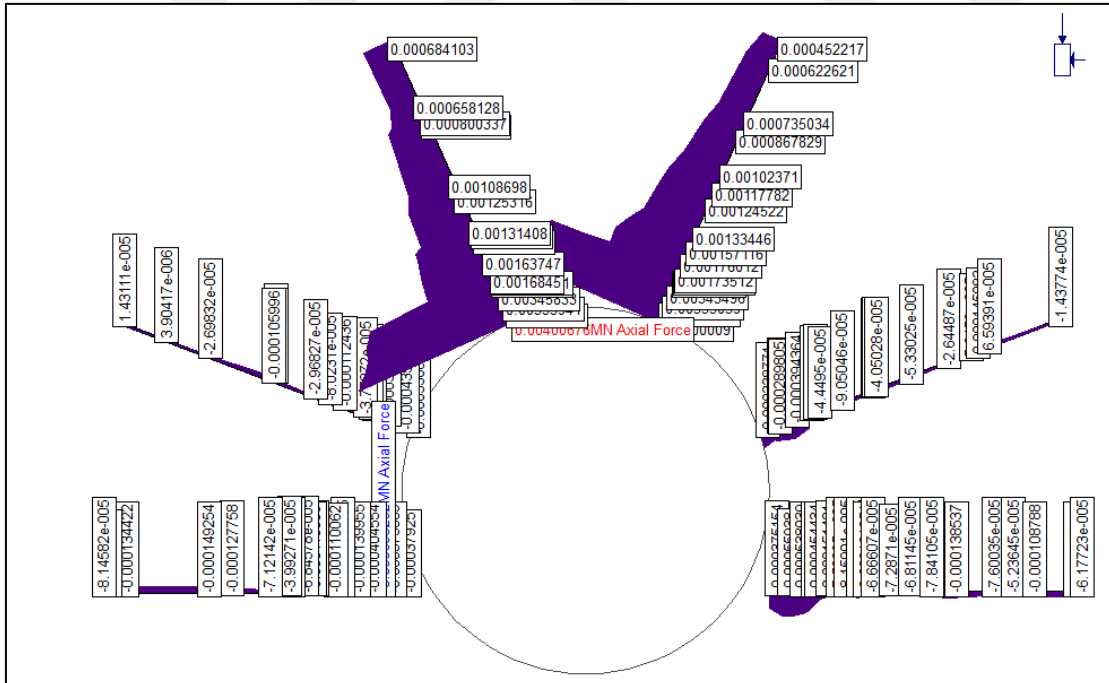
Şekil 4.147. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.148. 0+730 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.149. 0+730 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.150. 0+730 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.49. 0+730 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu					
	0+730					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	95,46	152,6	151,54	66,92	152,54	64,08
M (kN.m)	4,95	-3,78	-3,83	8,89	8,89	-3,97
V (kN)	-0,63	1,55	-1,42	23,71	-23,77	23,71

Çizelge 4.50. 0+730 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

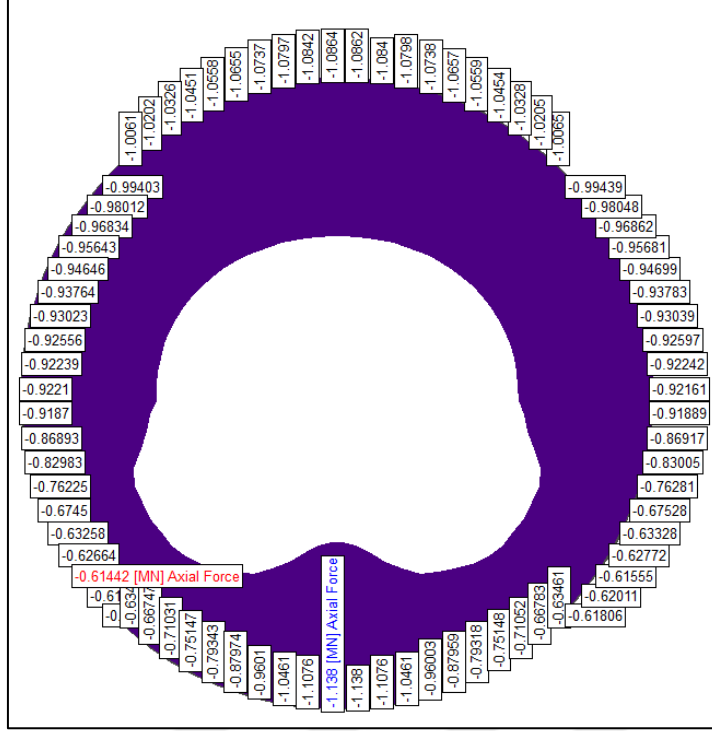
Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İnşaat Sonu Durumu					
	0+730					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	173,74	277,73	275,80	121,79	277,62	116,63
M (kN.m)	9,01	-6,88	-6,97	16,18	16,18	-7,23
V (kN)	-1,15	2,82	-2,58	43,15	-43,26	43,15

Çizelge 4.51. 0+730 Kesiti Phase2 analizi inşaat sonu durumu bulon eksenel kuvvetleri

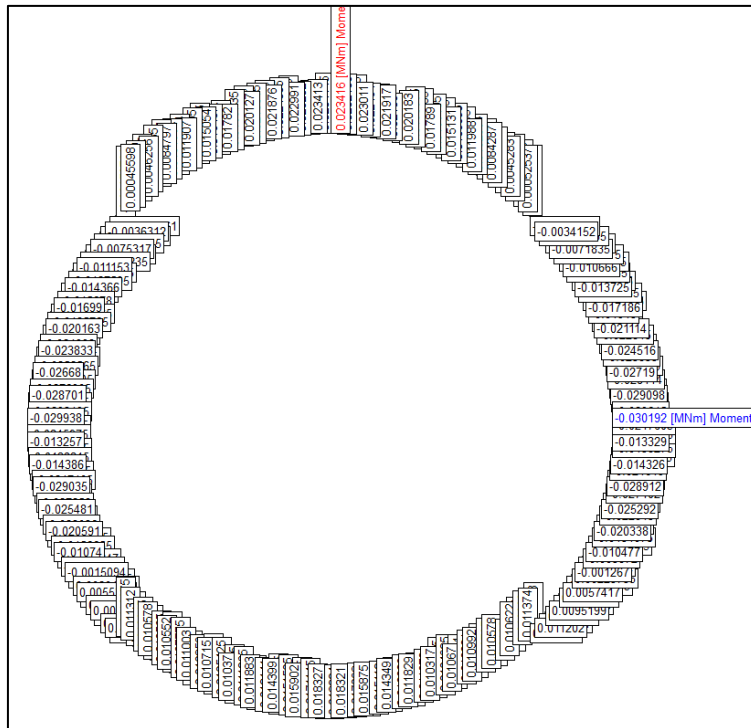
Phase 2 Analiz Sonuçları	İnşaat Sonu Durumu	
	0+730	
	Max	Min
N (kN)	4,01	-0,65

4.12. İlk Yükleme Durumu Analiz Sonuçları

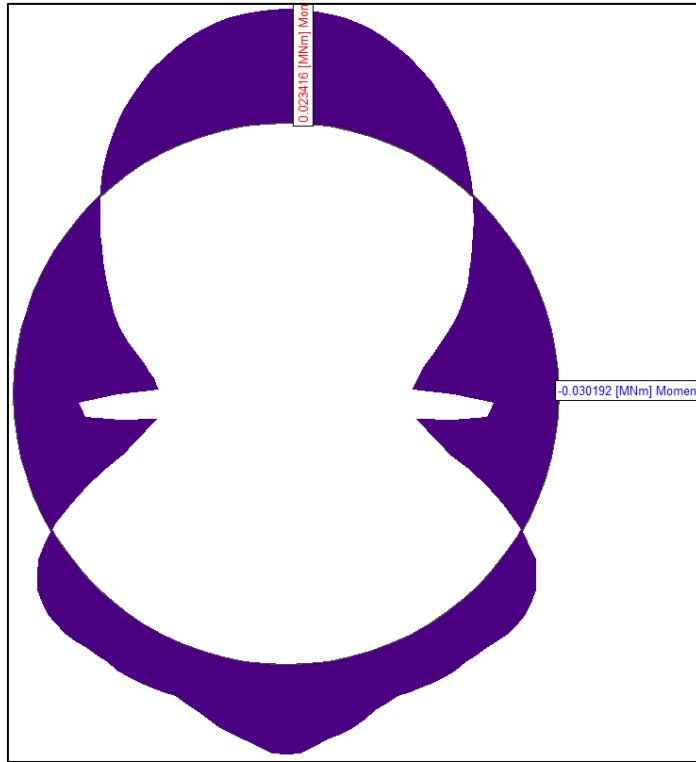
4.12.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları



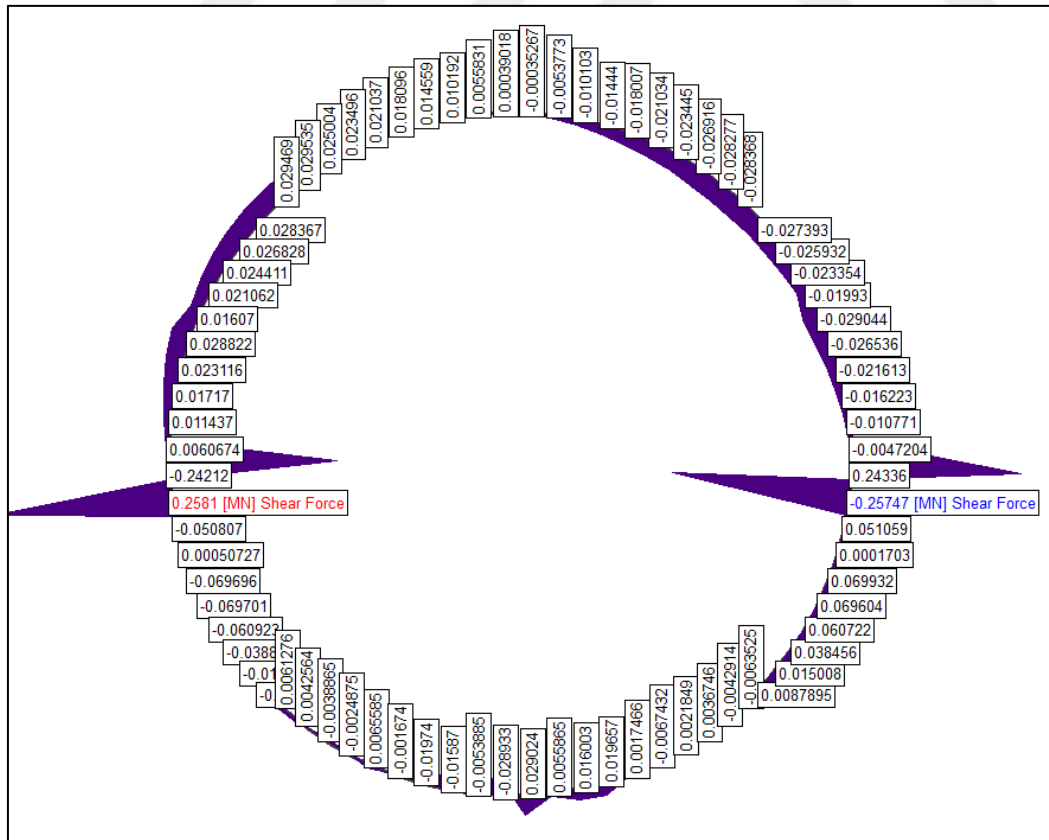
Şekil 4.151. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



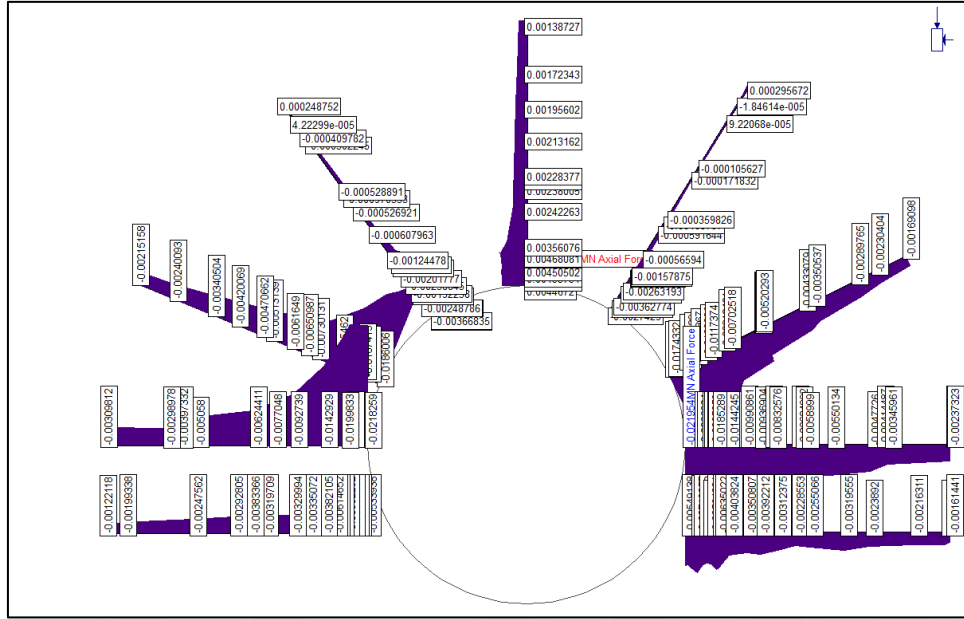
Şekil 4.152. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.153. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.154. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.155. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.52. 0+024 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-1086,2	-922,42	-922,39	-1138	-1138	-614,42
M (kN.m)	23,42	-30,19	-29,94	18,33	-30,19	23,42
V (kN)	-0,35	-10,77	6,07	29,02	258,1	-257,42

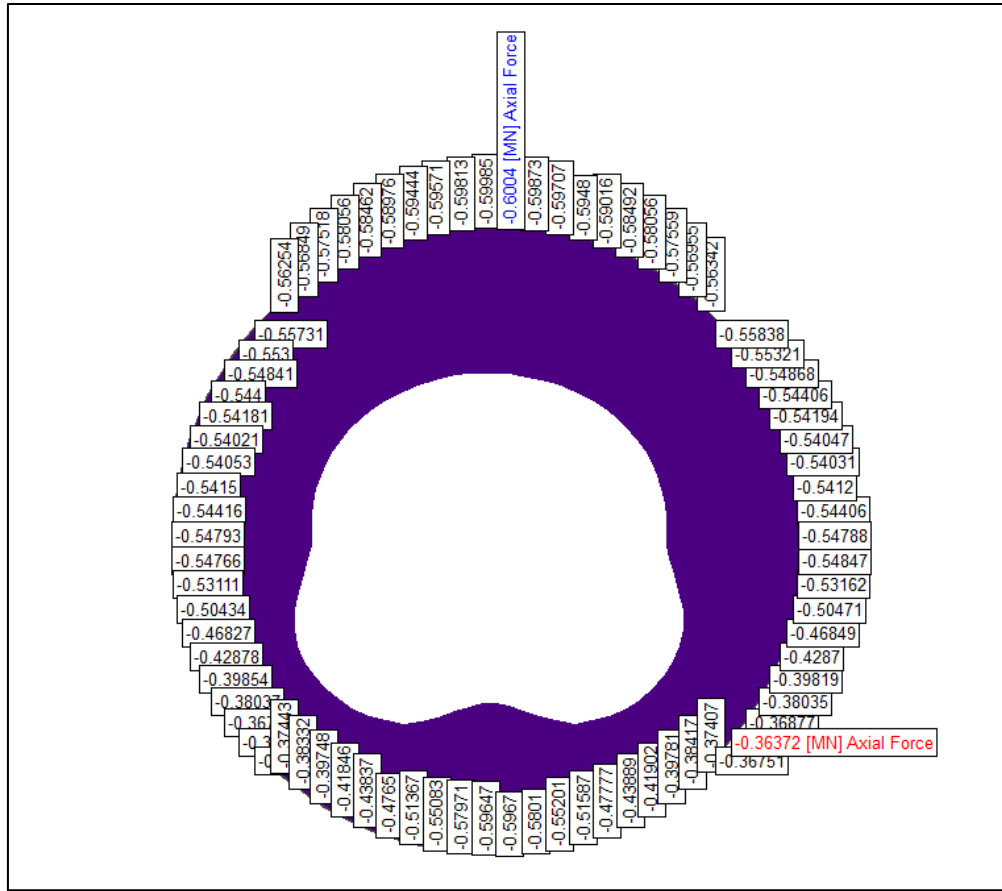
Çizelge 4.53. 0+024 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İlk Yükleme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-1881,84	-1598,09	-1598,04	-1971,59	-1971,59	-1064,48
M (kN.m)	40,58	-52,30	-51,87	31,76	-52,30	40,58
V (kN)	-0,61	-18,66	10,52	50,28	447,16	-445,98

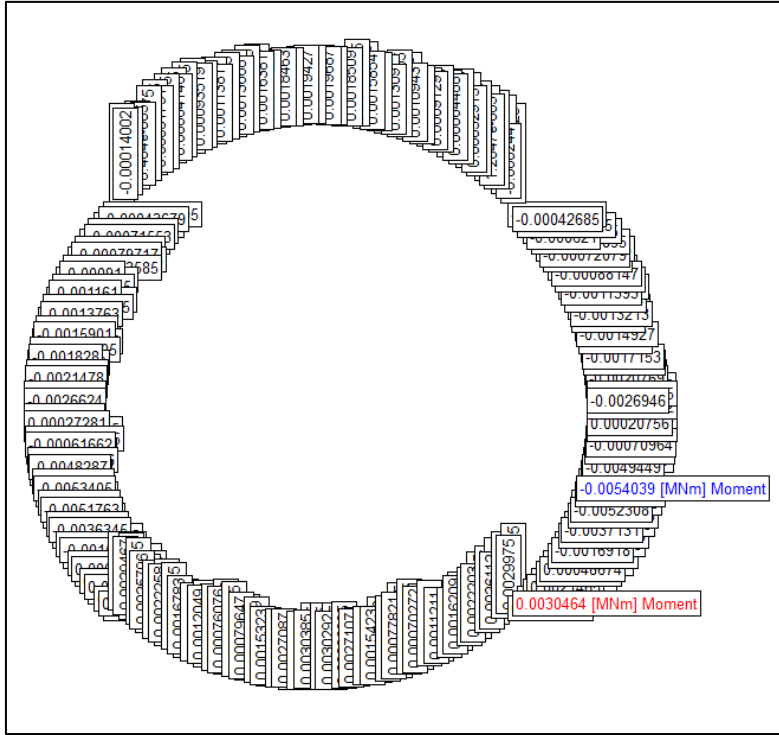
Çizelge 4.54. 0+024 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu	
	0+024	
	Max	Min
N (kN)	-21,95	5,00

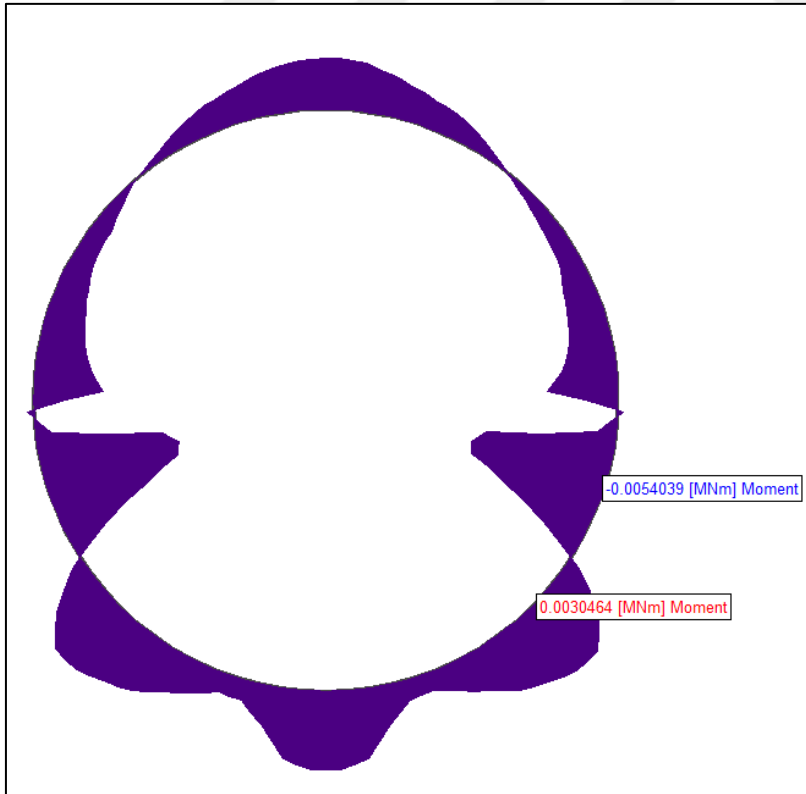
4.12.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları



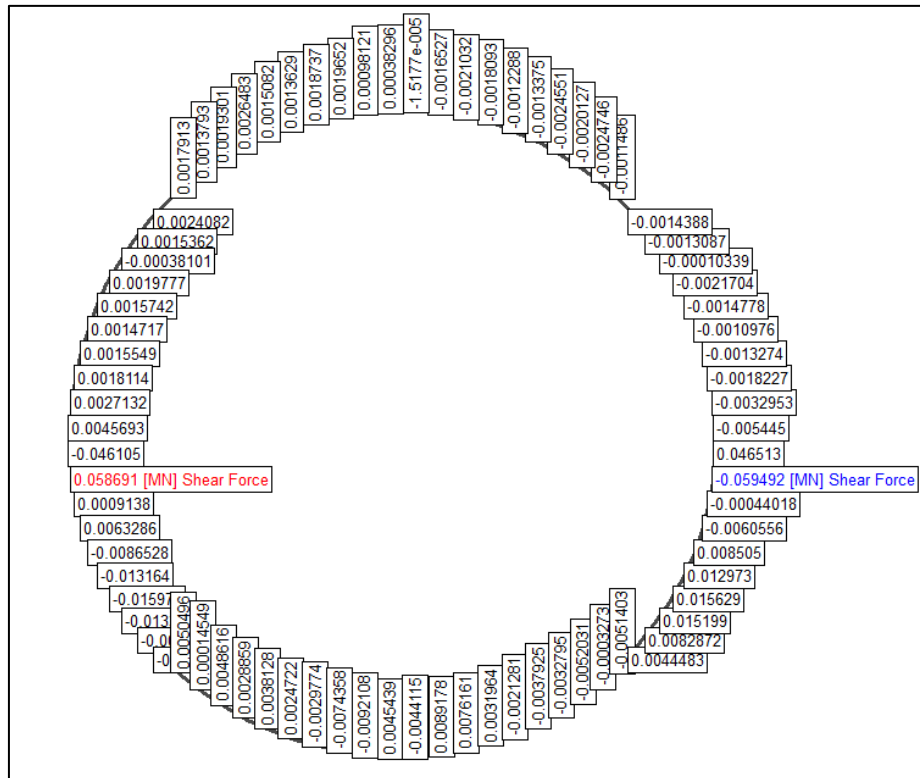
Şekil 4.156. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



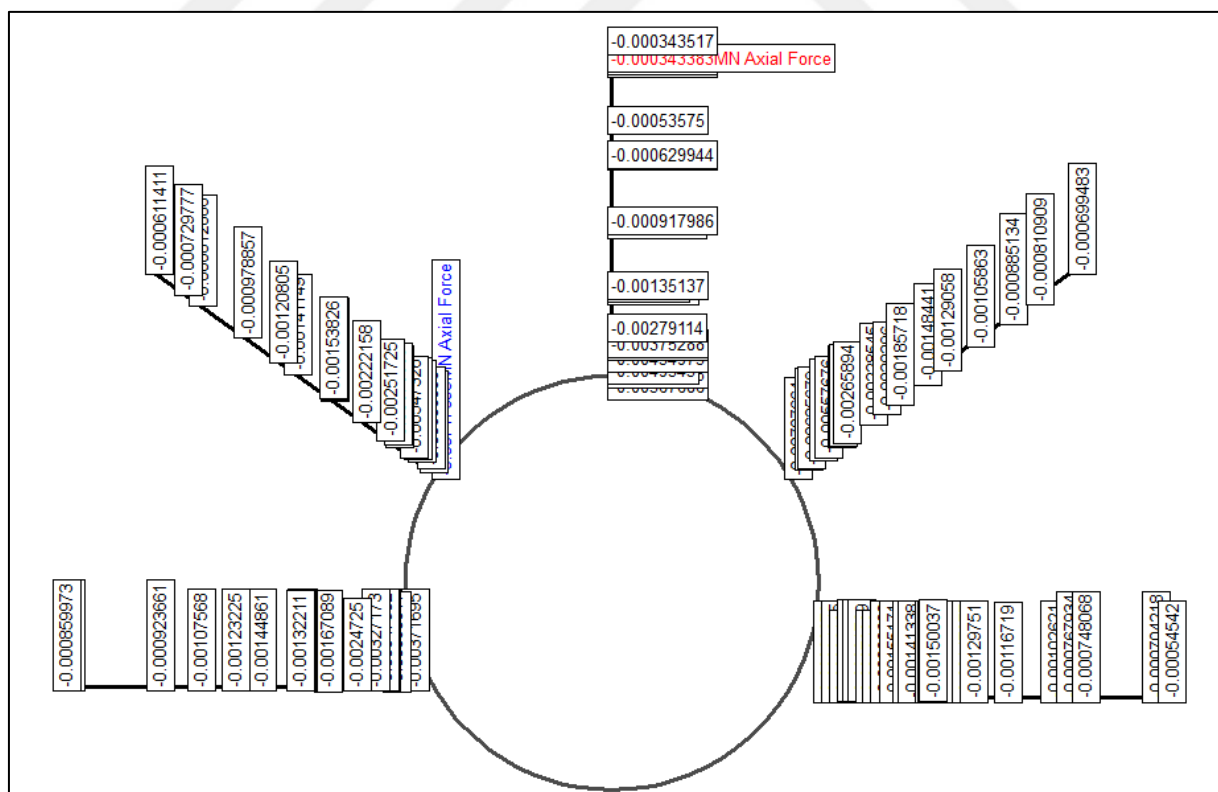
Şekil 4.157. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.158. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.159. 0+078 kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.160. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.55. 0+078 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-600,4	-541,2	-544,16	-596,7	-600,4	-363,72
M (kN.m)	1,97	-2,69	1,82	3,04	-5,4	3,05
V (kN)	0,38	1,82	4,5	4,41	58,69	59,49

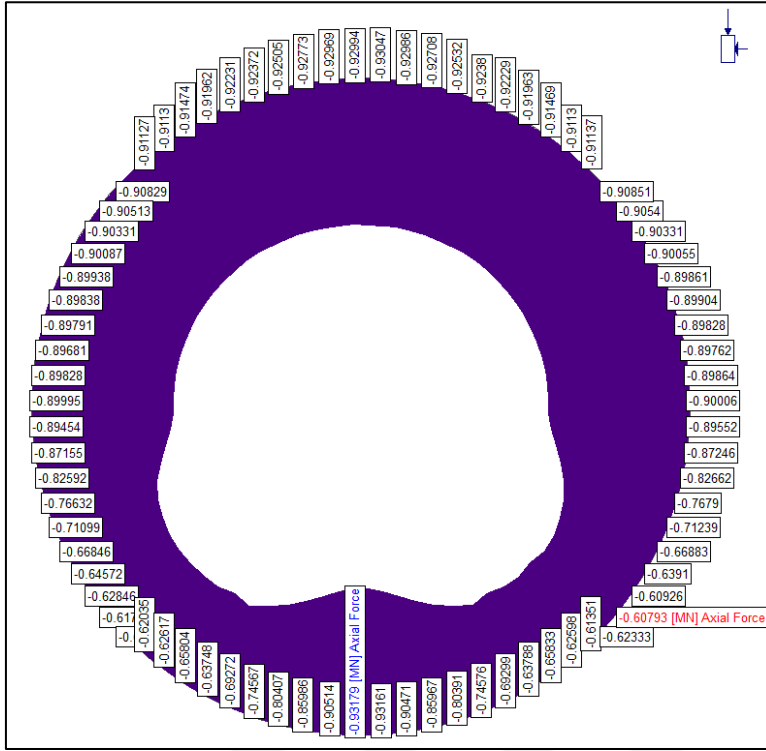
Çizelge 4.56. 0+078 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İlk Yükleme Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-1040,19	-937,63	-942,76	-1033,78	-1040,19	-630,14
M (kN.m)	3,41	-4,66	3,15	5,27	-9,36	5,28
V (kN)	0,66	3,15	7,80	7,64	101,68	103,07

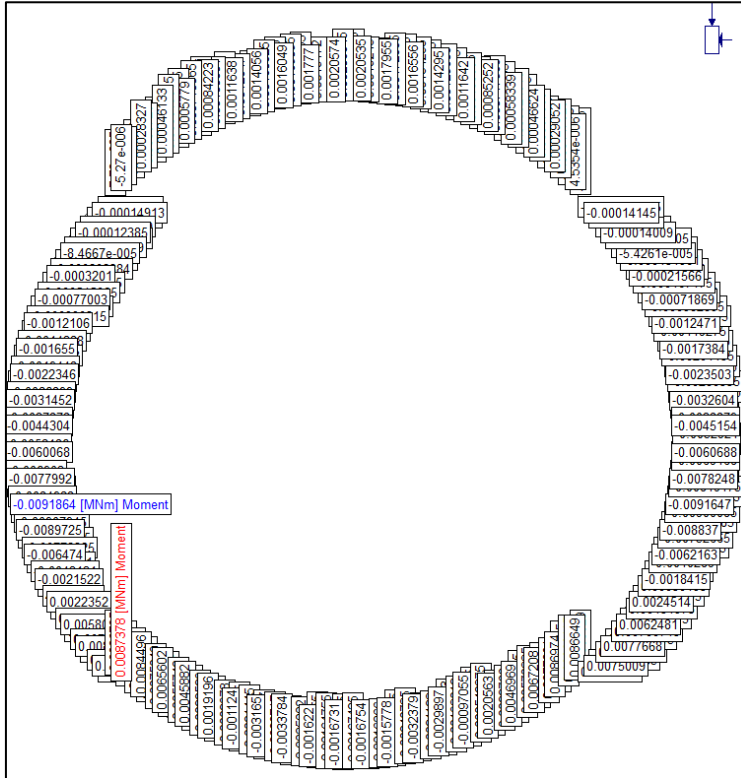
Çizelge 4.57. 0+078 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu	
	0+078	
	Max	Min
N (kN)	-7,18	-0,34

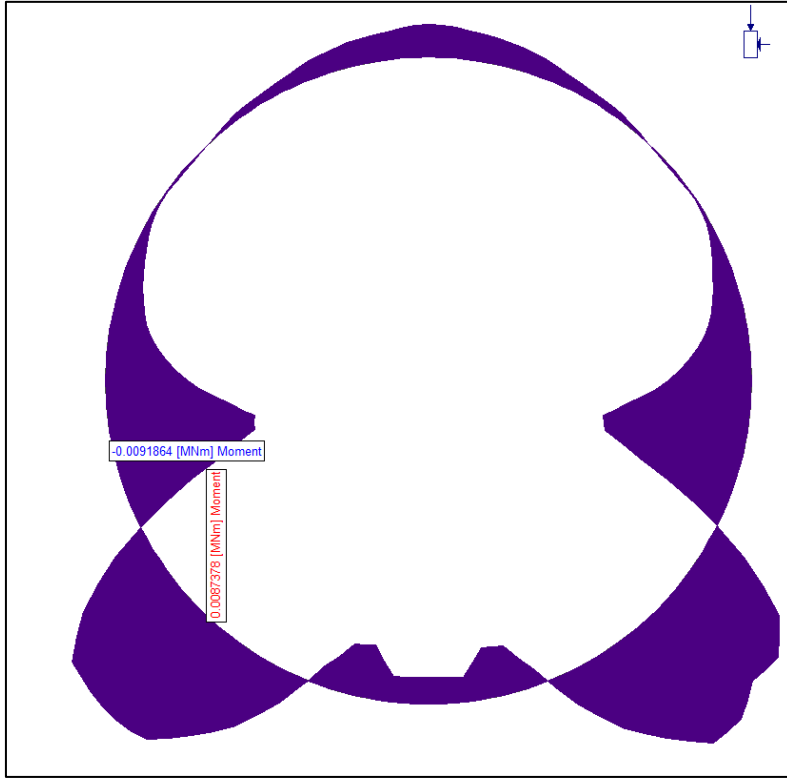
4.12.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları



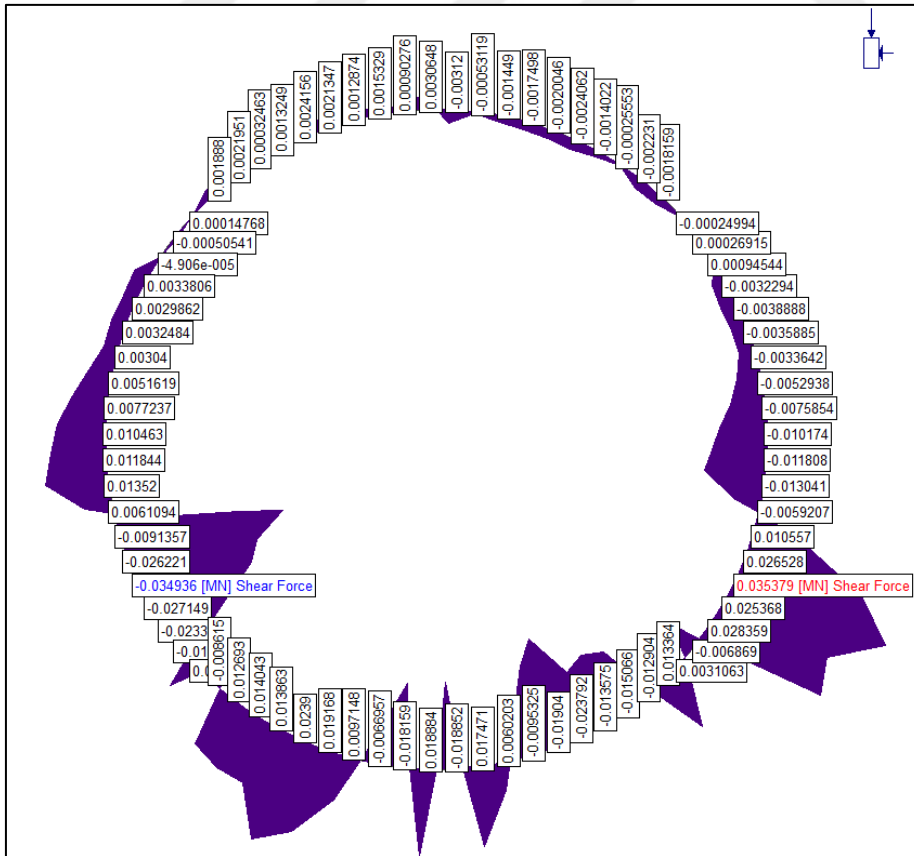
Şekil 4.161. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



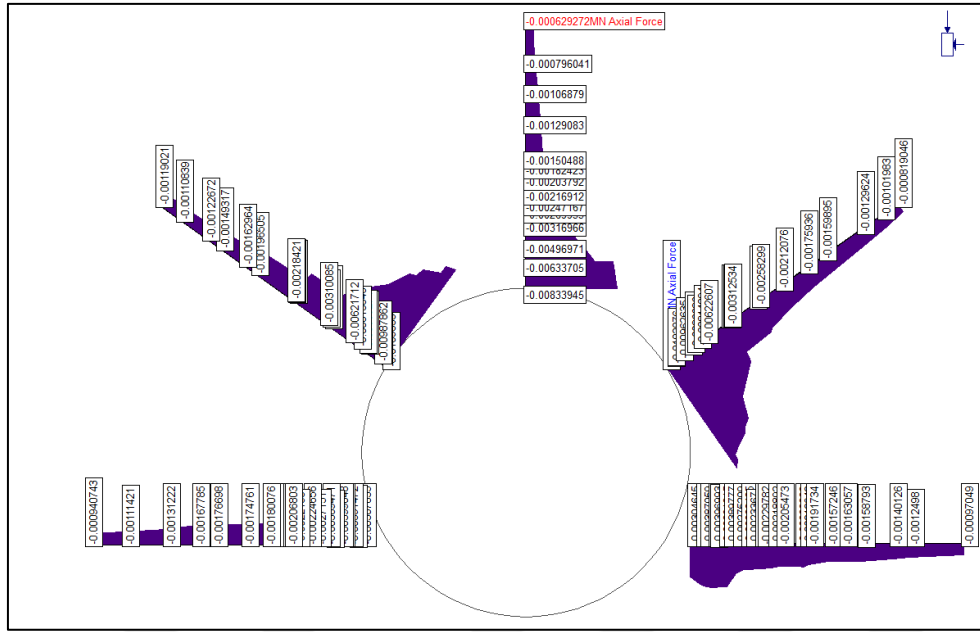
Şekil 4.162. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.163. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.164. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.165. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.58. 0+158 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-930,47	-900,06	-899,95	-931,79	-931,79	-607,93
M (kN.m)	2,05	-4,52	-4,43	-1,68	-9,19	8,74
V (kN)	-3,12	-10,17	10,46	-18,85	35,38	-34,94

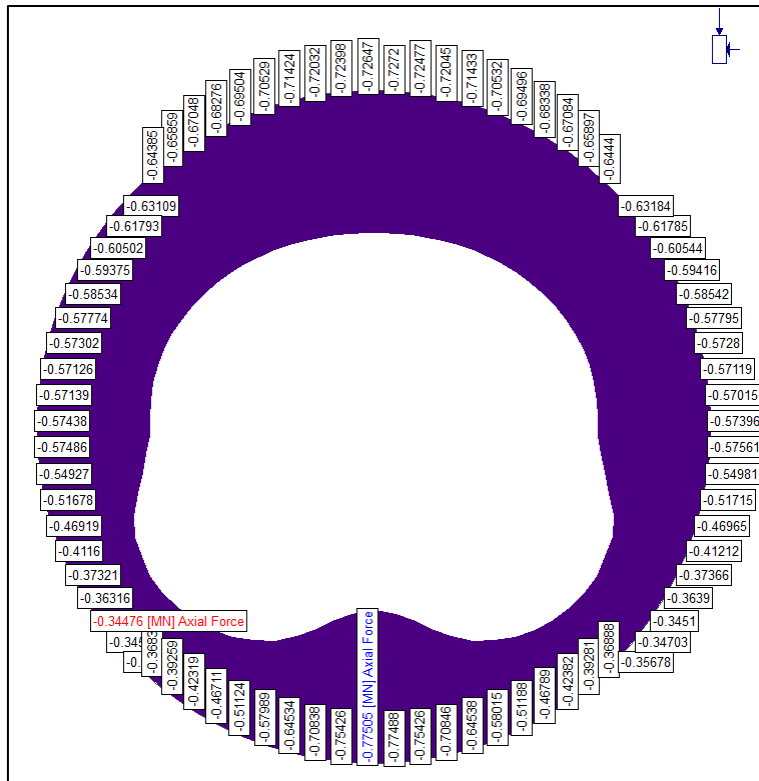
Çizelge 4.59. 0+158 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İlk Yükleme Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-1612,04	-1559,35	-1559,16	-1614,33	-1614,33	-1053,24
M (kN.m)	3,55	-7,83	-7,67	-2,91	-15,92	15,14
V (kN)	-5,41	-17,62	18,12	-32,66	61,30	-60,53

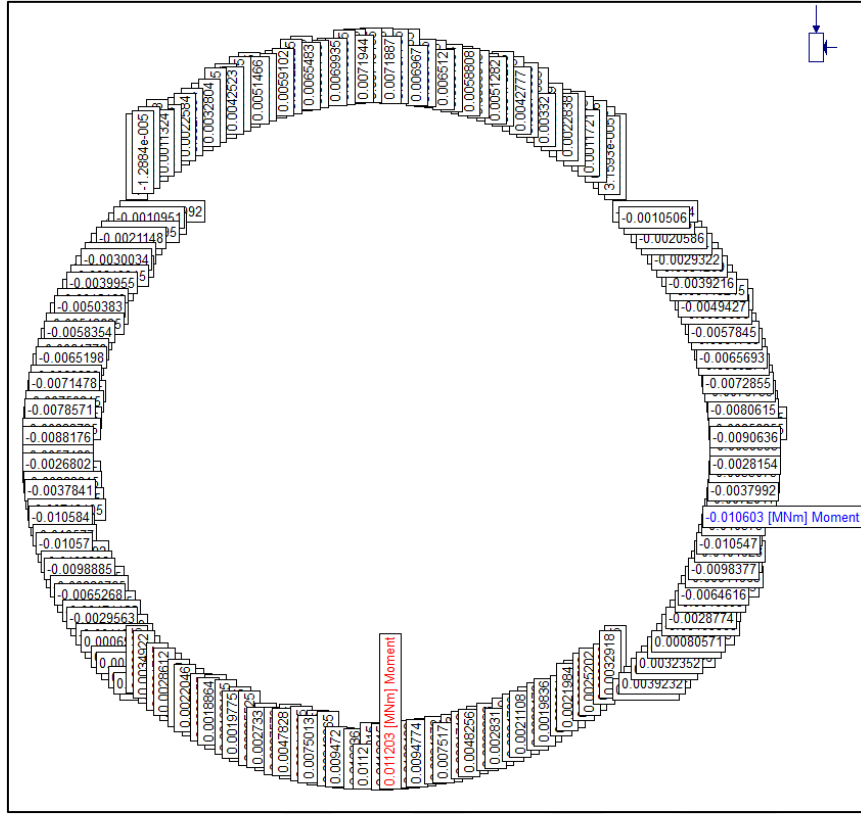
Çizelge 4.60. 0+158 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu	
	0+158	
	Max	Min
N (kN)	-11,29	-0,63

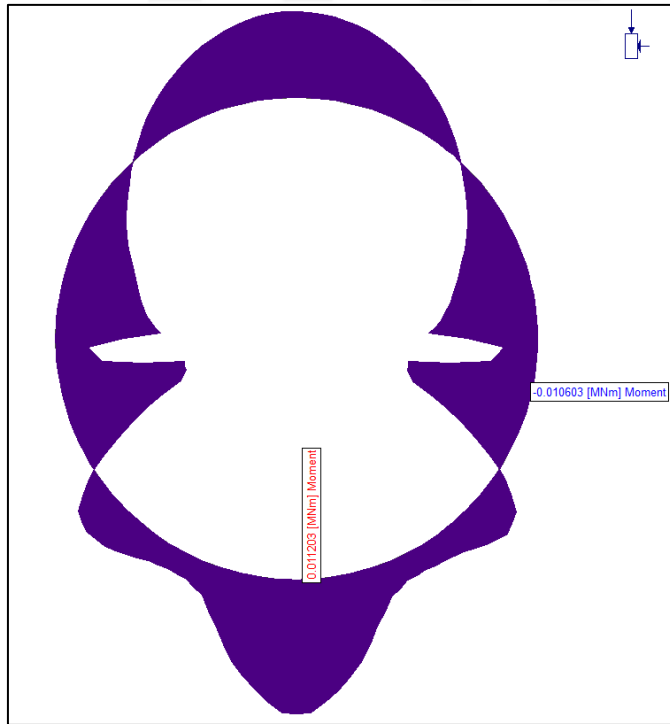
4.12.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları



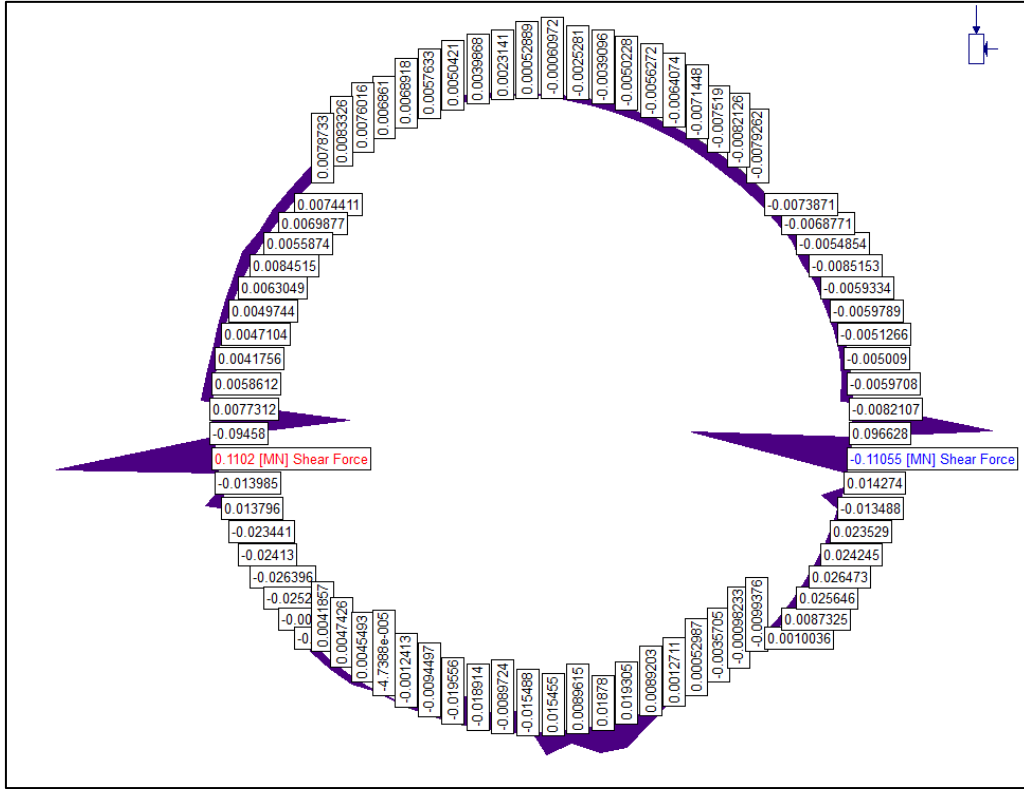
Şekil 4.166. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



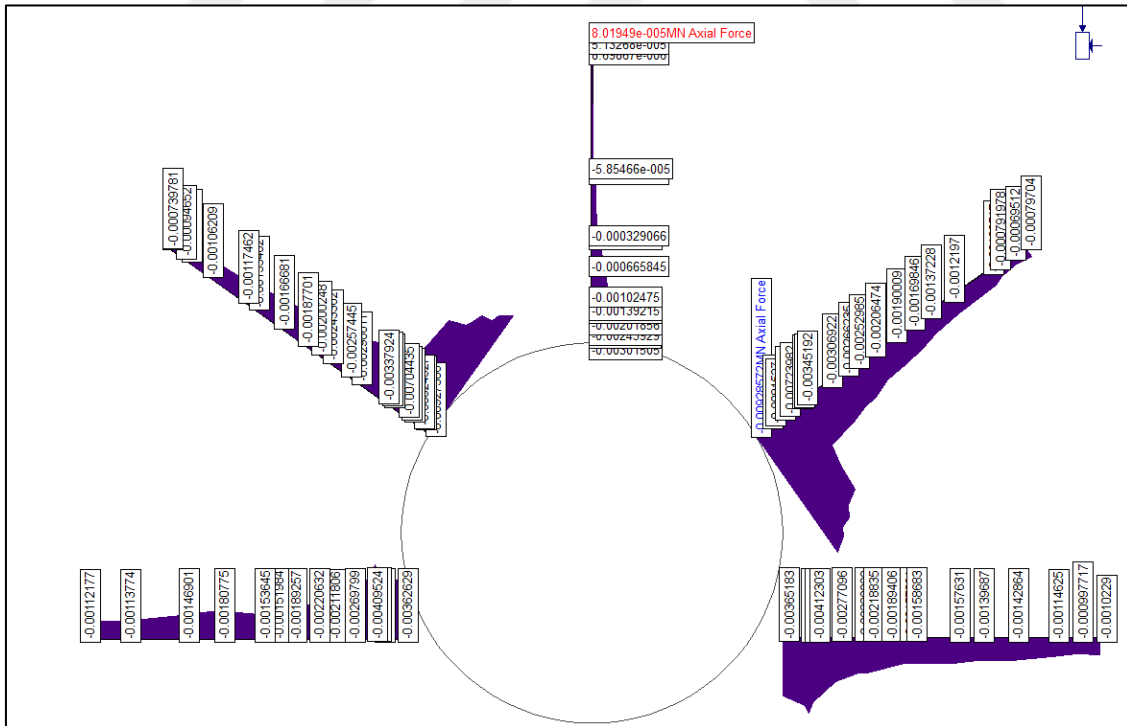
Şekil 4.167. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.168. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.169. 0+290 Kesiti tünel kaplaması - kesme kuvveti



Şekil 4.170. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.61. 0+290 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-727,2	-573,96	-574,38	-774,88	-775,05	-344,76
M (kN.m)	7,19	-9,06	-8,82	9,48	11,2	-10,60
V (kN)	0,53	96,63	-94,58	15,45	-110,55	110,2

Çizelge 4.62. 0+290 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

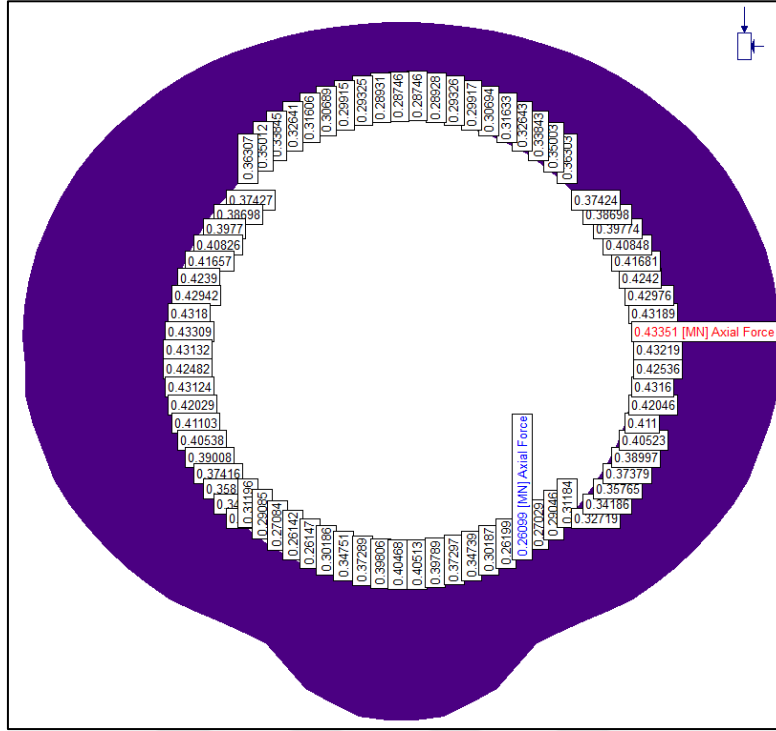
Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İlk Yükleme Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	-1259,87	-994,39	-995,11	-1342,48	-1342,77	-597,30
M (kN.m)	12,46	-15,70	-15,28	16,42	19,40	-18,36
V (kN)	0,92	167,41	-163,86	26,77	-191,53	190,92

Çizelge 4.63. 0+290 Kesiti Phase2 analizi ilk yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri

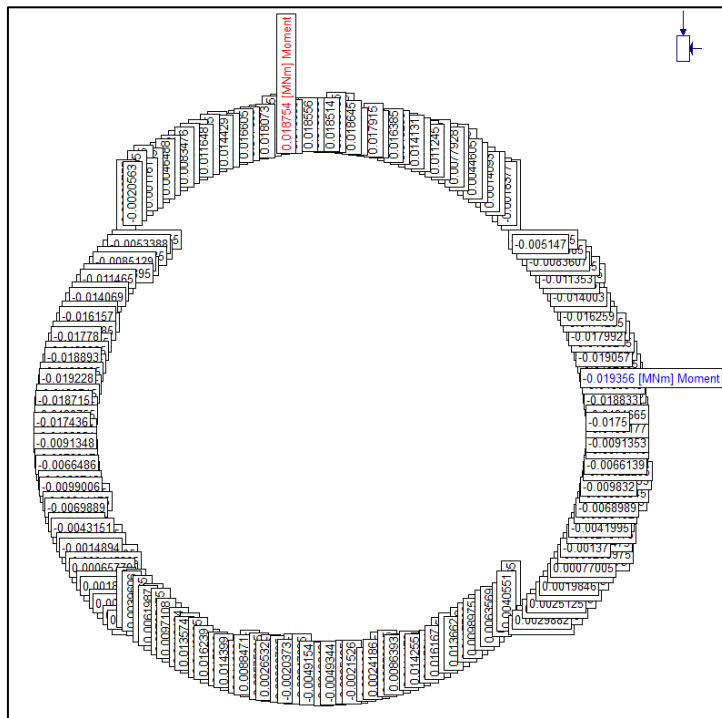
Phase 2 Analiz Sonuçları	İlk Yükleme Durumu	
	0+290	
	Max	Min
N (kN)	-9,29	0,08

4.13. İşletme Durumu Analiz Sonuçları

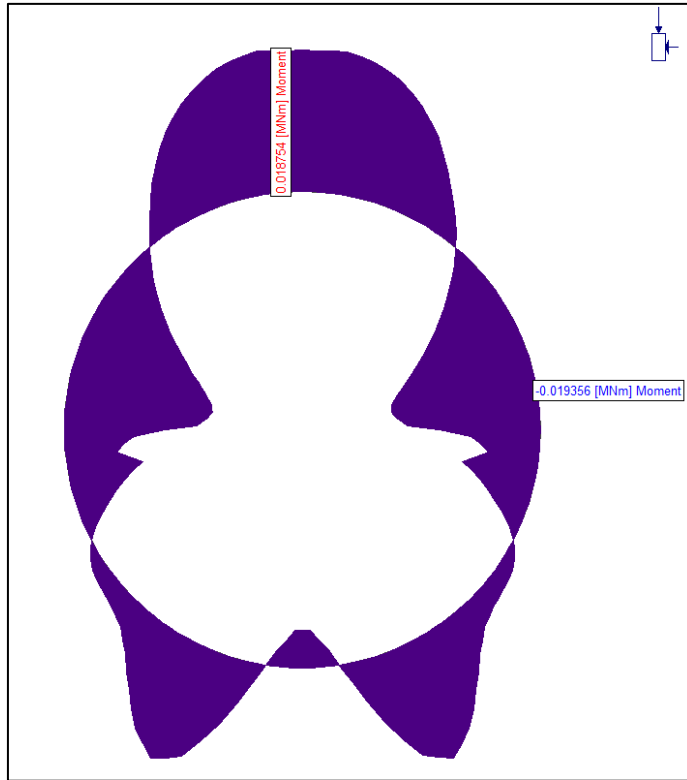
4.13.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları



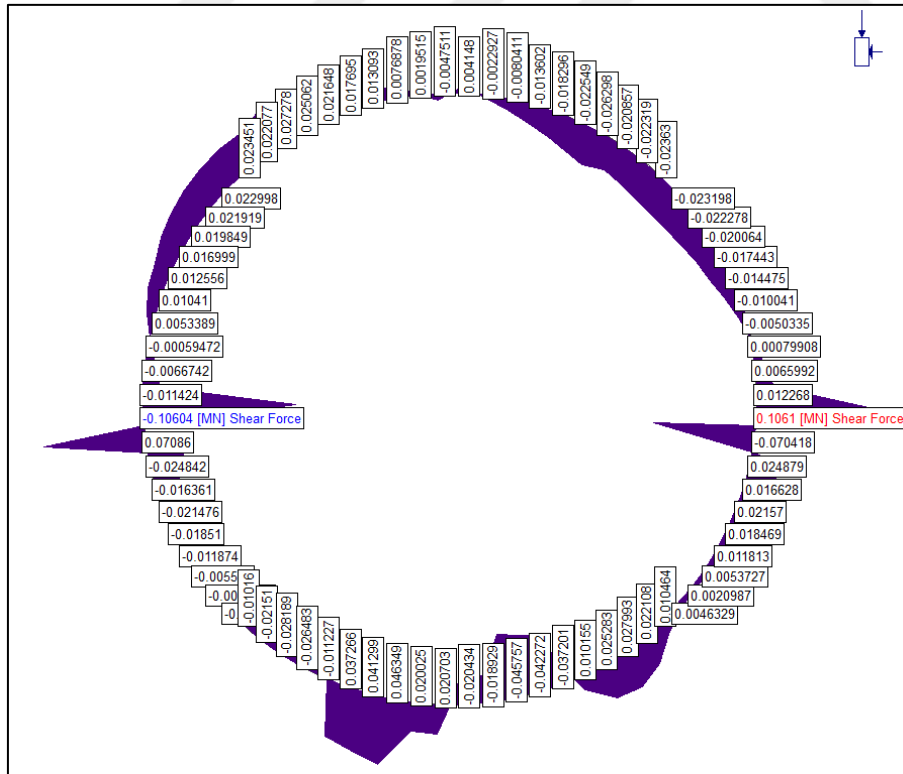
Şekil 4.171. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



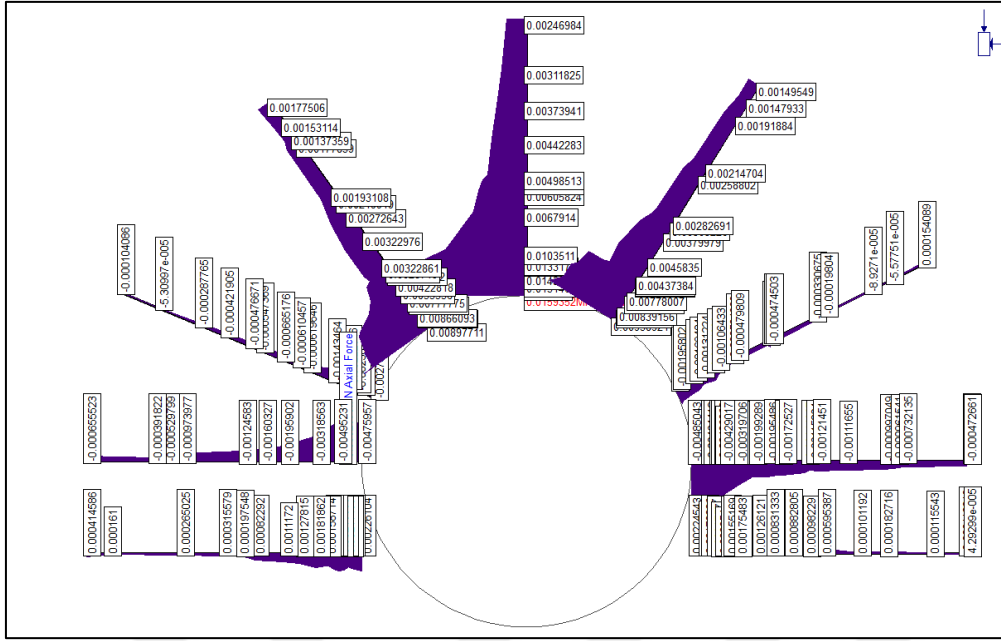
Şekil 4.172. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.173. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.174. 0+024 Kesiti tünel Kaplaması Kesme Kuvveti



Şekil 4.175. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.64. 0+024 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	287,46	433,51	433,09	405,13	433,51	260,99
M (kN.m)	18,51	-17,5	-17,44	-4,93	-19,36	18,76
V (kN)	4,15	12,27	-11,42	-20,44	106,1	-106,4

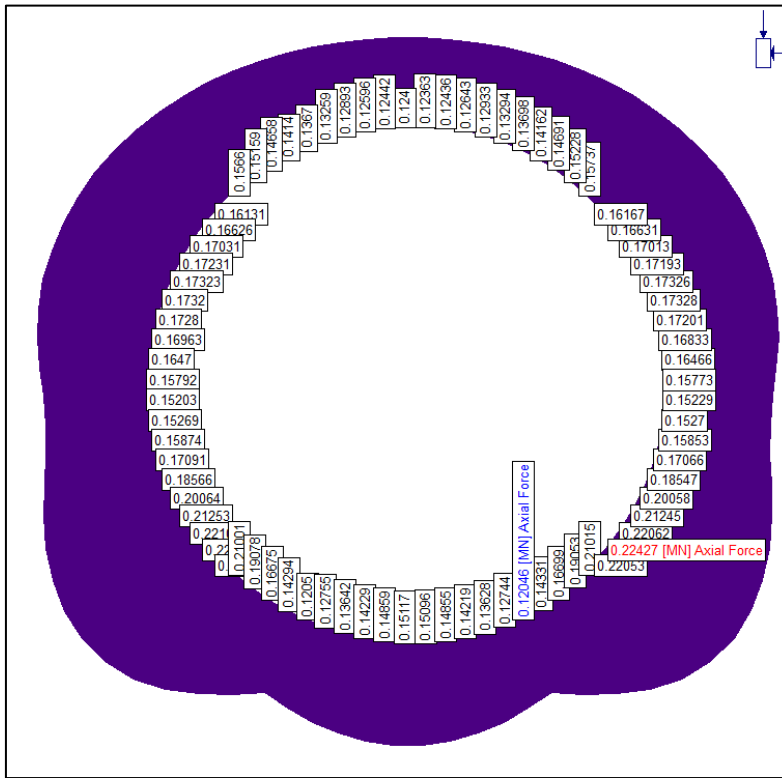
Çizelge 4.65. 0+024 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İşletme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	523,18	788,99	788,22	737,34	788,99	475,00
M (kN.m)	33,69	-31,85	-31,74	-8,97	-35,24	34,14
V (kN)	7,55	22,33	-20,78	-37,20	193,10	-193,65

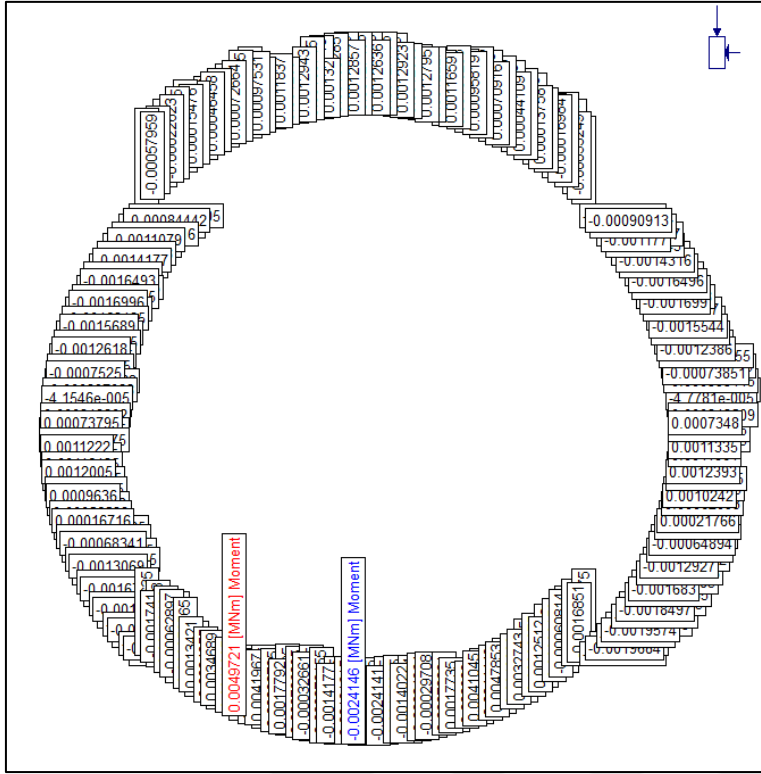
Çizelge 4.66. 0+024 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu	
	0+024	
	Max	Min
N (kN)	15,94	-5,24

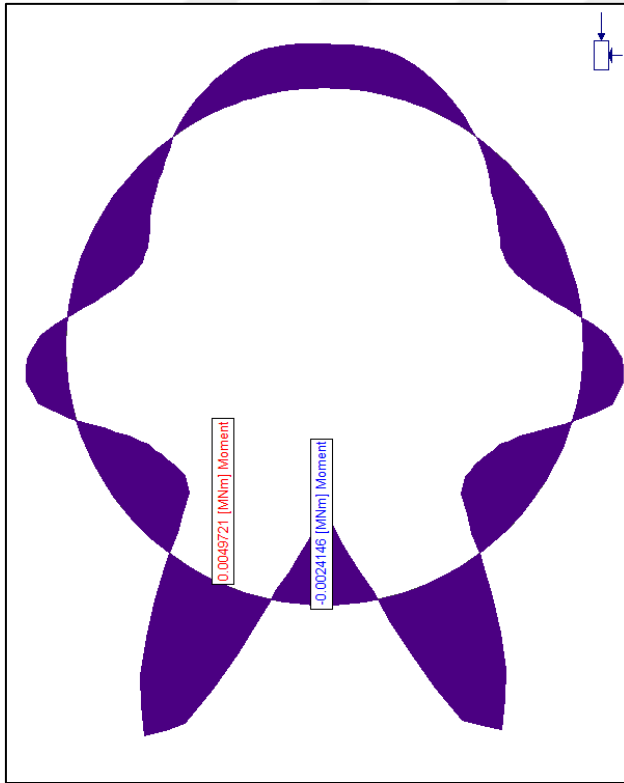
4.13.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları



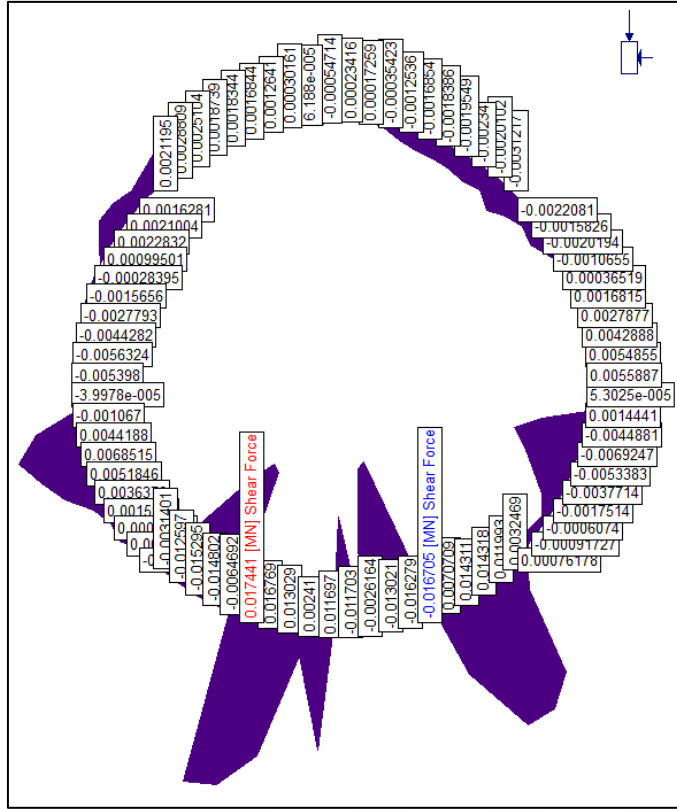
Şekil 4.176. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



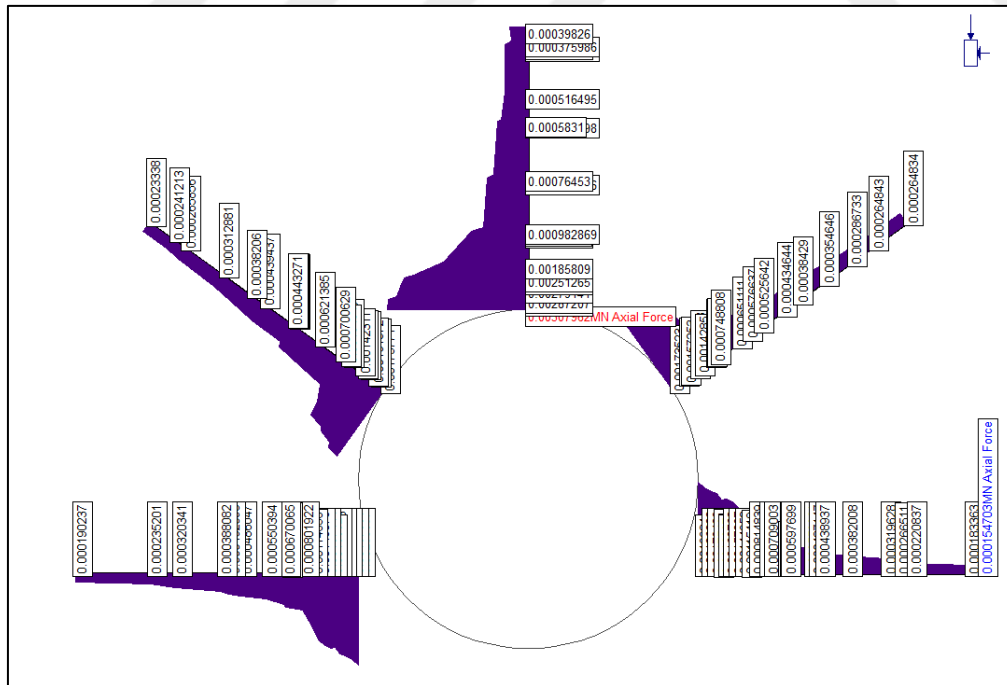
Şekil 4.177. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.178. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.179. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.180. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.67. 0+078 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	123,63	157,73	164,7	150,96	224,27	120,46
M (kN.m)	1,26	0,73	0,74	-2,41	4,97	-2,41
V (kN)	0,23	5,49	-5,63	-2,41	17,44	-16,71

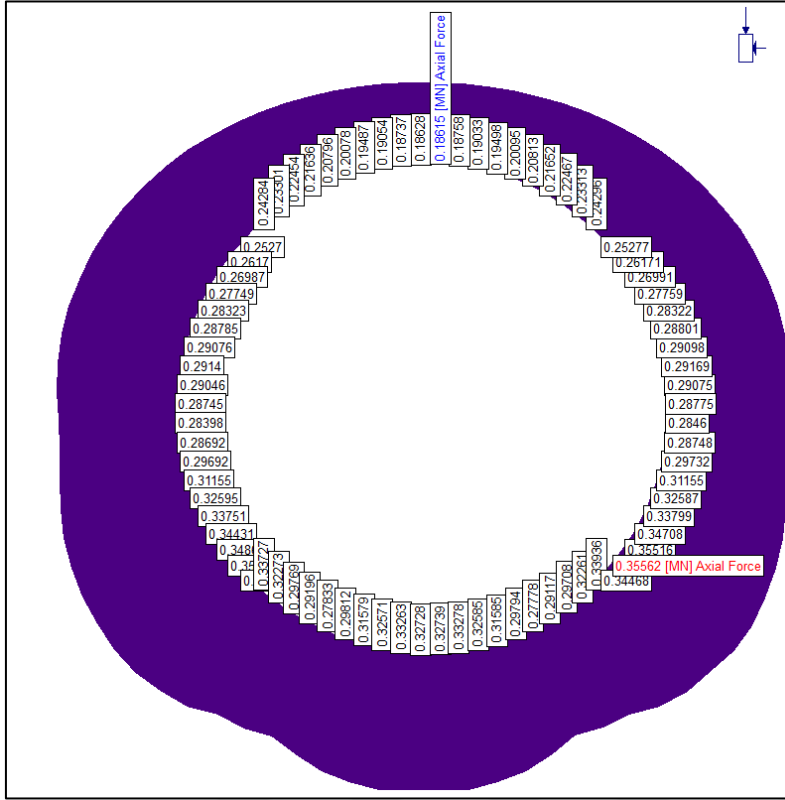
Çizelge 4.68. 0+078 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İşletme Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	225,01	287,07	299,75	274,75	408,17	219,24
M (kN.m)	2,29	1,33	1,35	-4,39	9,05	-4,39
V (kN)	0,42	9,99	-10,25	-4,39	31,74	-30,41

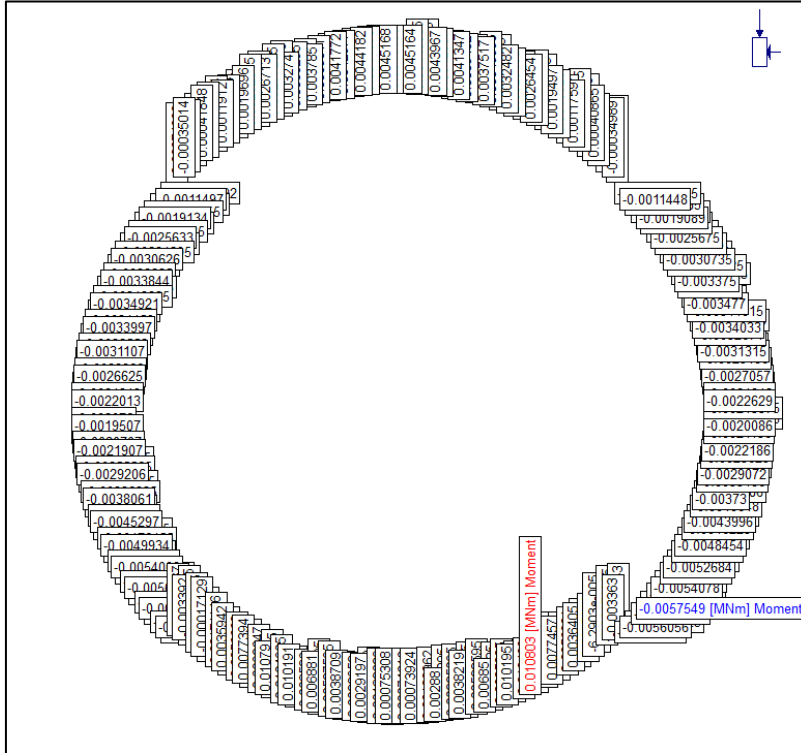
Çizelge 4.69. 0+078 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu	
	0+078	
	Max	Min
N (kN)	3,08	0,15

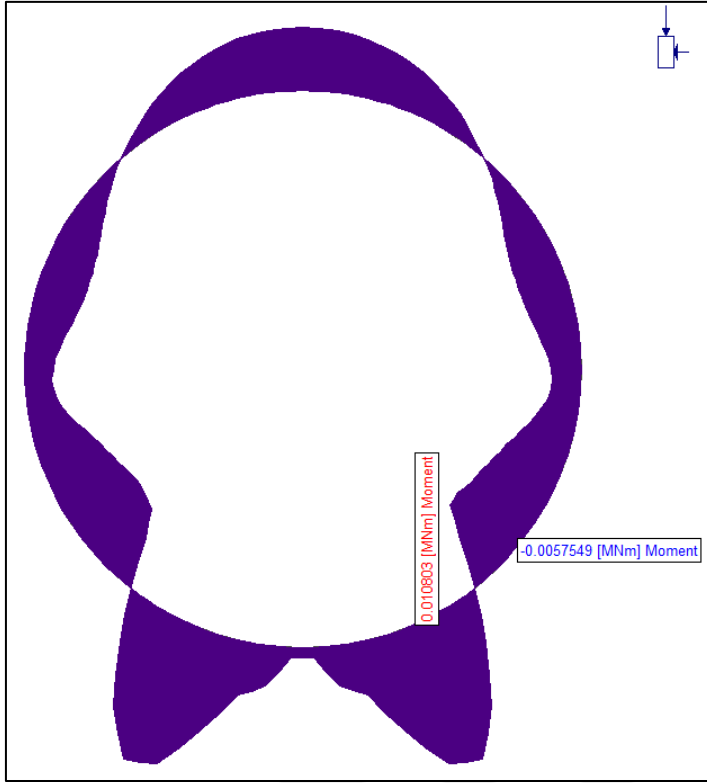
4.13.3. 0+158 Kesiti – analiz sonuçları



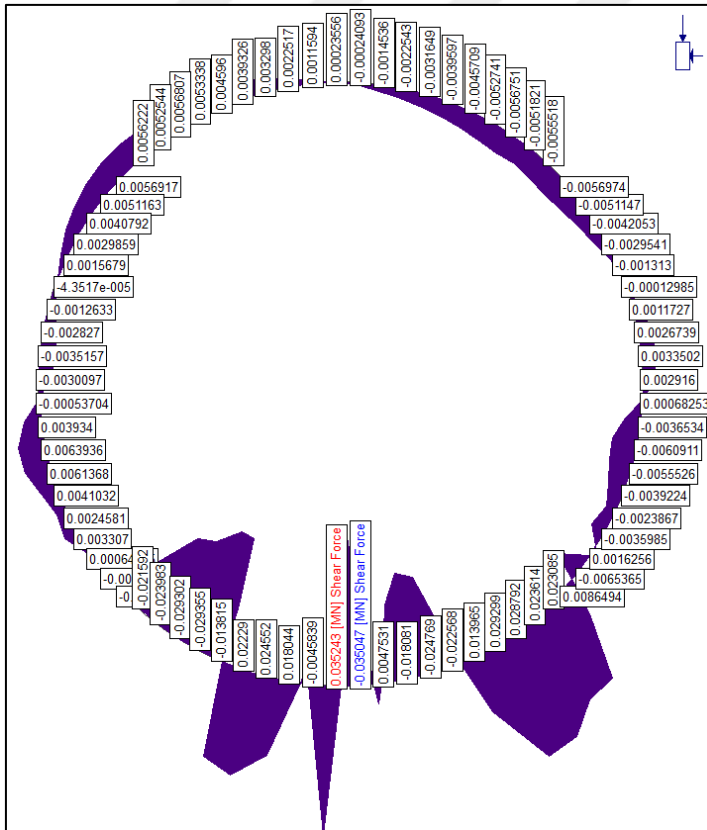
Şekil 4.181. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



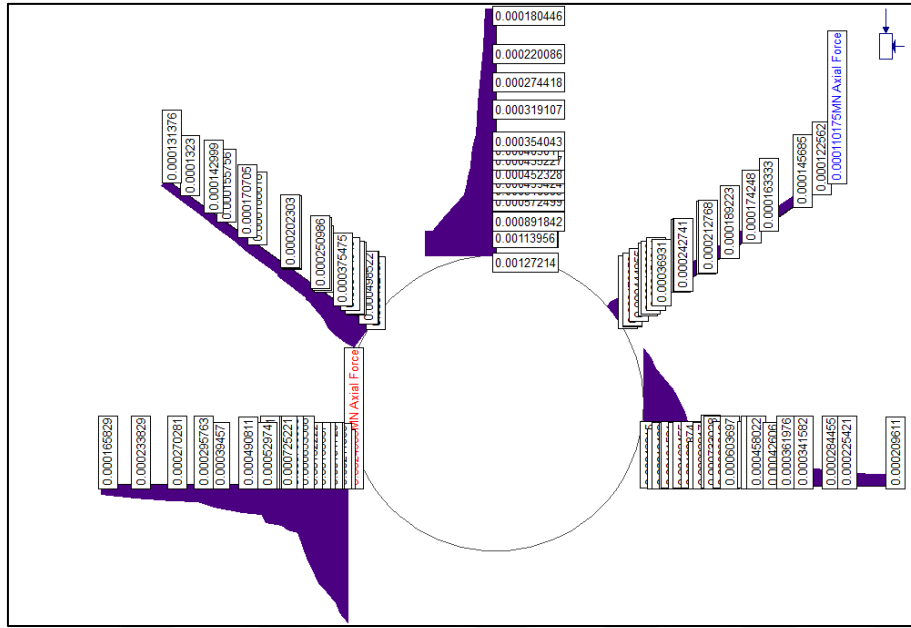
Şekil 4.182. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.183. 0+158 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.184. 0+158 Kesiti tünel Kaplaması - Kesme Kuvveti



Şekil 4.185. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.70. 0+158 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	186,28	287,75	283,98	327,39	355,62	186,15
M (kN.m)	4,52	-2,26	-1,95	0,74	10,80	-5,75
V (kN)	0,24	2,92	-0,54	4,76	35,24	-35,04

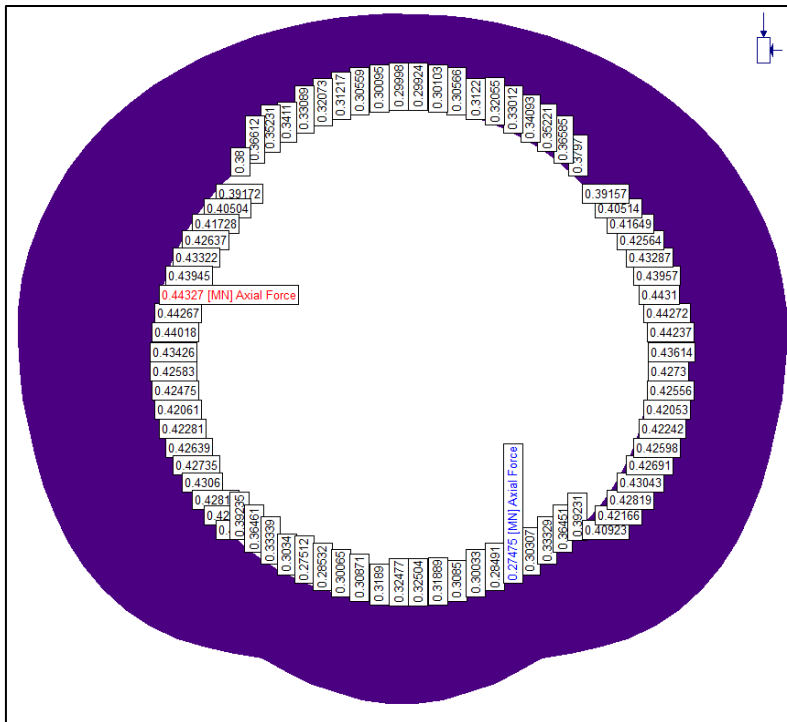
Çizelge 4.71. 0+158 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İşletme Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	339,03	523,71	516,84	595,85	647,23	338,79
M (kN.m)	8,23	-4,11	-3,55	1,35	19,66	-10,47
V (kN)	0,44	5,31	-0,98	8,66	64,14	-63,77

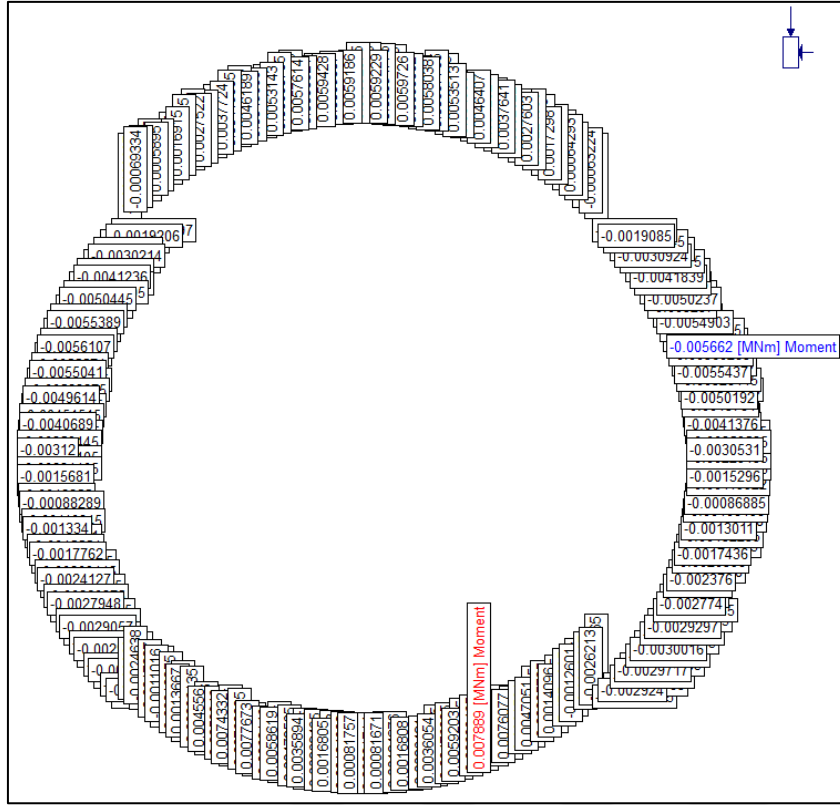
Çizelge 4.72. 0+158 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu	
	0+158	
	Max	Min
N (kN)	2,49	0,11

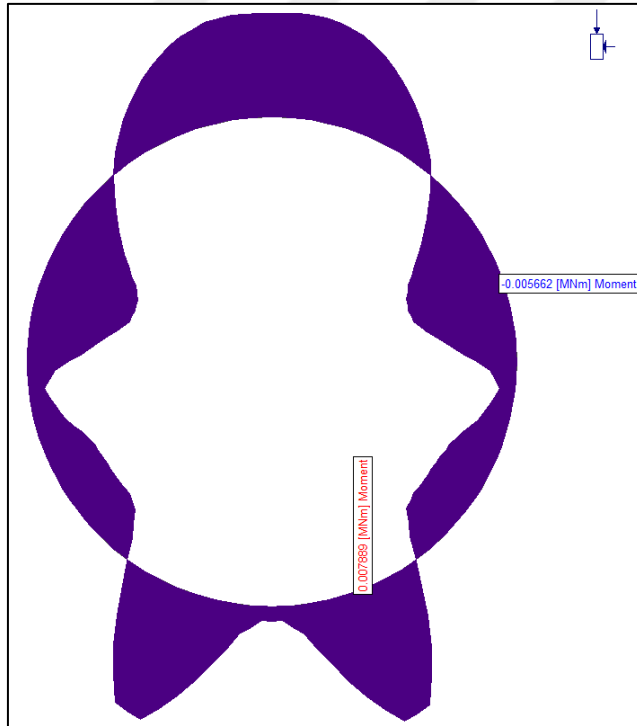
4.13.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları



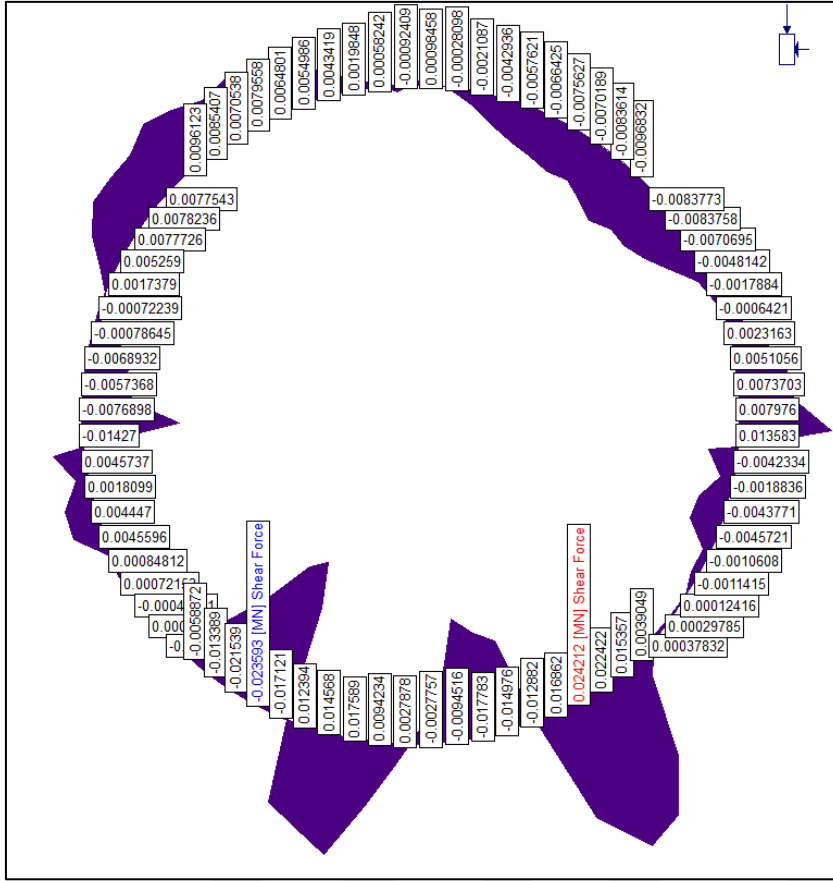
Şekil 4.186. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



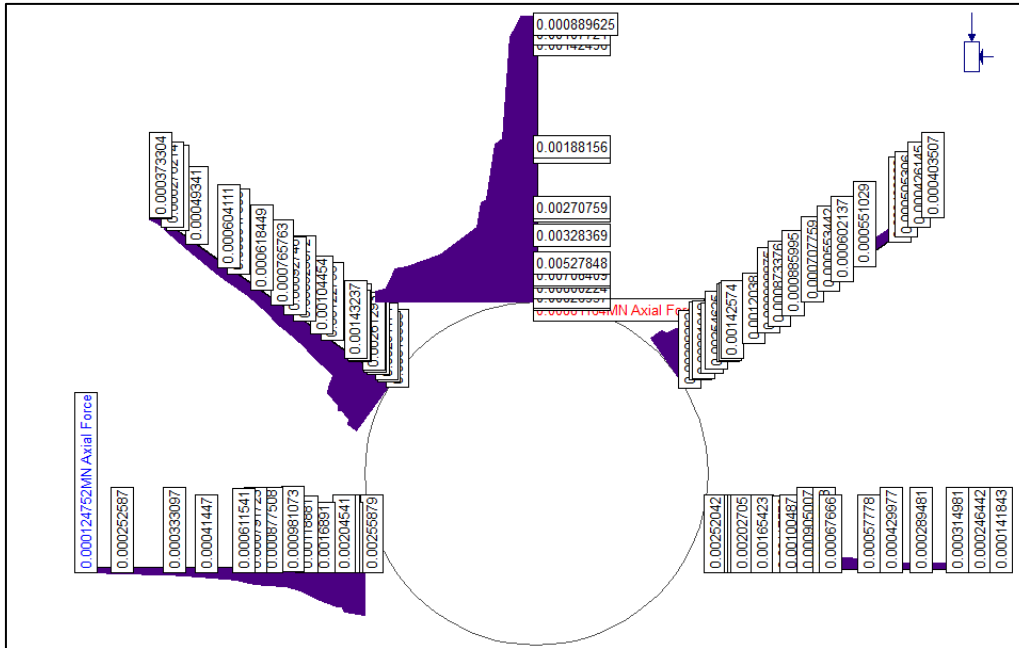
Şekil 4.187. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.188. 0+290 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.189. 0+290 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.190. 0+290 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.73. 0+290 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	299,24	442,37	440,18	325,04	443,27	274,75
M (kN.m)	5,93	-3,05	-3,12	0,82	7,89	-5,66
V (kN)	0,98	7,98	-7,69	-2,78	24,21	-23,59

Çizelge 4.74. 0+290 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

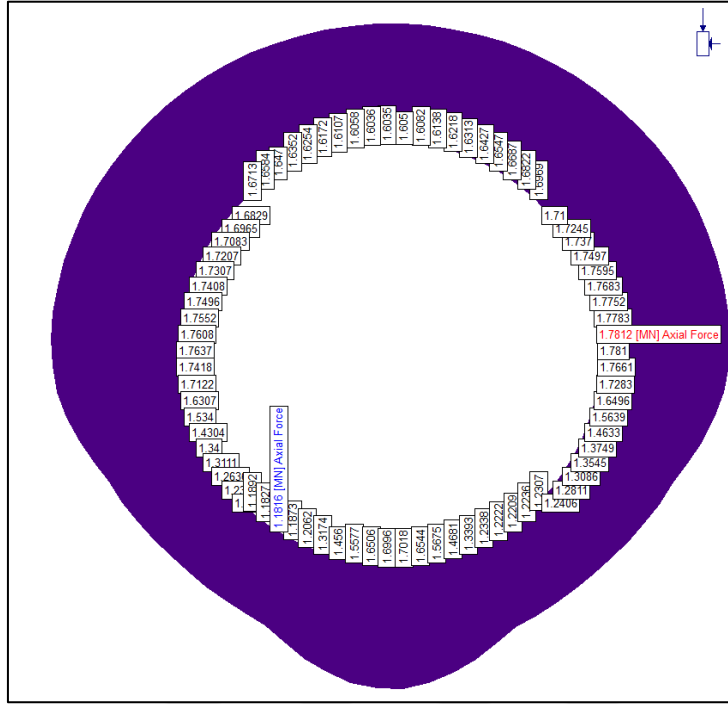
Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	İşletme Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	544,62	805,11	801,13	591,57	806,75	500,05
M (kN.m)	10,79	-5,55	-5,68	1,49	14,36	-10,30
V (kN)	1,78	14,52	-14,00	-5,06	44,06	-42,93

Çizelge 4.75. 0+290 Kesiti Phase2 analizi işletme durumu bulon eksenel kuvvetleri

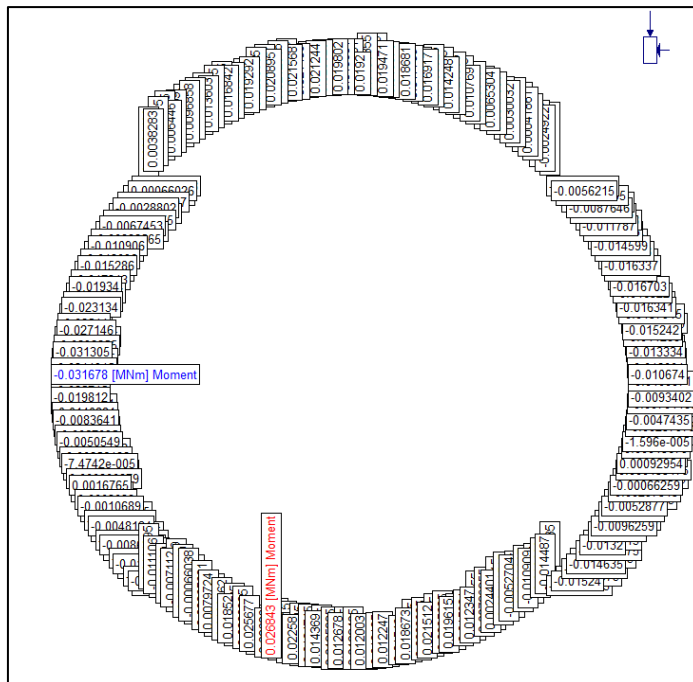
Phase 2 Analiz Sonuçları	İşletme Durumu	
	0+290	
	Max	Min
N (kN)	8,81	0,12

4.14. Onarım Durumu Analiz Sonuçları

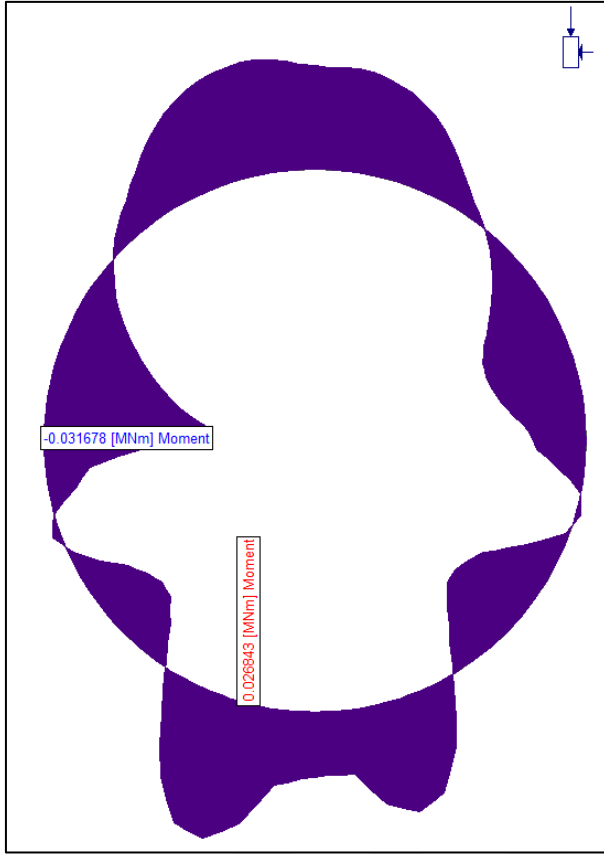
4.14.1. 0+024 Kesiti - analiz sonuçları



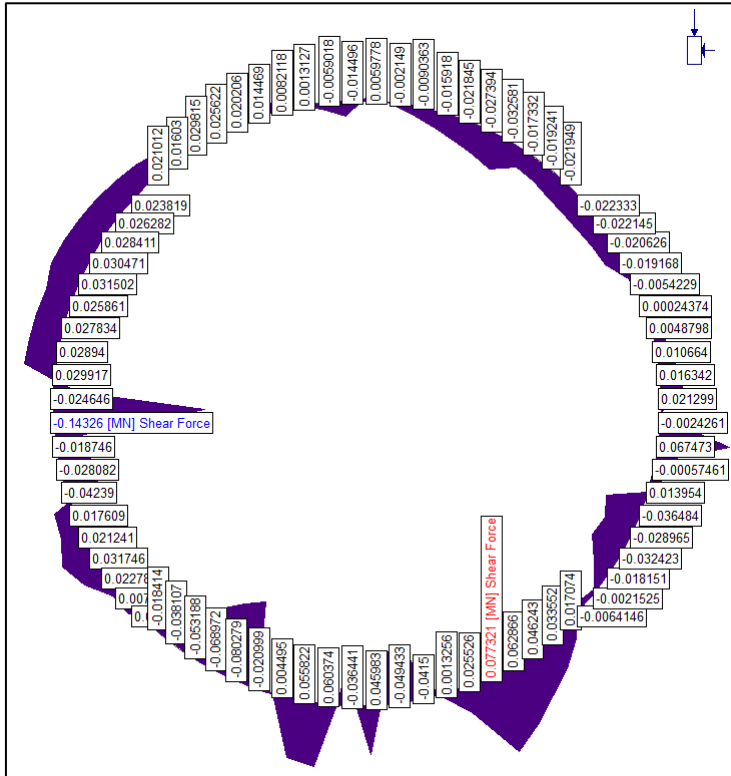
Şekil 4.191. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden aksel kuvvet dağılımı



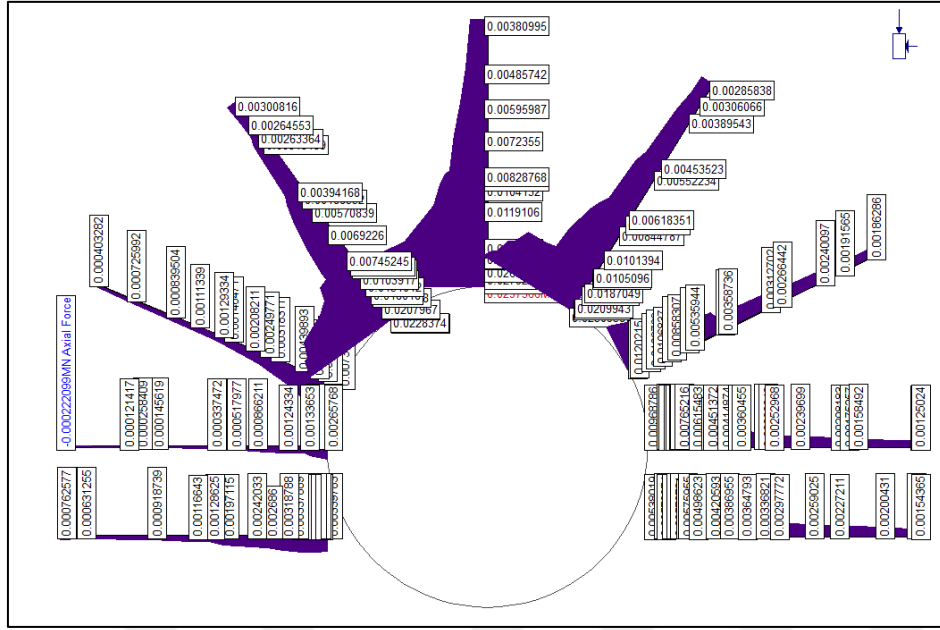
Şekil 4.192. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.193. 0+024 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.194. 0+024 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.195. 0+024 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.76. 0+024 Kesiti Phase2 analizi onarım yükleme durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Yükleme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1605,0	1781,2	1760,8	1701,8	1781,2	1181,6
M (kN.m)	19,2	-10,57	-31,68	12,25	-31,68	26,84
V (kN)	5,98	21,30	-24,65	-45,98	143,26	77,32

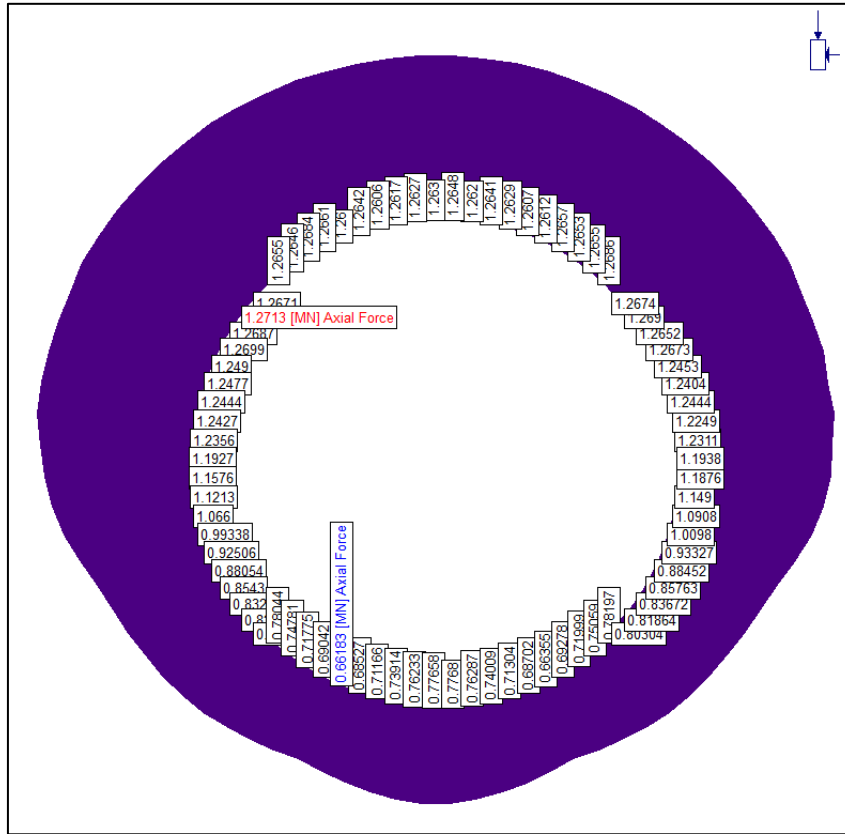
Çizelge 4.77. 0+024 Kesiti phase2 analizi onarım yükleme durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Onarım Yükleme Durumu					
	0+024					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	2190,83	2431,34	2403,49	2322,96	2431,34	1612,88
M (kN.m)	26,21	-14,43	-43,24	16,72	-43,24	36,64
V (kN)	8,16	29,07	-33,65	-62,76	195,55	105,54

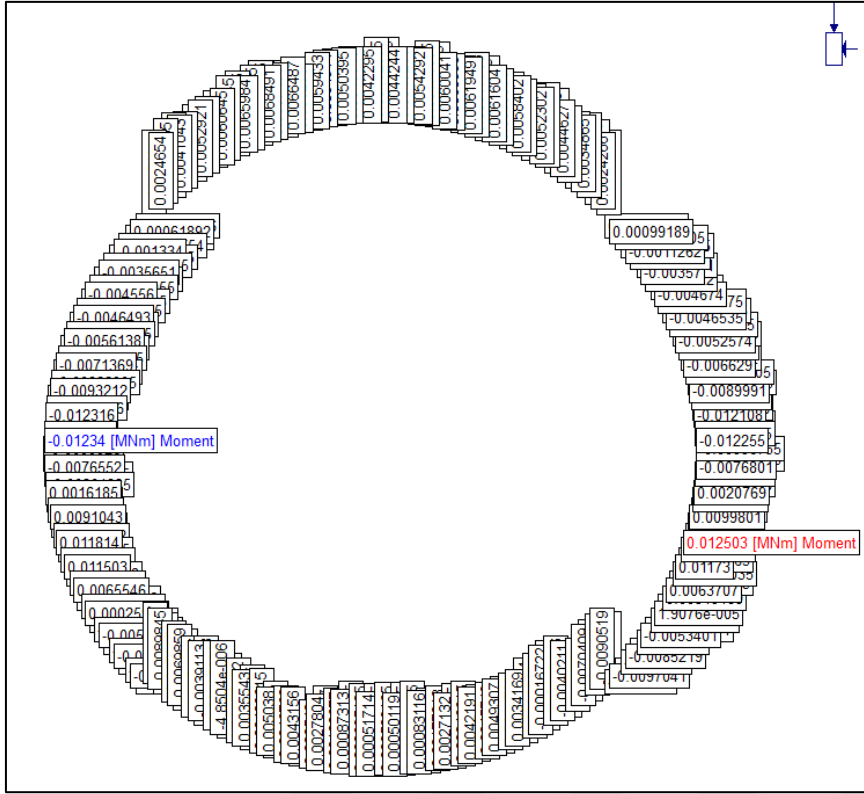
Çizelge 4.78. 0+024 Kesiti Phase2 analizi onarım yükleme durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Yükleme Durumu	
	0+024	
	Max	Min
N (kN)	29,76	-0,22

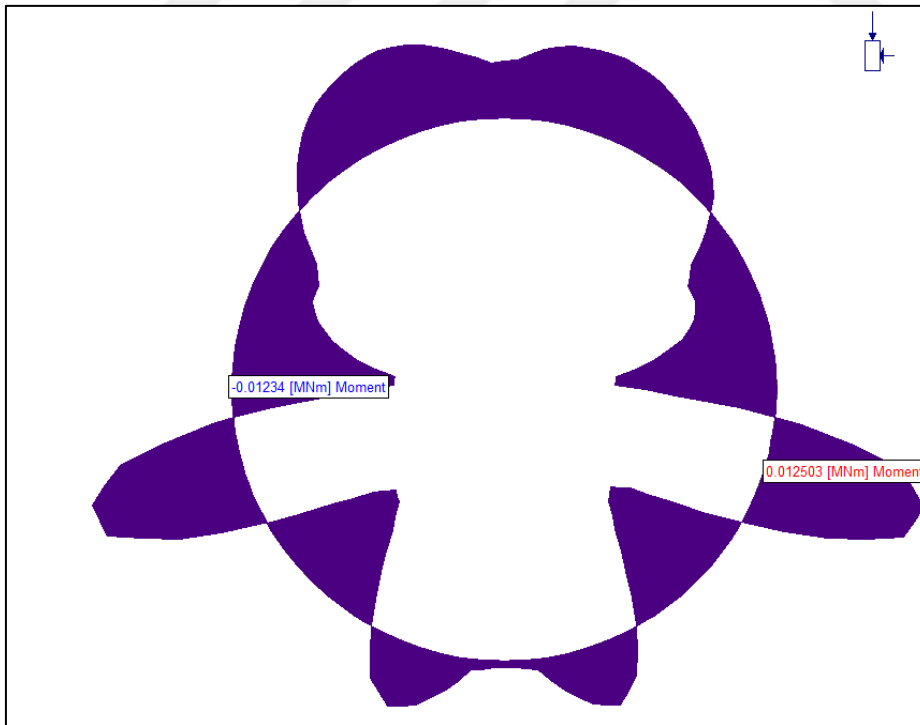
4.14.2. 0+078 Kesiti - analiz sonuçları



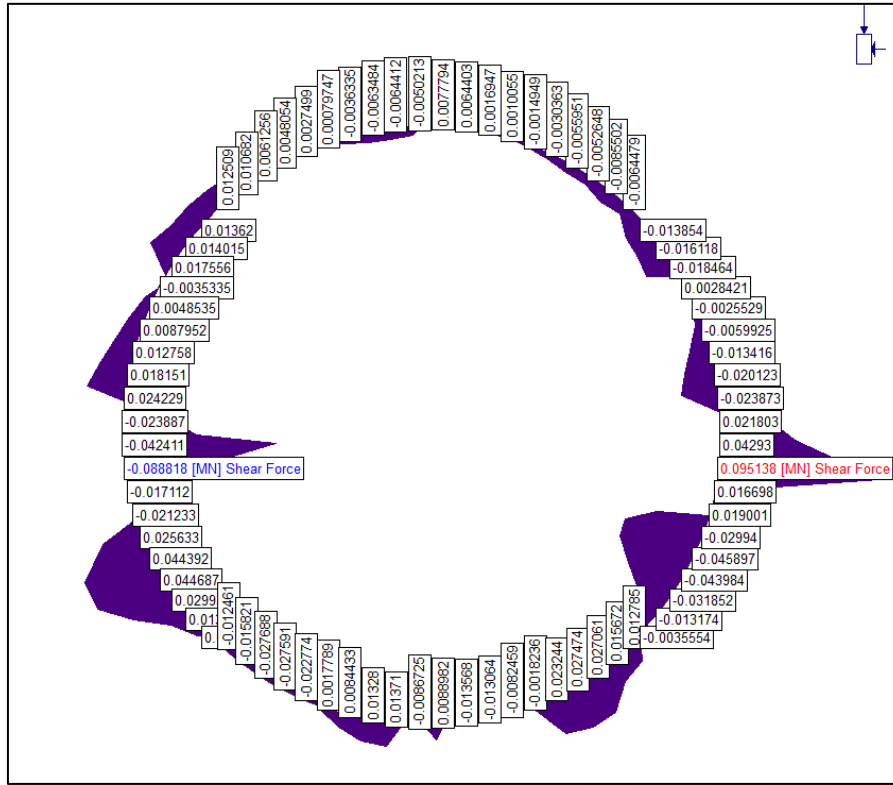
Şekil 4.196. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



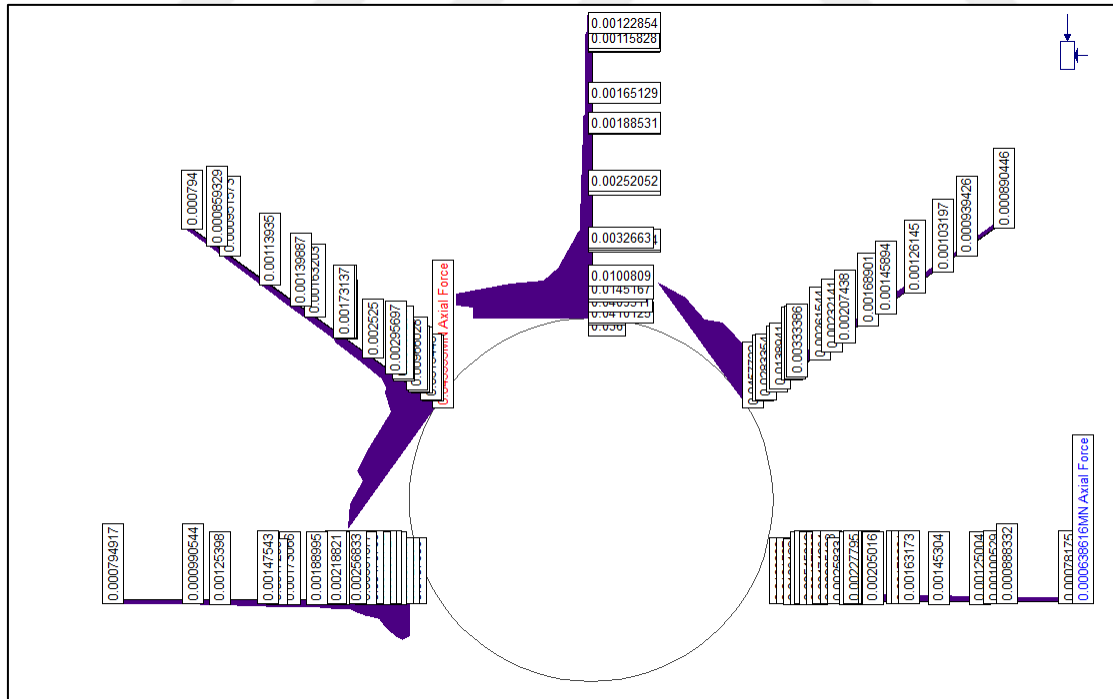
Şekil 4.197. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment değerleri



Şekil 4.198. 0+078 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.199. 0+078 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.200. 0+078 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.79. 0+078 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1264,80	1231,10	1235,60	776,80	1271,30	661,83
M (kN.m)	4,42	-12,11	-12,34	0,83	12,50	-12,34
V (kN)	7,78	21,80	-23,89	-13,57	95,14	-88,82

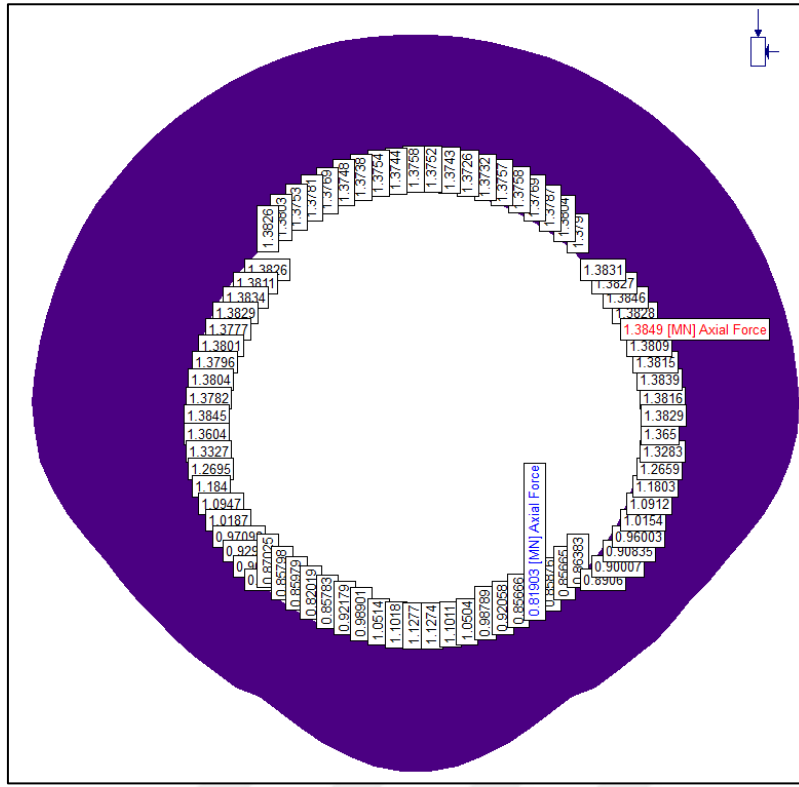
Çizelge 4.80. 0+078 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Onarım Durumu					
	0+078					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1726,45	1680,45	1686,59	1060,33	1735,33	903,40
M (kN.m)	6,03	-16,53	-16,84	1,13	17,06	-16,84
V (kN)	10,62	29,76	-32,61	-18,52	129,87	-121,24

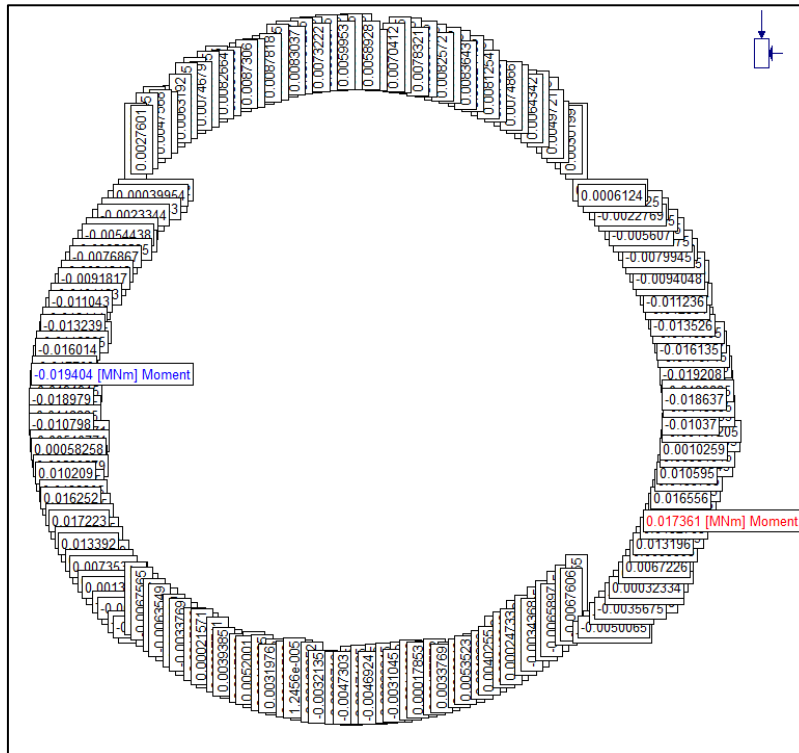
Çizelge 4.81. 0+078 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu	
	0+078	
	Max	Min
N (kN)	0,64	45,99

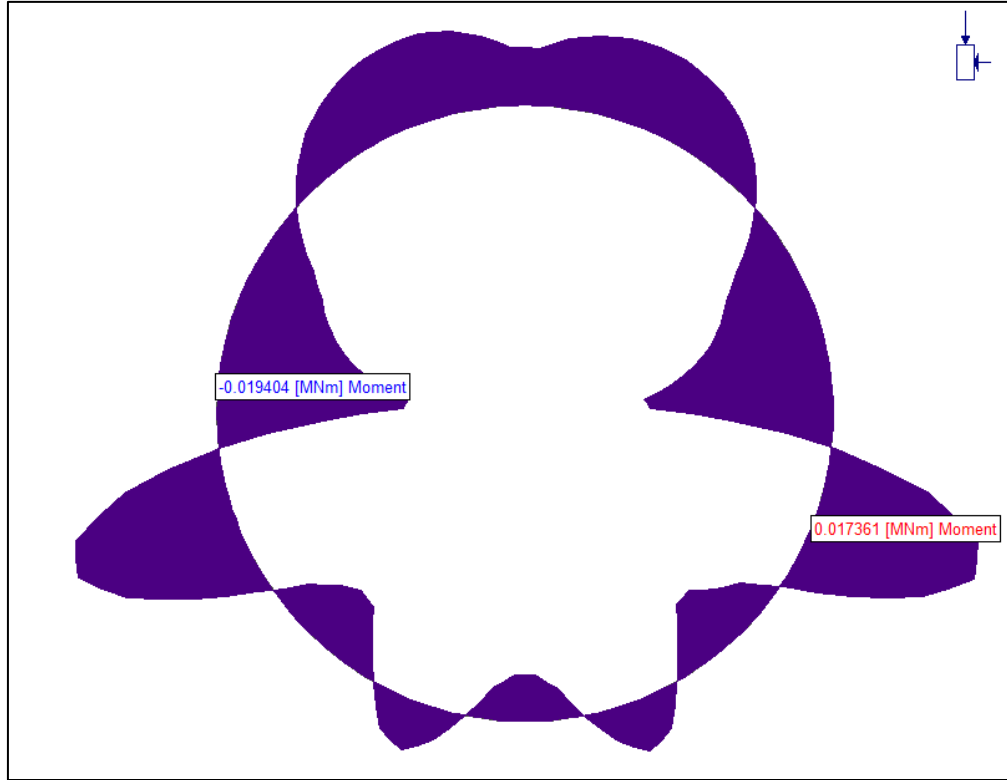
4.14.3. 0+158 Kesiti - analiz sonuçları



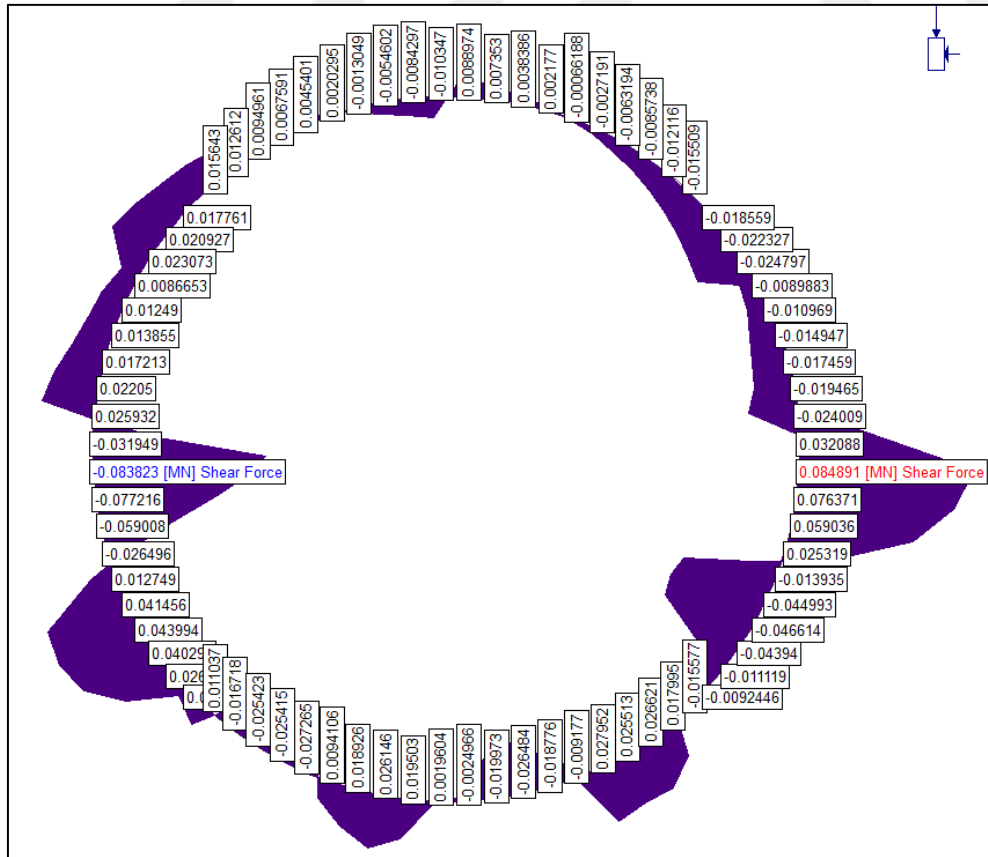
Şekil 4.201. 0+158 Kesiti tünel Kaplaması eksenel kuvvet dağılımı



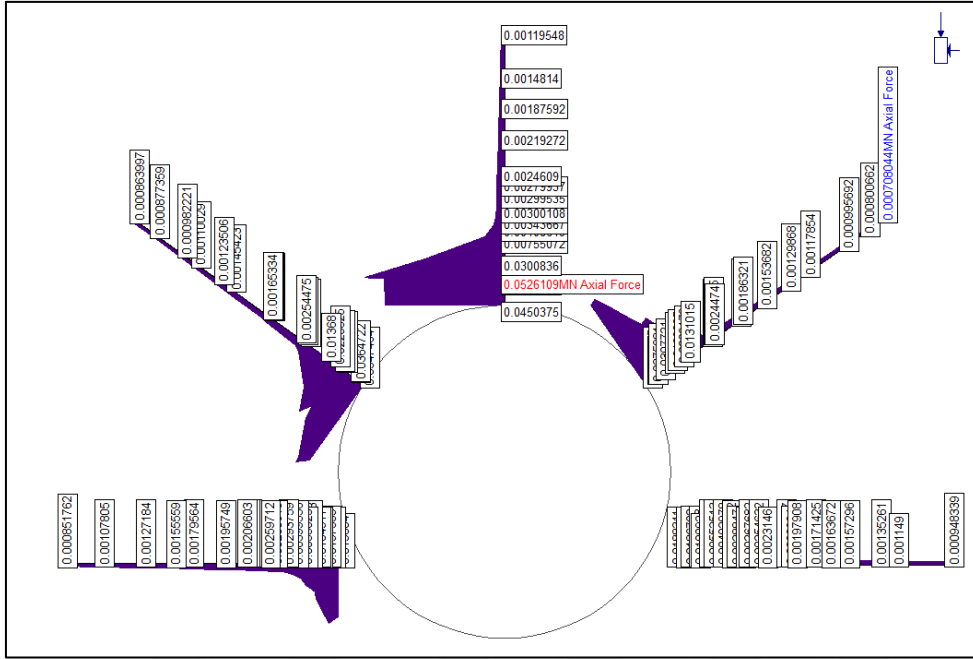
Şekil 4.202. 0+158 Kesiti tünel kaplaması moment değerleri



Şekil 4.203. 0+158 Kesiti tünel kaplaması moment dağılımı



Şekil 4.204. 0+158 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.205. 0+158 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.82. 0+158 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1375,2	1382,9	1384,5	1127,4	1384,9	819,03
M (kN.m)	5,89	-18,64	-19,40	-4,70	17,36	-19,40
V (kN)	8,90	32,09	-31,95	-2,50	84,89	-83,82

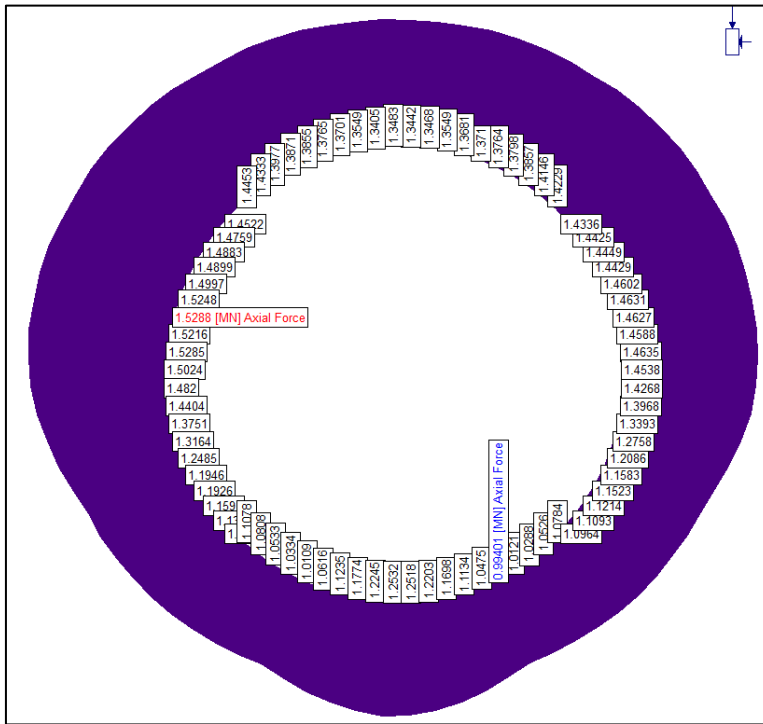
Çizelge 4.83. 0+158 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Onarım Durumu					
	0+158					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1877,15	1887,66	1889,84	1538,90	1890,39	1117,98
M (kN.m)	8,04	-25,44	-26,48	-6,42	23,70	-26,48
V (kN)	12,15	43,80	-43,61	-3,41	115,87	-114,41

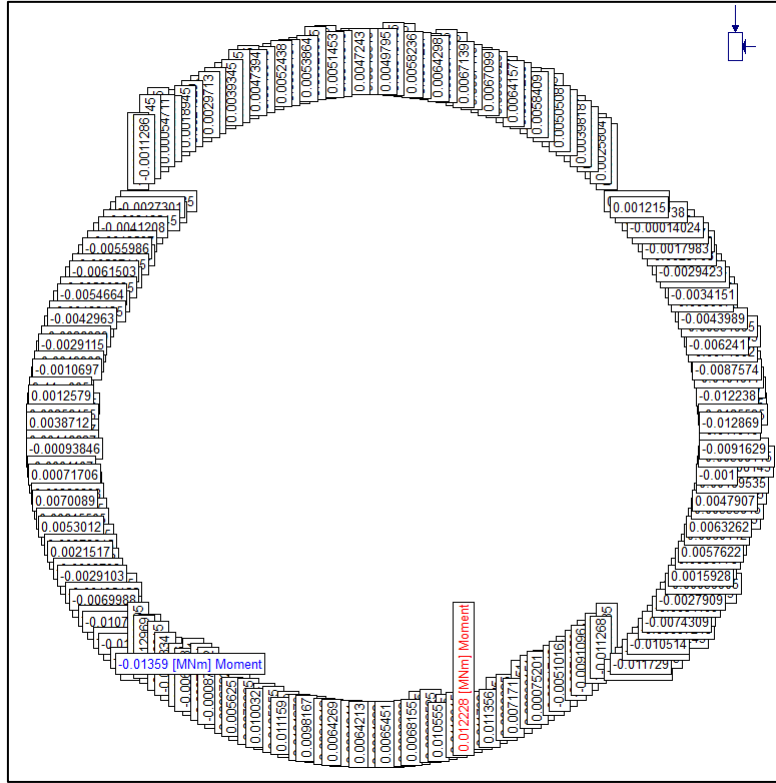
Çizelge 4.84. 0+158 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu	
	0+158	
	Max	Min
N (kN)	52,61	0,71

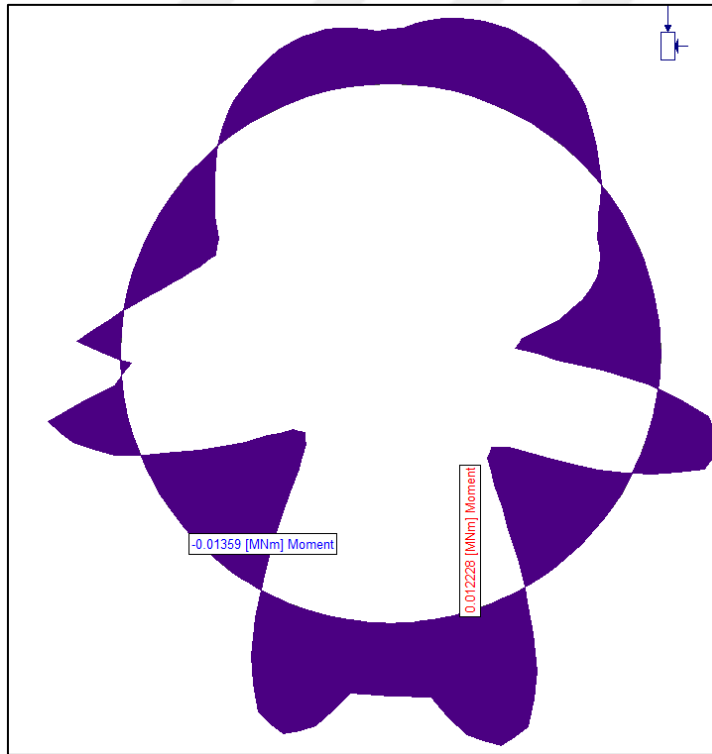
4.14.4. 0+290 Kesiti - analiz sonuçları



Şekil 4.206. 0+290 Kesiti tünel kaplaması eksenel kuvvet dağılımı



Şekil 4.207. 0+290 Kesiti tünel kaplaması moment değerleri



Şekil 4.208. 0+290 Kesiti tünel kaplaması moment dağılımı

Çizelge 4.85. 0+290 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1344,2	1453,8	1502,4	1251,8	1528,8	994,01
M (kN.m)	4,98	-12,24	3,87	6,55	-13,59	12,23
V (kN)	-2,96	19,94	-20,54	26,19	-112,02	88,60

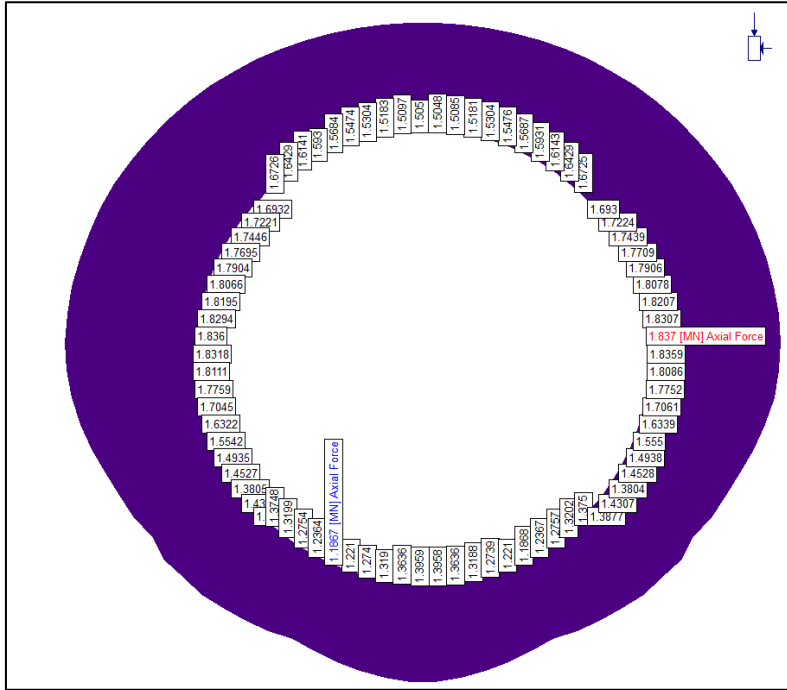
Çizelge 4.86. 0+290 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Onarım Durumu					
	0+290					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1834,83	1984,44	2050,78	1708,71	2086,81	1356,82
M (kN.m)	6,80	-16,71	5,28	8,94	-18,55	16,69
V (kN)	-4,04	27,22	-28,04	35,75	-152,91	120,94

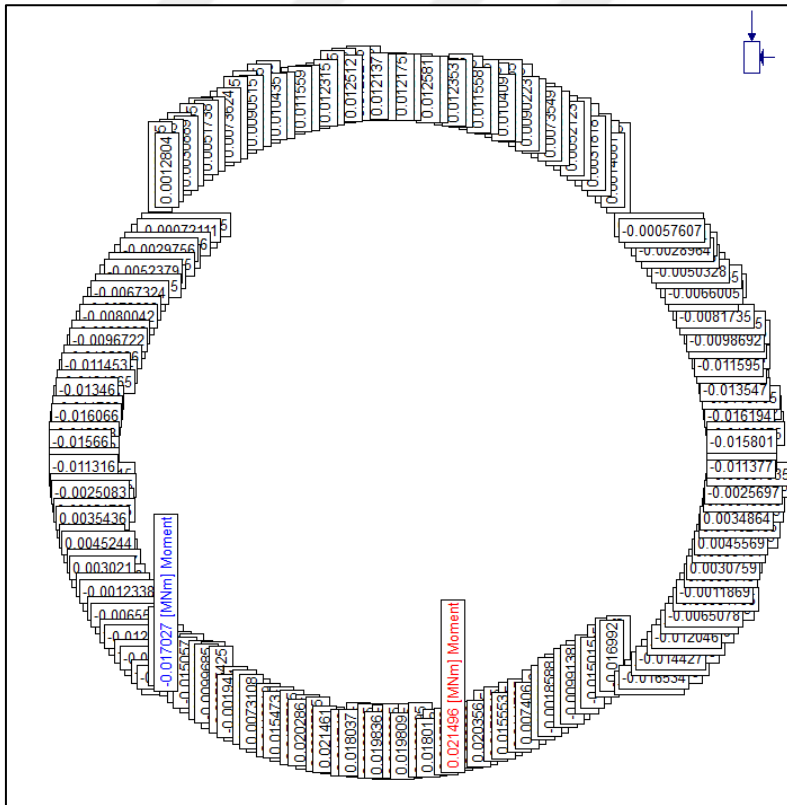
Çizelge 4.87. 0+290 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu	
	0+290	
	Max	Min
N (kN)	26,92	0,084

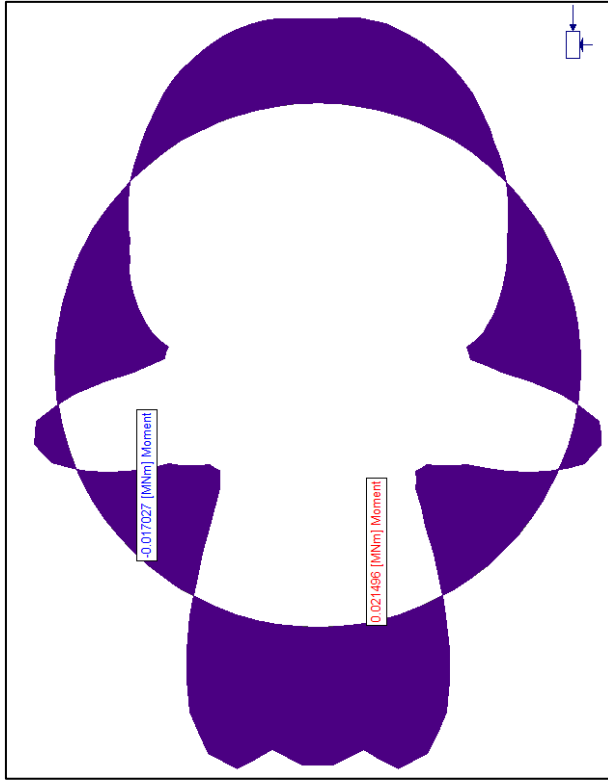
4.14.5. 0+373 Kesiti - analiz sonuçları



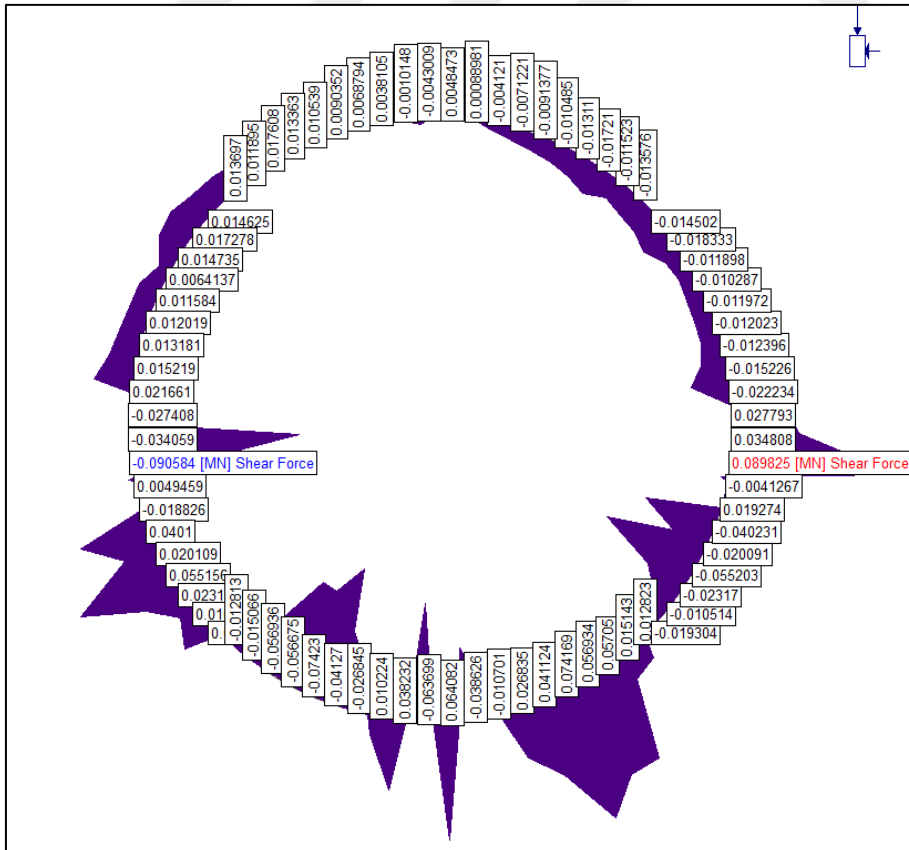
Şekil 4.211. 0+373 Kesiti tünel kaplaması eksenel kuvvet dağılımı



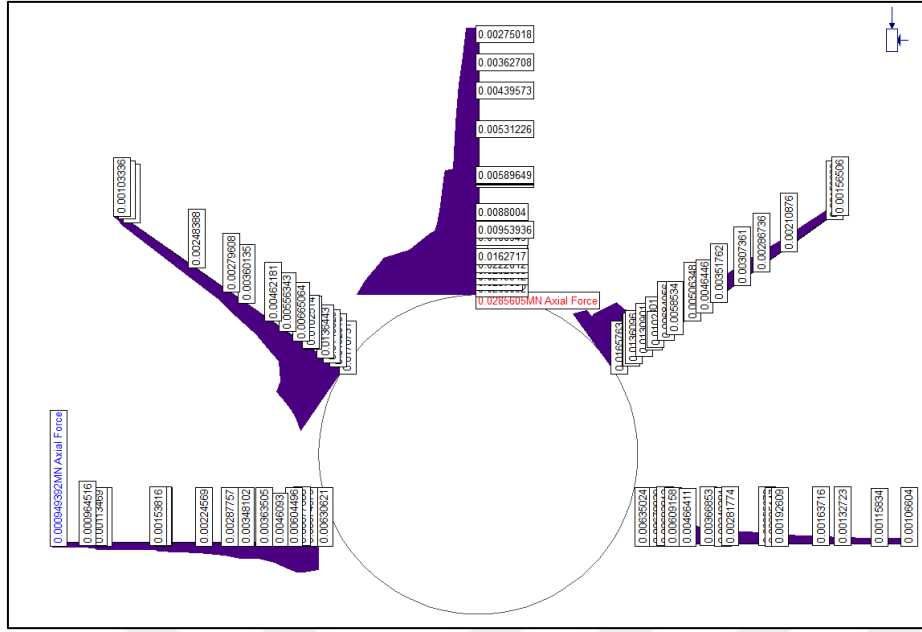
Şekil 4.212. 0+373 kesiti tünel kaplaması moment değerleri



Şekil 4.213. 0+373 Kesiti tünel kaplaması moment dağılımı



Şekil 4.214. 0+373 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.215. 0+373 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.88. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1504,8	1837	1839,4	1395,8	1837,0	1186,7
M (kN.m)	12,59	-13,55	-16,07	19,81	21,50	-17,03
V (kN)	4,85	27,79	-27,41	64,08	-90,58	89,83

Çizelge 4.89. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Onarım Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	2054,05	2507,51	2510,78	1905,27	2507,51	1619,85
M (kN.m)	17,19	-18,50	-21,94	27,04	29,35	-23,25
V (kN)	6,62	37,93	-37,41	87,47	-123,64	122,62

Çizelge 4.90. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu	
	0+373	
	Max	Min
N (kN)	28,56	0,95

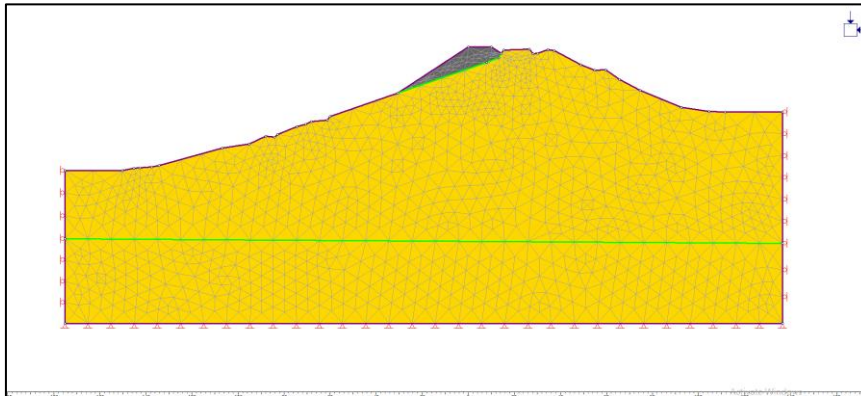
4.15. Dış Basınç Durumu Analizi ve Sonuçları

4.15.1. Baraj gövde ağırlığı durumu analizi ve sonuçları

Yapılması planlanan derivasyon tüneli “0+373” kesitinde baraj gövdesi altından geçmektedir. Baraj gövdesinin yapımına, tünel kaplaması tamamlandıktan sonra başlanacağı için, gövdenin ağırlığı nedeni ile tünel kaplamasına ilave kuvvetler gelecektir.

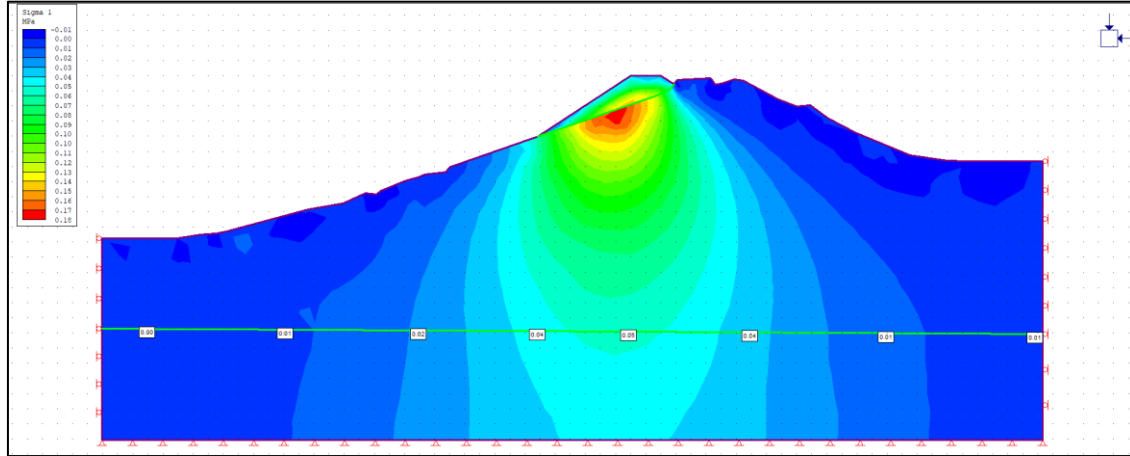
Derivasyon tüneline, etki edecek ilave yüklerin bulunması için gerek tünel kazısının, gerekse baraj gövdesinin üç boyuttaki değişimleri nedeniyle basitleştirmeler yapılması gerekli görülmüştür. Bu amaçla, gerçekte meydana gelecek kuvvetlere mümkün olduğu kadar yakın kuvvetler bulunabilmesi amacı ile, iki farklı aşamada, iki farklı ve iki boyutlu sonlu elemanlar modeli kullanılmasının uygun bir yaklaşım olacağı düşünülmüştür.

Birinci aşamada, tünel profili ve üzerinde bulunan baraj gövdesi iki boyutlu bir şekilde modellenmiş ve tünel tavanı seviyesinde, baraj gövdesi nedeniyle oluşacak ilave gerilmeler belirlenmeye çalışılmıştır. Burada, tünel üzerindeki et kalınlığının ve baraj gövdesinin, düzleme dik doğrultudaki değişimleri ihmal edilmiş olup, baraj gövde geometrisinin ve tünel üzerindeki et kalınlığının sabit olduğu kabul edilmiştir. Kurulan model aşağıda verilmiştir.



Şekil 4.216. Tünel profili düzleminde kurulan nümerik model

Yapılan analizde baraj gövdesi nedeniyle, tünel tavan seviyesinde meydana gelecek maksimum ilave gerilmelerin dağılımı aşağıdaki şekilde verilmiştir. Buna göre, “0+373” kesiti için 0,05 MPa ilave gerilme alınması uygun bulunmuştur.

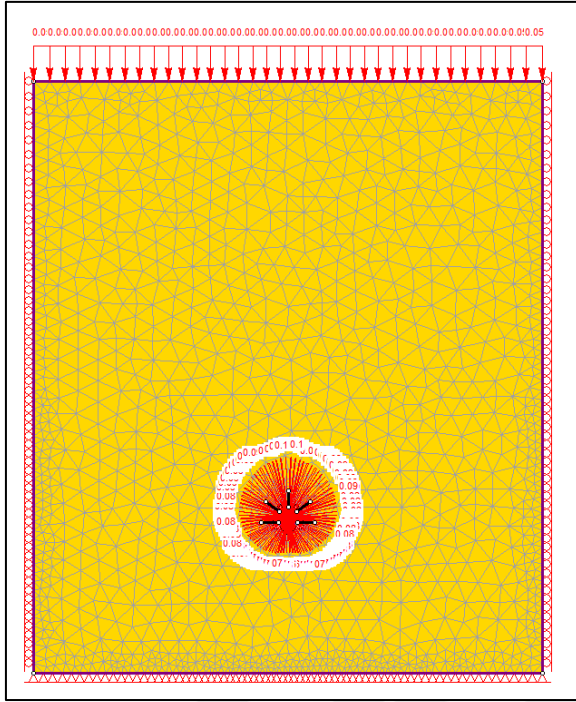


Şekil 4.217. Tünel tavan seviyesine gelen ilave gerilmelerin dağılımı

4.15.2. 0+373 Dış yük analizi

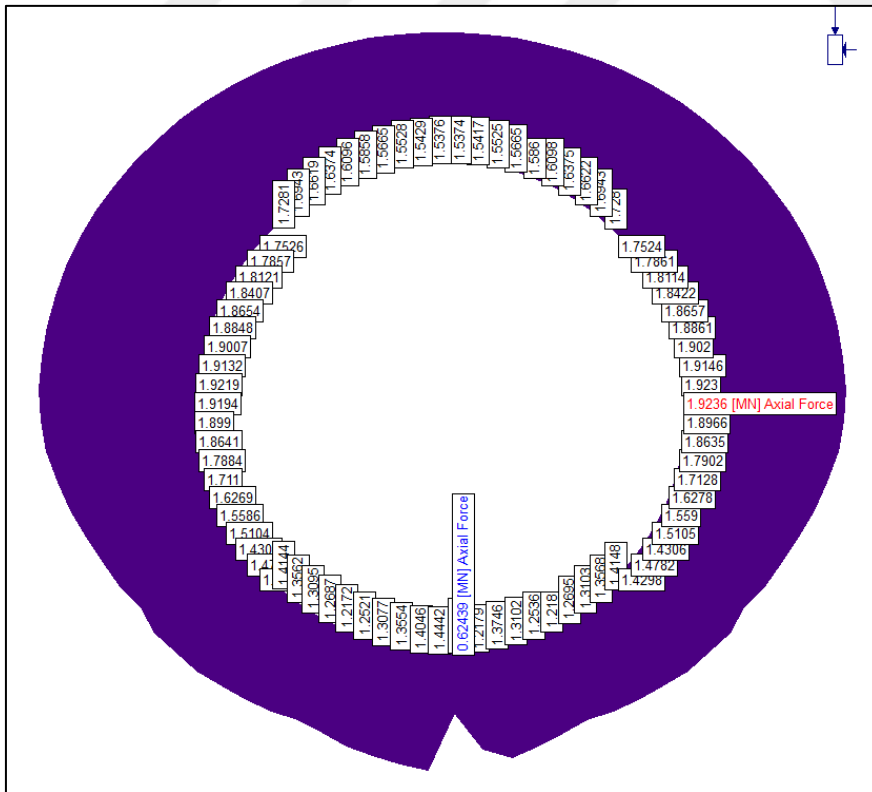
İkinci aşamada ise, birinci aşamada baraj gövdesi nedeniyle oluşacak olan ilave gerilmeler, “0+373” kesitine düşey gerilme olarak verilerek tünel kaplamasında meydana getireceği ilave kesit tesirleri bulunmuştur. Bu amaçla 0,05 MPa olarak belirlenen gerilme değerleri, kurulan modelin üst sınırına düzgün yayılı yük olarak modellenerek analizler gerçekleştirilmiştir.

“0+373” kesiti düzleminde baraj gövde ağırlığının modellendiği analizde 4 aşamalı sonlu elemanlar modeli kullanılmıştır. İlk 3 aşamada, tünel kazısı ve destek sistemi modellenmiş ve tünel kaplamasının inşasından önceki safha elde edilmiştir. 4. aşamada tünel kaplaması modele dahil edilmiş ve baraj gövde yüklemesi model üst sınırına düzgün yayılı yük olarak uygulanmıştır. Analizde kullanılan Phase2 modeli ve yükleme durumu aşağıdaki şekillerde sunulmuştur.

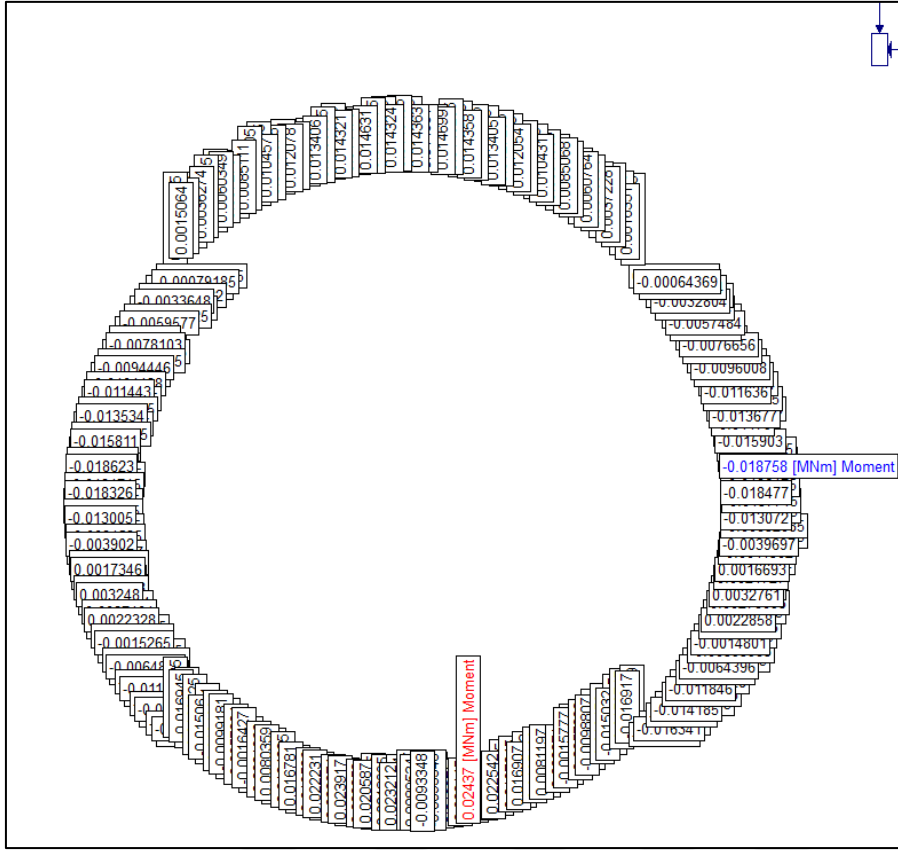


Şekil 4.218. 0+373 Kesiti dış yük modeli

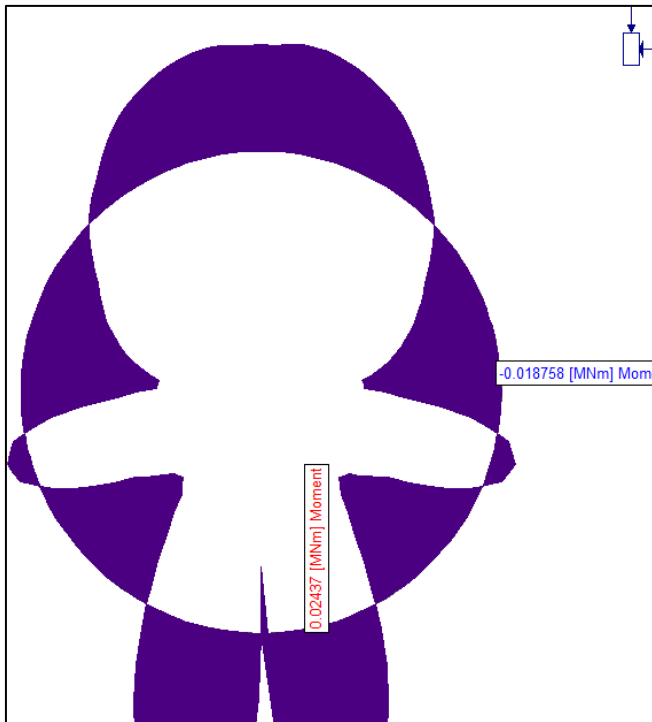
Onarım:



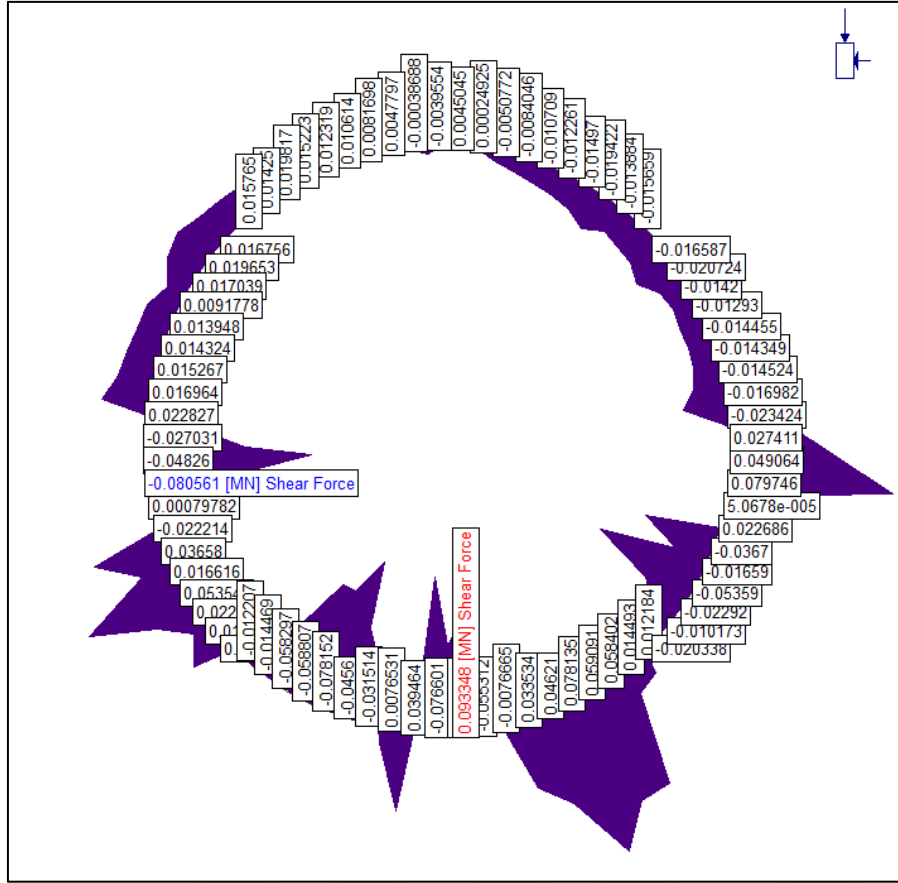
Şekil 4.219. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden eksenel kuvvet dağılımı



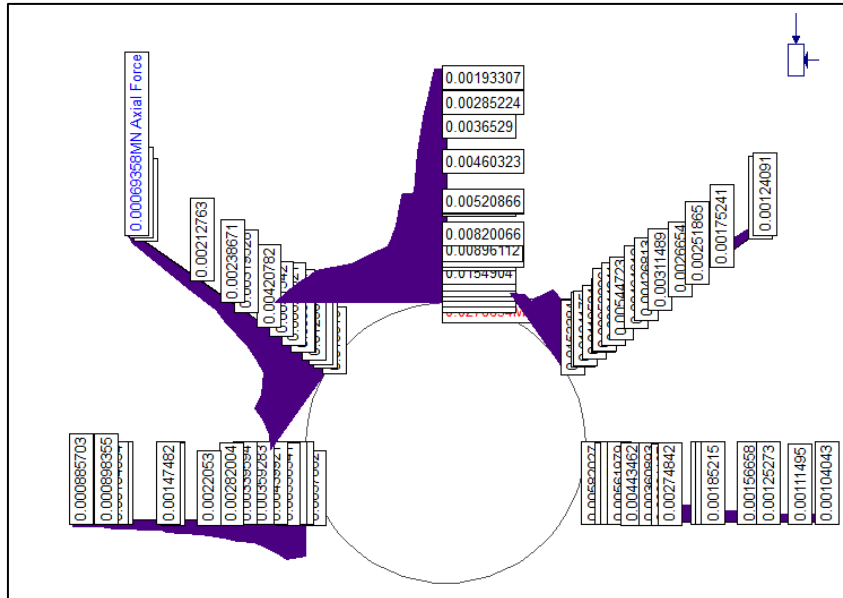
Şekil 4.220. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.221. 0+373 Kesiti tünel kaplamasına etki eden moment dağılımı



Şekil 4.222. 0+373 Kesiti tünel kaplaması kesme kuvveti



Şekil 4.223. 0+373 Kesiti bulon eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.91. 0+373 Kesiti Phase2 analizi dış yük onarım durumu kesit tesirleri

Phase 2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	1537,40	1923,6	1919,4	624,39	1923,6	624,39
M (kN.m)	14,37	-18,76	-18,33	-9,13	24,37	-18,76
V (kN)	4,51	27,41	-48,26	-76,66	93,35	-80,56

Çizelge 4.92. 0+373 Kesiti Phase2 analizi dış yük onarım durumu tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Tasarıma Esas Kesit Tesirleri	Onarım Durumu					
	0+373					
	1	2	3	4	Max (kN)	Min (kN)
N (kN)	2098,55	2625,71	2619,98	852,29	2098,55	2625,71
M (kN.m)	19,62	-25,61	-25,02	-12,46	33,26	-25,61
V (kN)	6,16	37,41	-65,87	-104,64	127,42	-109,96

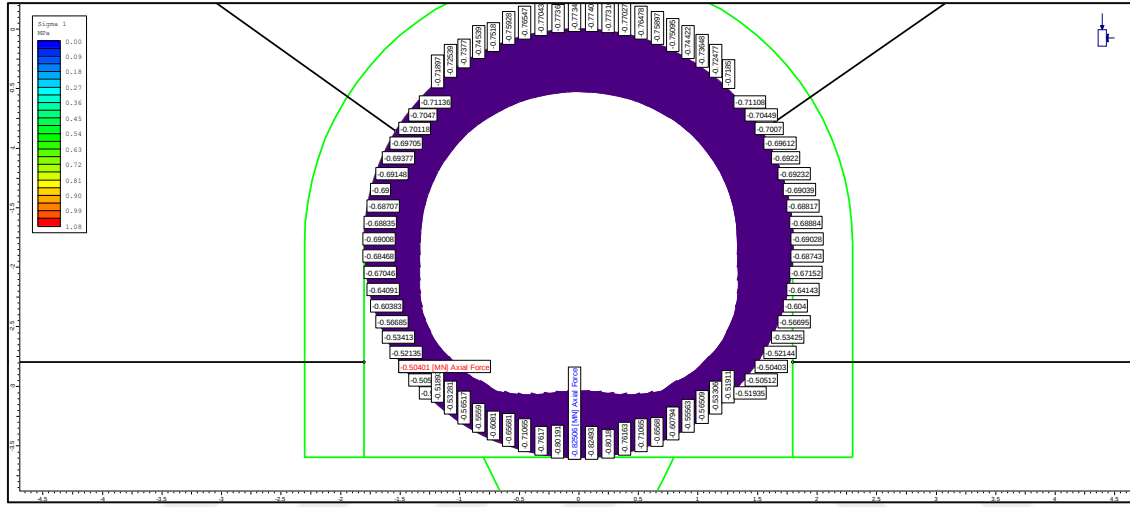
Çizelge 4.93. 0+373 Kesiti Phase2 analizi onarım durumu bulon eksenel kuvvetleri

Phase2 Analiz Sonuçları	Onarım Durumu	
	0+373	
	Max	Min
N (kN)	27,86	0,69

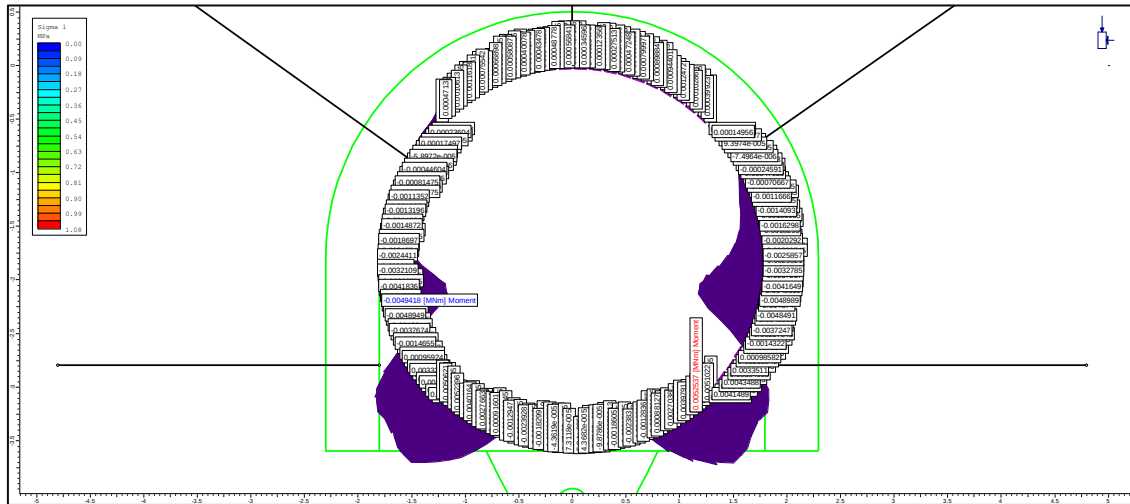
4.16. Farklı Örtü Yükseklikleri ve Kaya Koşulları için Parametrik Çalışma

Çalışma kapsamında farklı örtü yükseklikleri ve kaya koşulları için parametrik analiz gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar aşağıdaki şekil ve grafiklerde sunulmuştur.

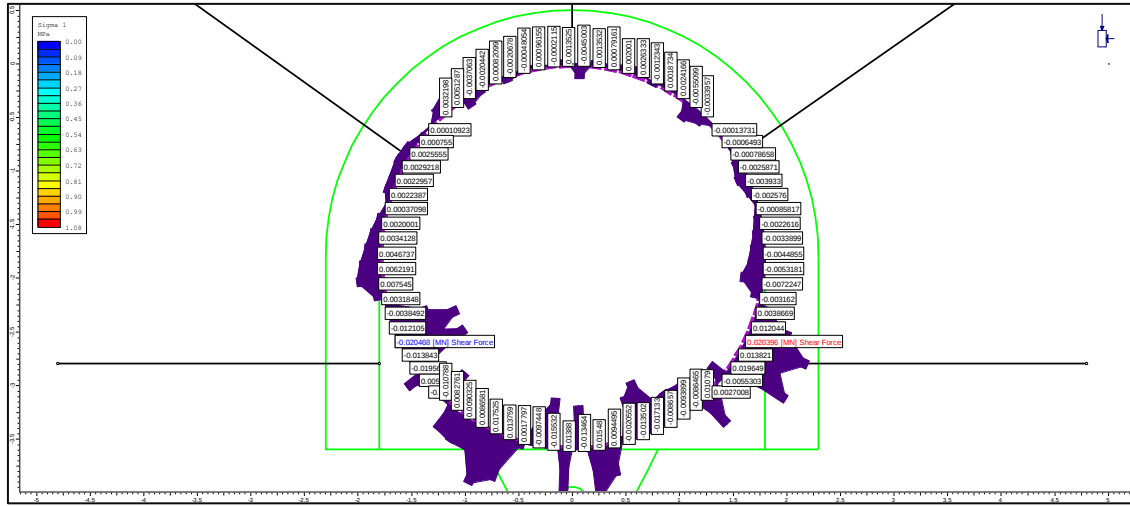
Düşük örtü- Barton (2002) - kötü koşullar



Şekil 4.224. Düşük örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

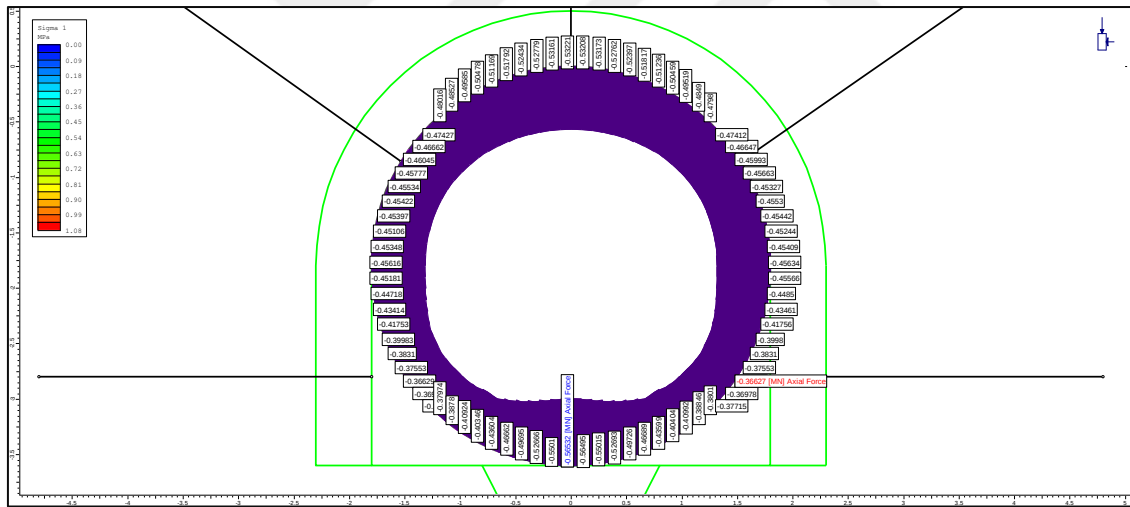


Şekil 4.225. Düşük örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı

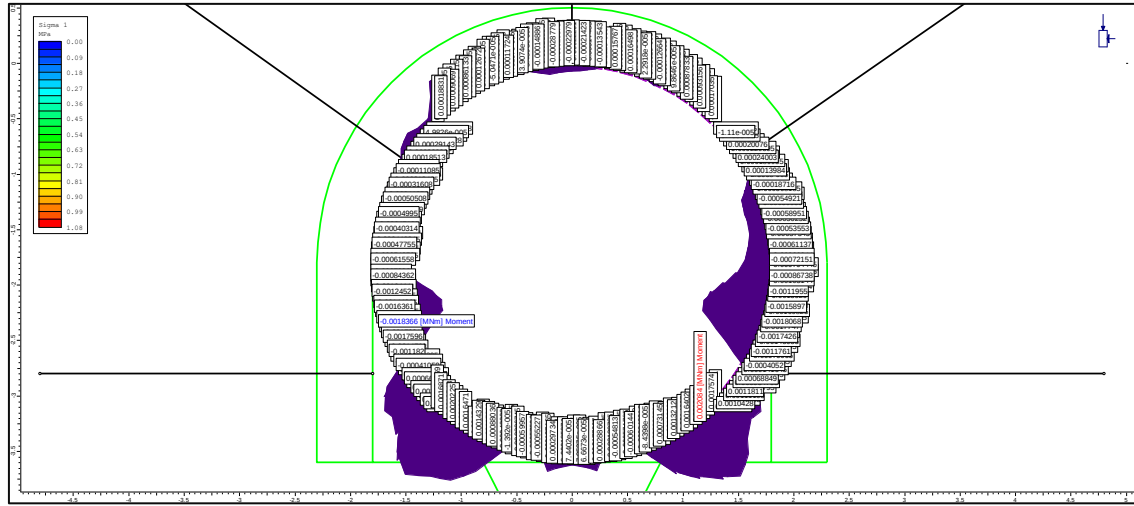


Şekil 4.226. Düşük örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı

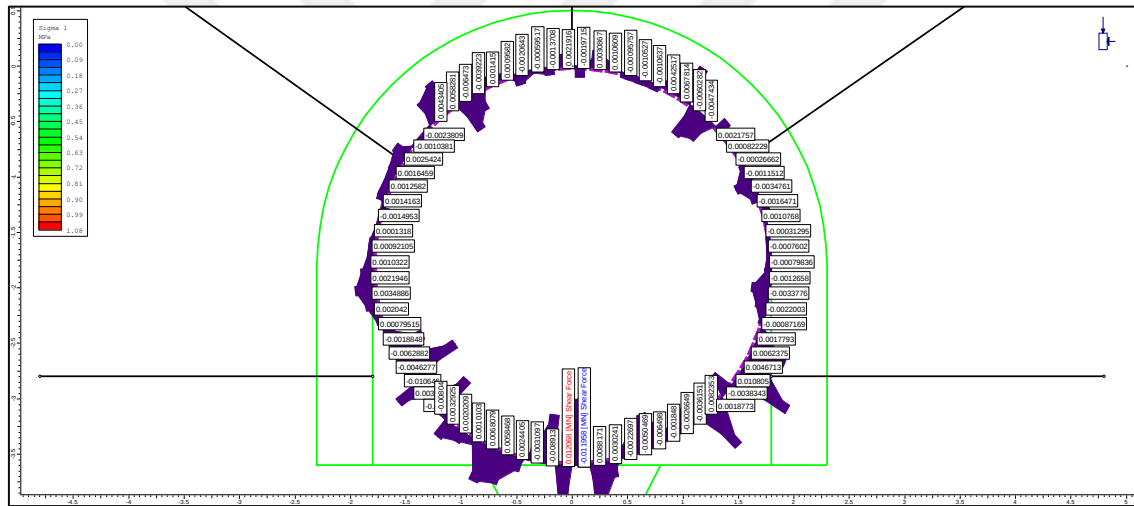
Düşük örtü - Barton (2002) - iyi koşullar



Şekil 4.227. Düşük örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

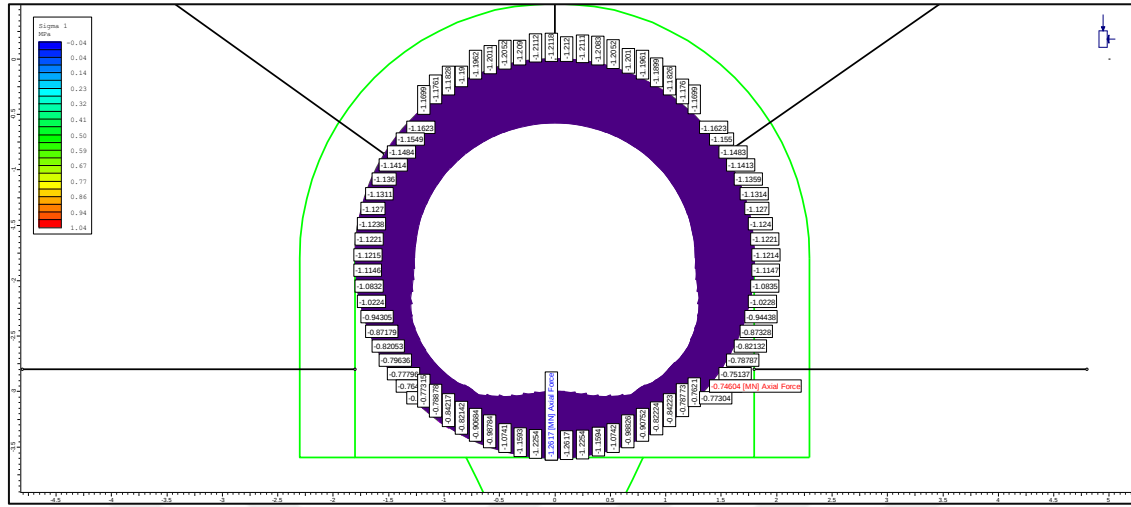


Şekil 4.228. Düşük örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı

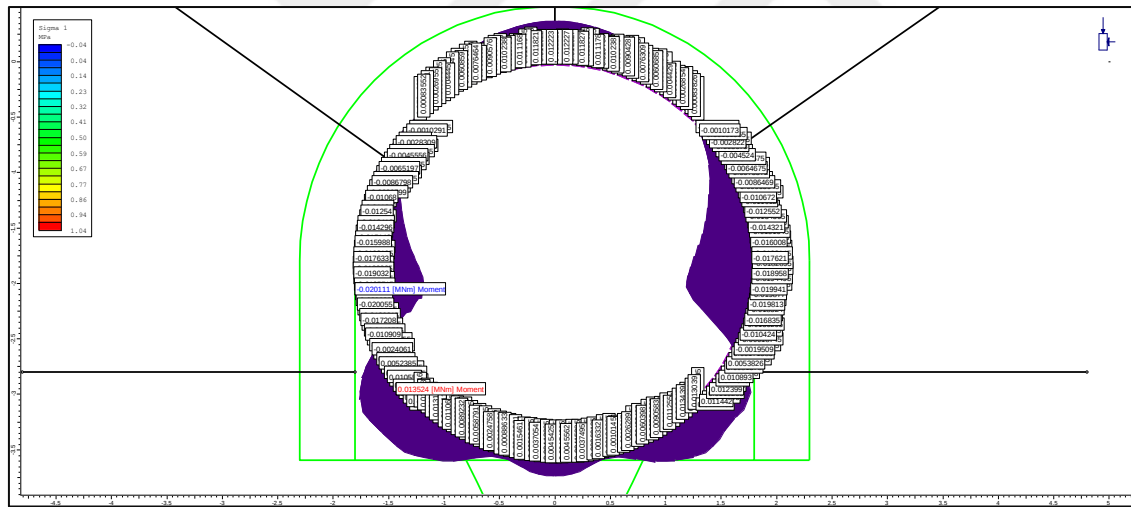


Şekil 4.229. Düşük örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı

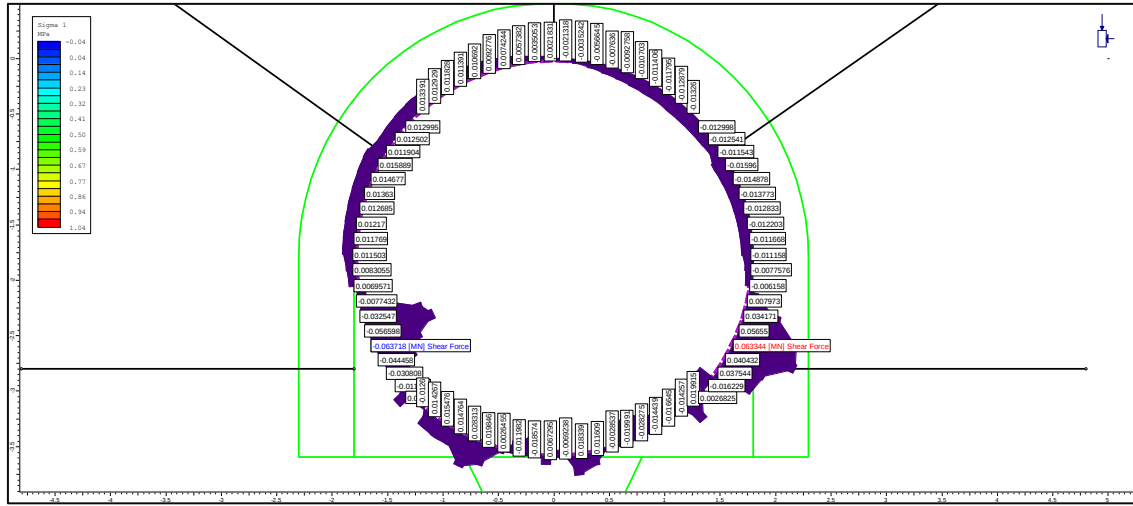
Düşük örtü - Sönmez vd. (2006) - kötü koşullar



Şekil 4.230. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen aksenal kuvvet dağılımı

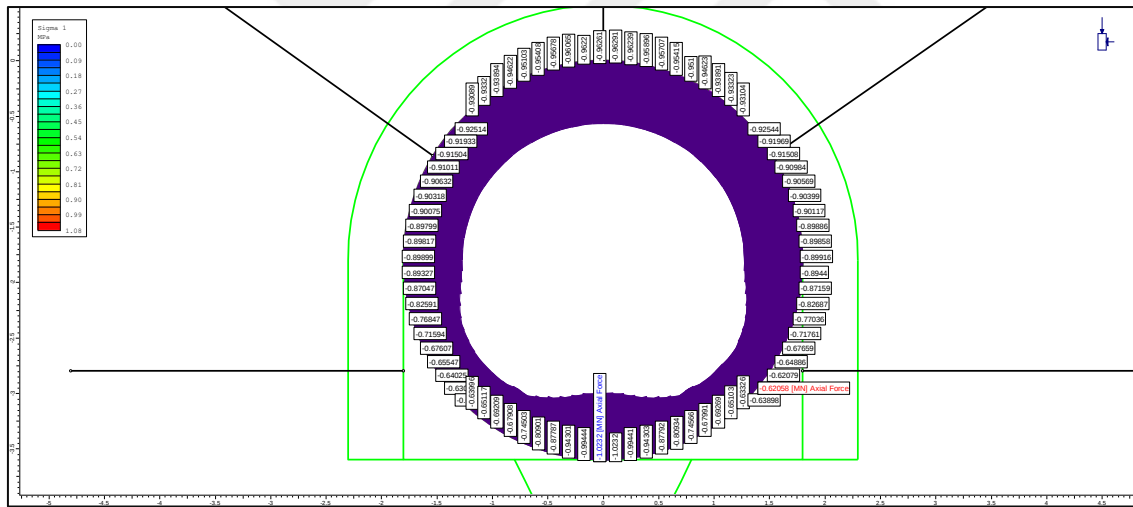


Şekil 4.231. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen aksenal moment dağılımı

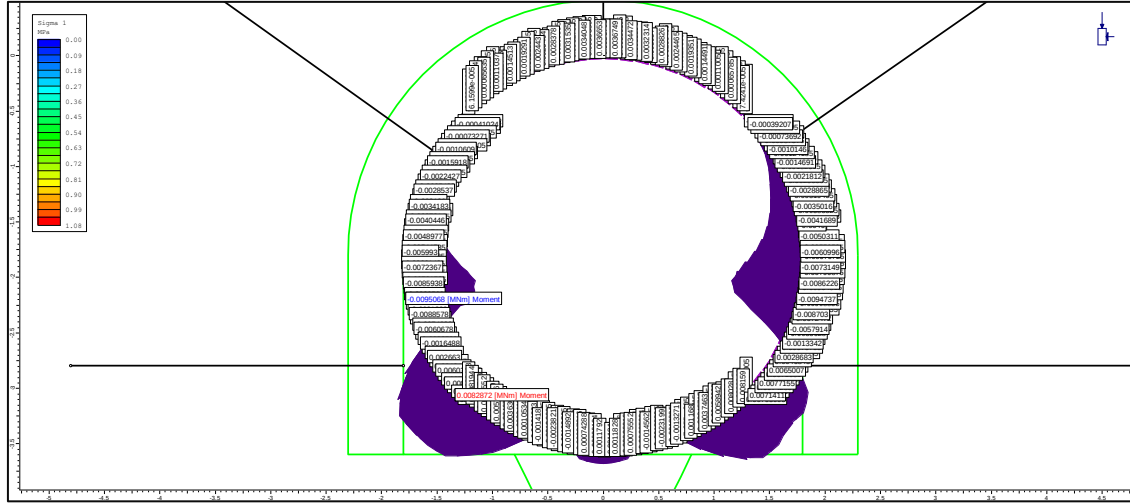


Şekil 4.232. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı

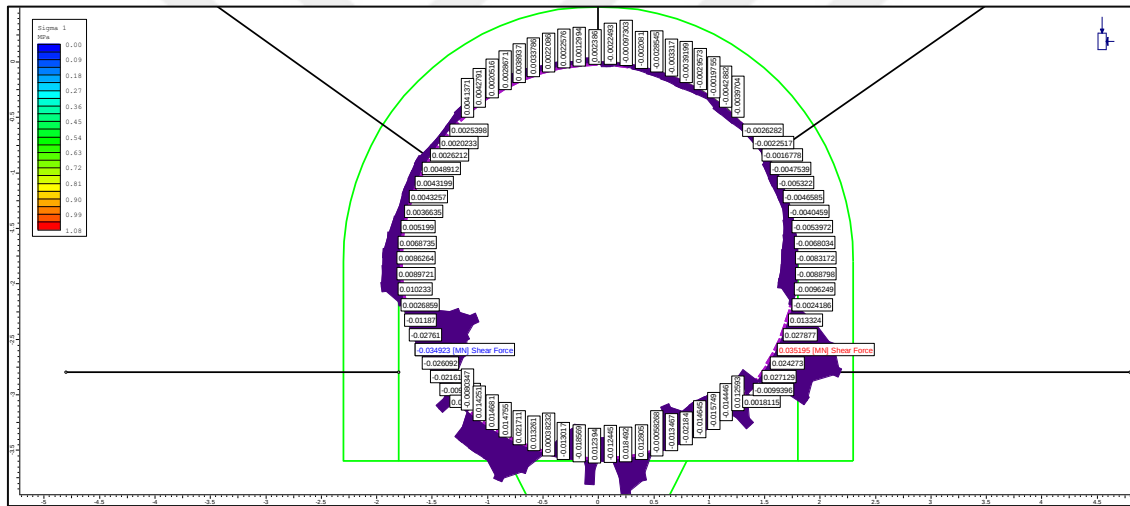
Düşük örtü - Sönmez vd. (2006) - iyi koşullar



Şekil 4.233. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

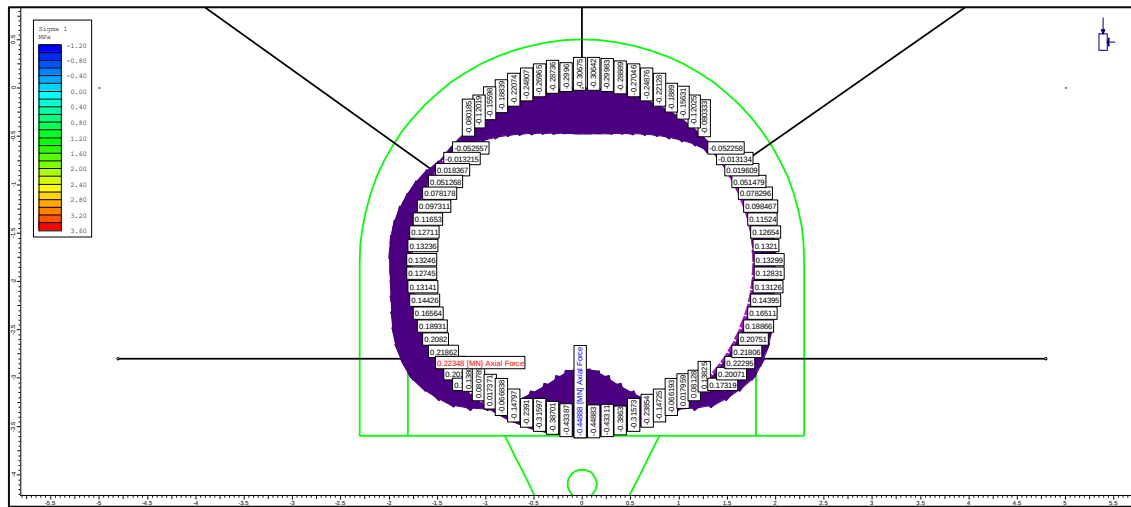


Şekil 4.234. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı

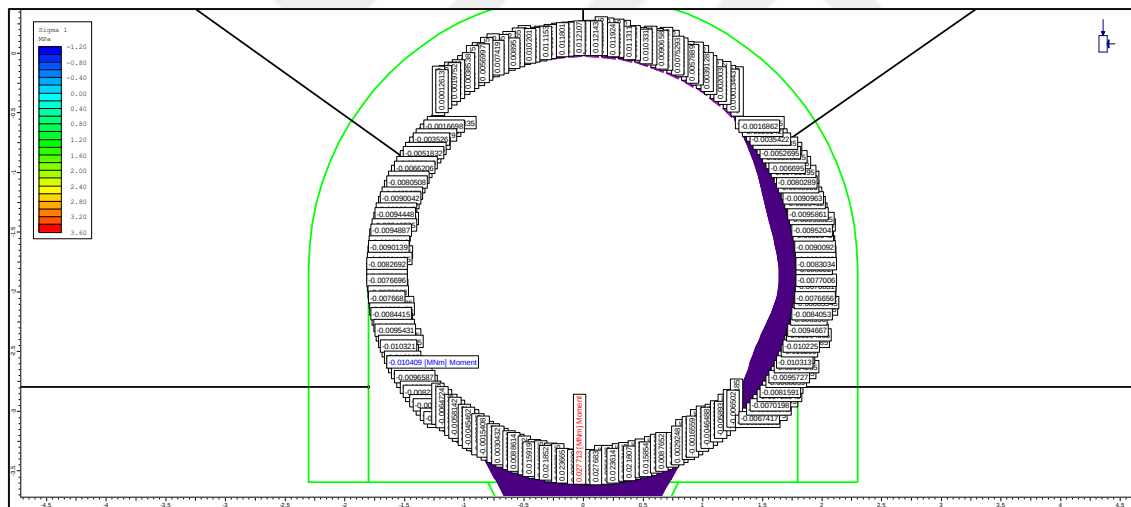


Şekil 4.235. Düşük örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kesme

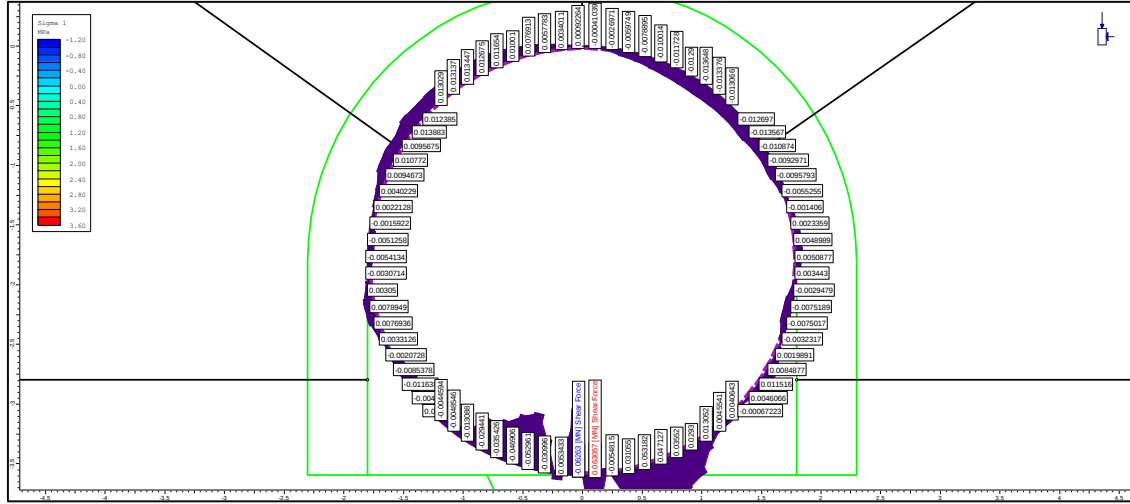
Yüksek örtü - Barton (2002) - Kötü Koşullar



Şekil 4.236. Yüksek örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

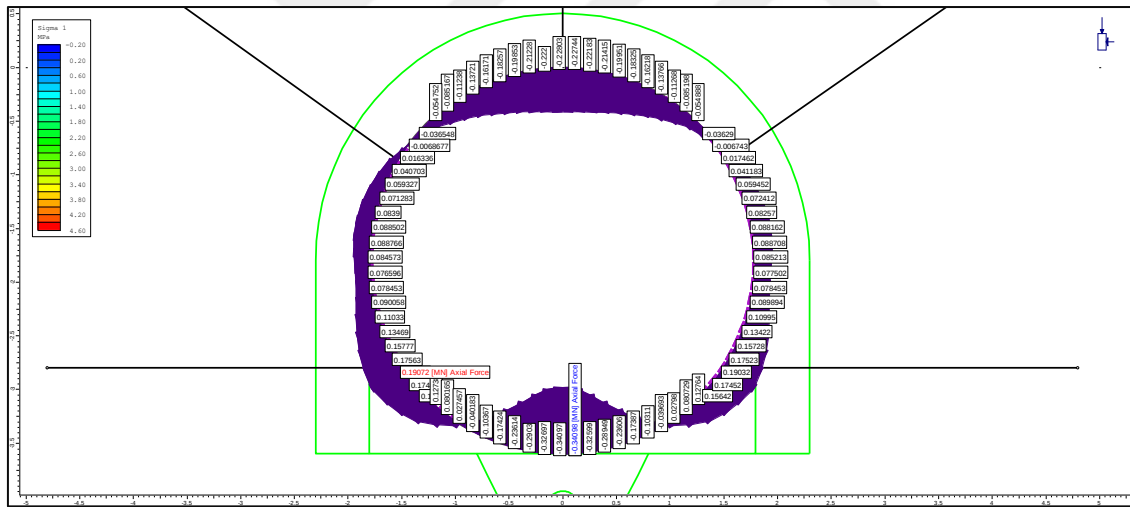


Şekil 4.237. Yüksek örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı

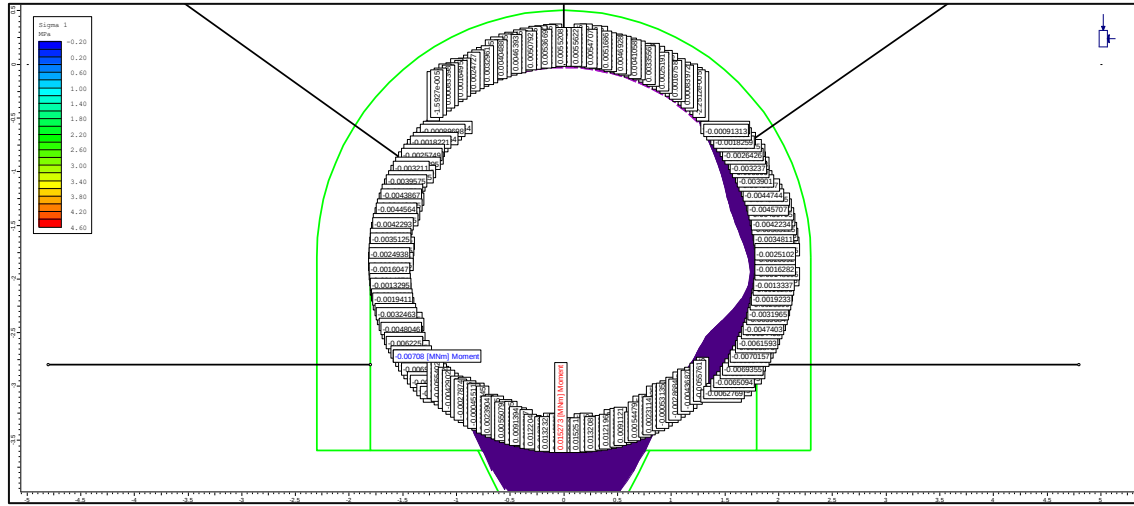


Şekil 4.238. Yüksek örtü Barton (2002) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı

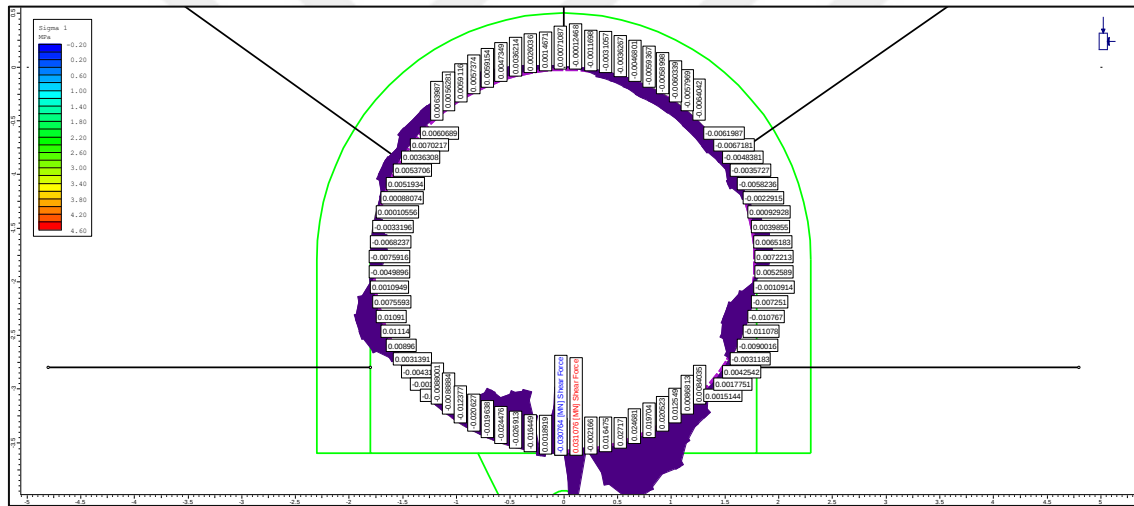
Yüksek örtü - Barton (2002) - iyi koşullar



Şekil 4.239. Yüksek örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

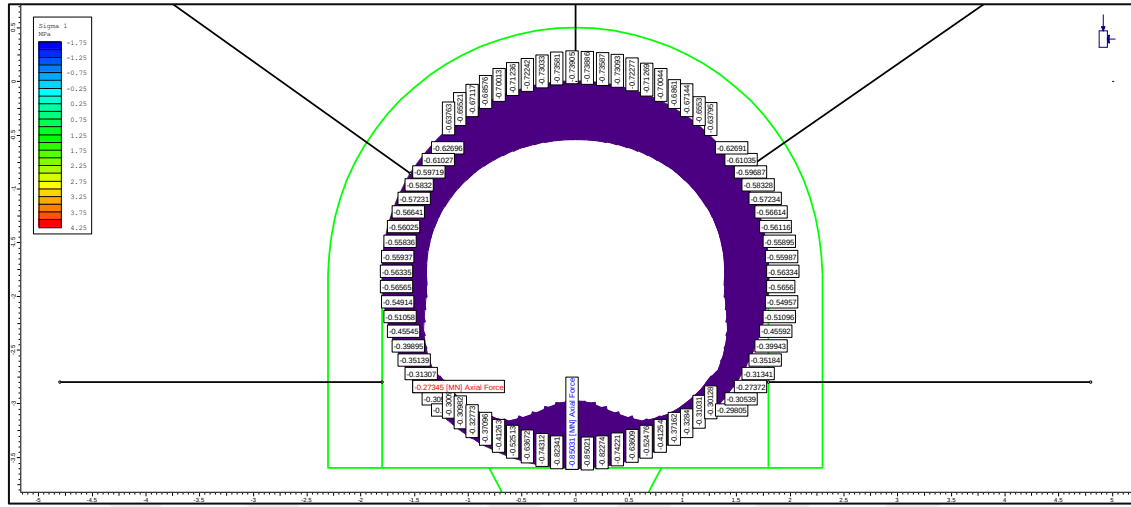


Şekil 4.240. Yüksek örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı

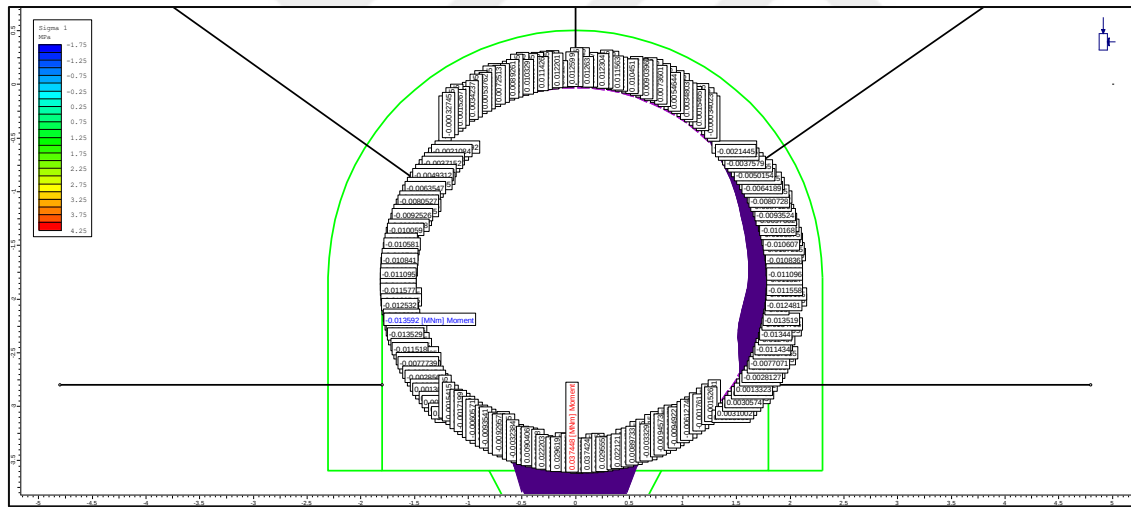


Şekil 4.241. Yüksek örtü Barton (2002) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı

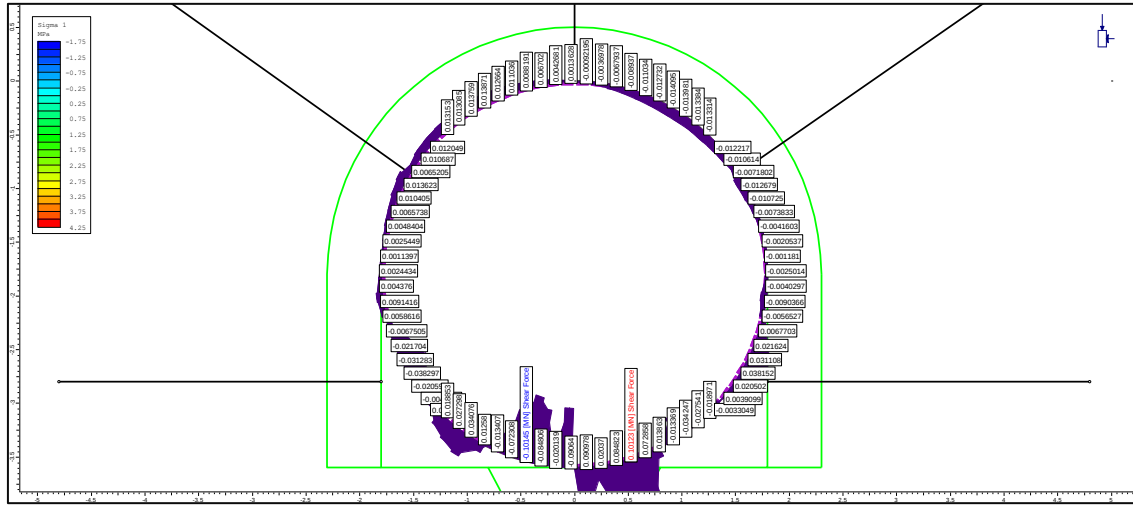
Yüksek örtü - Sönmez vd. (2006) - kötü koşullar



Şekil 4.242. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

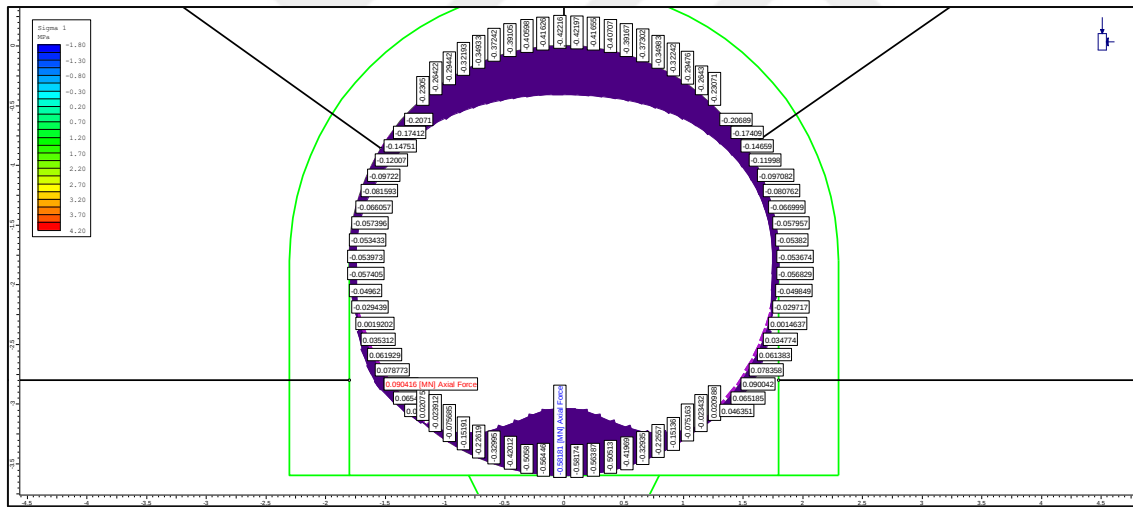


Şekil 4.243. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel moment dağılımı



Şekil 4.244. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) kötü koşullarda meydana gelen eksenel kesme kuvveti dağılımı

Yüksek örtü - Sönmez vd. (2006) - iyi koşullar



Şekil 4.245. Yüksek örtü Sönmez vd. (2006) iyi koşullarda meydana gelen eksenel kuvvet dağılımı

Çizelge 4.94. Düşük örtü-Barton (2002)-kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri

Düşük örtü - Barton (2002) - Kötü Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-1339.916	-1193.4	-1195.6	-1429.4
M (kN.m)	9.8406	-3.4997	-8.5586	0.12665
V (kN)	-2.338875	-5.8732	8.09078	24.0471

Çizelge 4.95. Düşük örtü-Barton (2002)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri

Düşük örtü - Barton (2002) - İyi Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-921.69	-783.09	-790.02	-979.42
M (kN.m)	-0.398475	-1.2474	-0.8143	0.1289
V (kN)	-3.413025	-13.167	1.78448	20.9113

Çizelge 4.96. Düşük örtü-Sönmez vd. (2006)- kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri

Düşük örtü - Sönmez vd. (2006) - Kötü Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-2099.444	-1944	-1943	-2185.9
M (kN.m)	21.17115	-30.527	-27.703	7.88288
V (kN)	3.77685	-2.1137	20.3915	11.6597

Çizelge 4.97. Düşük örtü-Sönmez vd. (2006)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri

Düşük örtü - Sönmez vd. (2006) - İyi Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-1667.115	-1557.3	-1556.1	-1772.7
M (kN.m)	6.34095	-10.568	-10.378	2.04435
V (kN)	4.12335	-11.781	14.9342	21.4657

Çizelge 4.98. Yüksek örtü-Barton (2002)-kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri

Yüksek örtü - Barton (2002) - Kötü Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-531.44	181.531	173.969	-777.68
M (kN.m)	2.09633	-15.593	-15.593	48.0076
V (kN)	-0.7103	8.47193	-8.8877	109.286

Çizelge 4.99. Yüksek örtü-Barton (2002)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri

Yüksek örtü - Barton (2002) - İyi Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-395.06	121.076	121.157	-590.59
M (kN.m)	9.5634	-4.3486	-6.0811	26.4553
V (kN)	-0.2166	11.2786	-11.816	53.8808

Çizelge 4.100. Yüksek örtü-Sönmez vd. (2006)-kötü koşullar elde edilen kesit tesirleri

Yüksek örtü - Sönmez vd. (2006) - Kötü Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-1280.4	-969.97	-969.11	-1473.2
M (kN.m)	21.8122	-20.028	-23.545	64.8821
V (kN)	2.3562	-2.0444	1.97505	-157.03

Çizelge 4.101. Yüksek örtü-Sönmez vd. (2006)-iyi koşullar elde edilen kesit tesirleri

Yüksek örtü - Sönmez vd. (2006) - İyi Koşullar				
	1	2	3	4
N (kN)	-731.39	-92.983	-99.463	-1008
M (kN.m)	25.2079	-19.22	-19.217	63.8773
V (kN)	-0.6237	4.46985	-4.6951	152.547



5. BETONARME TASARIM

Tünel kaplaması memba ve mansap tarafları için elde edilen kesit tesirlerine, uygun yük faktörleri uygulanarak kesit betonarme hesapları yapılmıştır. Tüm kesitlerde 35 cm beton kalınlığı yeterli olmaktadır.

5.1. 0+024 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.1. 0+024 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

0+024					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	336,63	637,25	635,76	178,91
	M (kN.m)	40,51	-39,62	-39,37	57,42
	V (kN)	-9,15	-1,18	1,13	145,84
İnşaat Sonu Durumu	N (kN)	501,9	814,85	813,43	381,18
	M (kN.m)	39,15	-37,35	-37,24	60,35
	V (kN)	8,1	8,34	-7,04	156,27
İlk Yükleme Durumu	N (kN)	-1881,84	-1598,09	-1598,04	-1971,59
	M (kN.m)	40,58	-52,3	-51,87	31,76
	V (kN)	-0,61	-18,66	10,52	50,28
İşletme Durumu	N (kN)	523,18	788,99	788,22	737,34
	M (kN.m)	33,69	-31,85	-31,74	-8,97
	V (kN)	7,55	22,33	-20,78	-37,2
Onarım Durumu	N (kN)	2190,83	2431,34	2403,49	2322,96
	M (kN.m)	26,21	-14,43	-43,24	16,72
	V (kN)	8,16	29,07	-33,65	-62,76
Kontakt Enjeksiyonu	N (kN)	1600,05	1991,81	1990,17	978,91
	M (kN.m)	68,41	-81,14	-80,97	153,04
	V (kN)	12,78	-107,09	106,71	-147,11

Çizelge 5.2. 0+024 Kesiti maksimum kesit tesirleri

0+024								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	2190,83	-1881,84	2431,34	-1598,09	2403,49	-1598,04	2322,96	-1971,59
M (kN.M)	26,21	40,58	-14,43	-52,3	-43,24	-51,87	16,72	31,76
V (kN)	8,16	-0,61	29,07	-18,66	-33,65	10,52	-62,76	50,28

5.2. 0+078 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.3. 0+078 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

0+078					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	119,1372	251,6878	251,979	17,8906
	M (kN.m)	3,3124	-0,2002	-1,2194	9,373
	V (kN)	-0,819	7,28	-7,098	23,751
İnşaat Sonu Durumu	N (kN)	189,81	337,34	331,77	126,11
	M (kN.m)	2,98	-0,73	-0,46	10,26
	V (kN)	-0,8	9,65	-9,23	28,26
	N (kN)	-1040,19	-937,63	-942,76	-1033,78
İlk Yükleme Durumu	N (kN)	-1040,19	-937,63	-942,76	-1033,78
	M (kN.m)	3,41	-4,66	3,15	5,27
	V (kN)	0,66	3,15	7,8	7,64
	N (kN)	225,01	287,07	299,75	274,75
İşletme Durumu	N (kN)	225,01	287,07	299,75	274,75
	M (kN.m)	2,29	1,33	1,35	-4,39
	V (kN)	0,42	9,99	-10,25	-4,39
	N (kN)	1726,45	1680,45	1686,59	1060,33
Onarım Durumu	N (kN)	1726,45	1680,45	1686,59	1060,33
	M (kN.m)	6,03	-16,53	-16,84	1,13
	V (kN)	10,62	29,76	-32,61	-18,52
	N (kN)	582,44	613,39	613,69	165,91
Kontakt Enjeksiyonu	N (kN)	582,44	613,39	613,69	165,91
	M (kN.m)	2,07	0,69	3,66	11,87
	V (kN)	3,84	-51,17	41,02	32,92
	N (kN)	582,44	613,39	613,69	165,91

Çizelge 5.4. 0+078 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri

0+078								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	1726,45	-1040,19	1680,45	-937,63	1686,59	-942,76	1060,33	-1033,78
M (kN,M)	6,03	3,41	-16,53	-4,66	-16,84	3,15	1,13	5,27
V (kN)	10,62	0,66	29,76	3,15	-32,61	7,8	-18,52	7,64

5.3. 0+158 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.5. 0+0158 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

0+158					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	9,41	96,24	95,51	-74,31
	M (kN.m)	4,08	-3,93	-3,56	7,79
	V (kN)	0,02	1,24	-2,33	18,98
İnşaat Sonu Durumu	N (kN)	140,58	238,77	238,35	92,09
	M (kN.m)	3,51	-2,7	-2,03	8,88
	V (kN)	0,49	3,39	-4,53	24,42
İlk Yükleme Durumu	N (kN)	-1612,04	-1559,35	-1559,16	-1614,33
	M (kN.m)	2,8	-7,83	-7,65	-2,91
	V (kN)	-5,41	-17,62	14,28	-32,66
İşletme Durumu	N (kN)	339,03	523,71	516,84	595,85
	M (kN.m)	8,23	-5,22	-4,5	1,35
	V (kN)	0,44	5,31	-1,25	8,66
Onarım Durumu	N (kN)	1877,15	1887,66	1889,84	1538,9
	M (kN.m)	8,04	-32,29	-33,61	-8,14
	V (kN)	12,15	43,8	-55,35	-4,33
Kontakt Enjeksiyonu	N (kN)	883,14	1003,24	1004,37	428,23
	M (kN.m)	7,21	-5,29	-5,2	34,67
	V (kN)	1,86	-71,59	57,18	36,44

Çizelge 5.6. 0+158 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri

0+158								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	1877,15	-1612,04	1887,66	-1559,35	1889,84	-1559,16	1538,9	-1614,33
M (kN,M)	8,04	2,8	-32,29	-7,83	-33,61	-7,65	-8,14	-2,91
V (kN)	12,15	-5,41	43,8	-17,62	-55,35	14,28	-4,33	-32,66

5.4. 0+290 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.7. 0+290 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

0+290					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	371,44	672,33	668,94	171,81
	M (kN.m)	12,58	-8,69	-8,8	28,94
	V (kN)	-1,8	11,38	-13,88	76,02
İnşaat Sonu Durumu	N (kN)	524,63	844,63	840,55	342,56
	M (kN.m)	12,07	-9,49	-7,44	30,23
	V (kN)	1,8	13,18	-17,07	-104,44
İlk Yükleme Durumu	N (kN)	-1259,87	-994,39	-995,11	-1342,48
	M (kN.m)	9,81	-15,7	-15,28	12,94
	V (kN)	0,72	131,9	-163,86	21,09
İşletme Durumu	N (kN)	544,62	805,11	801,13	591,57
	M (kN.m)	10,79	-7,05	-7,21	1,49
	V (kN)	1,78	14,52	-17,76	-6,42
Onarım Durumu	N (kN)	1834,83	1984,44	2050,78	1708,71
	M (kN.m)	6,8	-21,21	5,28	8,94
	V (kN)	-5,13	27,22	-35,59	35,75
Kontakt Enjeksiyonu	N (kN)	1077,08	1231,87	1227,08	425,24
	M (kN.m)	8,18	-6,4	-6,72	34,09
	V (kN)	3,86	-65,47	50,89	93,44

Çizelge 5.8. 0+290 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri

0+290								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	1834,83	-1259,87	1984,44	-994,39	2050,78	-995,11	1708,71	-1342,48
M (kN,M)	6,8	12,46	-16,71	-15,7	5,28	-15,28	8,94	16,42
V (kN)	-4,04	0,92	27,22	167,41	-28,04	-163,86	35,75	26,77

5.5. 0+373 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.9. 0+373 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

0+373					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	785,95	1359,74	1354,79	446,7
	M (kN.m)	23,91	-16,52	-16,15	52,56
	V (kN)	3,53	21,77	-26,98	142,09
İnşaat Sonu Durumu	N (kN)	952,64	1544,42	1543,25	627,04
	M (kN.m)	23,37	-14,9	-14,58	54,09
	V (kN)	3,97	24,61	-30,58	149,2
Onarım Durumu	N (kN)	2054,05	2507,51	2510,78	1905,27
	M (kN.m)	17,19	-23,48	-27,84	27,04
	V (kN)	6,62	37,93	-47,49	87,47
Kontakt Enjeksiyonu	N (kN)	1504,43	1940,85	1939,39	710
	M (kN.m)	19,46	-13,98	-13,63	57,84
	V (kN)	6,39	-51,24	40,22	160,29

Çizelge 5.10. 0+373 Kesiti Phase2 dış yük analizi tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

Dış Yük Analizi	0+373				
		1	2	3	4
Onarım Durumu	N (kN)	2098,55	2625,71	2619,98	852,29
	M (kN.m)	19,62	-25,61	-25,02	-12,46
	V (kN)	6,16	37,41	-65,87	-104,64

Çizelge 5.11. 0+373 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri

0+373								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	2098,55	785,95	2625,71	1359,74	2619,98	1354,79	1905,27	446,7
M (kN.m)	19,62	19,62	-25,61	-13,01	-25,02	-12,72	27,04	52,56
V (kN)	6,16	6,16	37,41	21,77	-65,87	-21,26	87,47	142,09

5.6. 0+480 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.12. 0+480 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

0+480					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	925,58	1688,87	1651,32	576,27
	M (kN.m)	29,08	-27,97	-27,14	47,85
İnşaat Sonu Durumu	V (kN)	4,44	21,15	-89	150,33
	N (kN)	922,54	1659,04	1655,18	573,25
	M (kN.m)	29,05	-27,45	-18,66	47,81
Kontakt Enjeksiyonu	V (kN)	4,31	18,27	-22,82	150,28
	N (kN)	1639,71	2228,04	2223,13	819,2
	M (kN.m)	24,52	-24,62	-24,72	60,77
	V (kN)	6,9	-53,78	-59,57	167,59

Çizelge 5.13. 0+480 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri

0+480								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	1639,71	922,54	2228,04	1659,04	2223,13	1651,32	819,2	573,25
M (kN,M)	24,52	29,05	-19,4	-21,6	-19,47	-21,39	60,77	47,81
V (kN)	6,9	4,31	-42,37	18,27	-46,94	-70,12	167,59	150,28

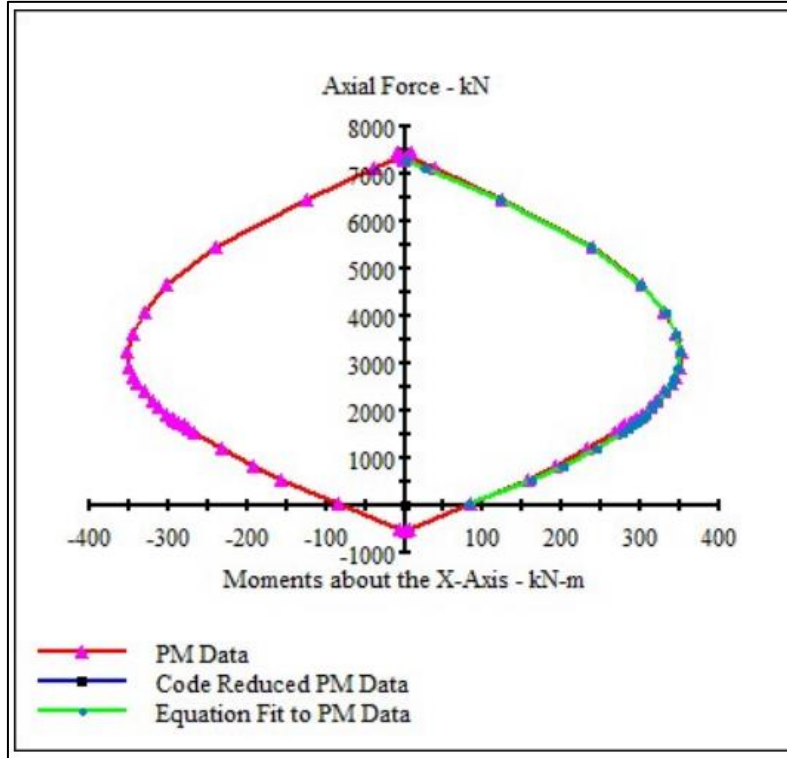
5.7. 0+730 Kesiti Donatı Seçimi

Çizelge 5.14. 0+730 Kesiti Phase2 tasarıma esas faktörlü kesit tesirleri

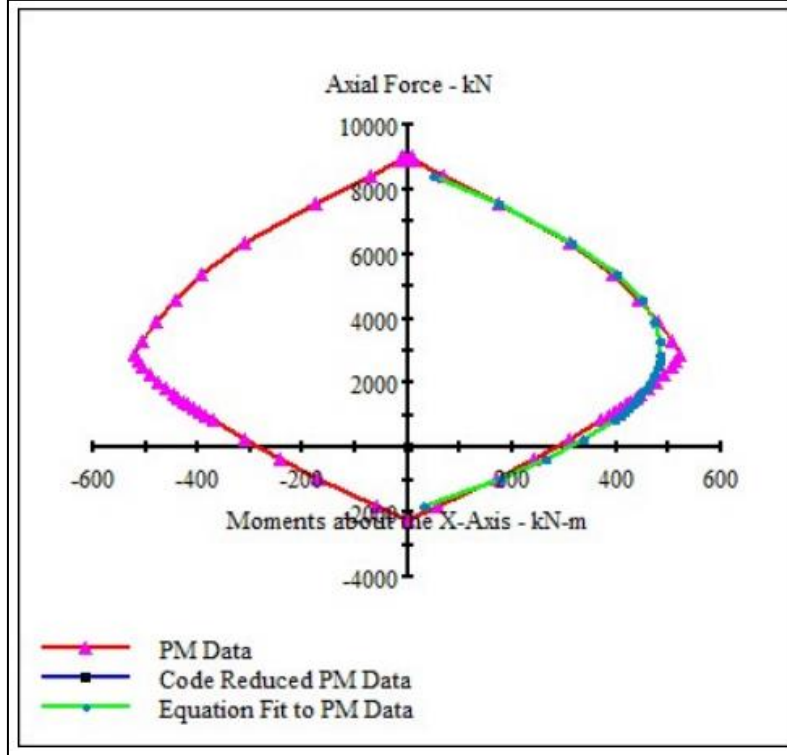
0+730					
Derivasyon Durumu		1	2	3	4
	N (kN)	-147,79	-33,8	-29,78	-245,83
	M (kN.m)	10,05	-12,57	-12,38	13,14
	V (kN)	-1,73	-2,08	1,09	-38,53
İnşaat Sonu Durumu	N (kN)	173,74	277,73	275,8	121,79
	M (kN.m)	9,01	-8,73	-8,85	16,18
	V (kN)	-1,46	2,82	-3,28	43,15
Kontakt Enjeksiyonu	N (kN)	933,11	836,64	837,38	215,83
	M (kN.m)	4,53	-15,48	-15,75	27,34
	V (kN)	-0,88	-98,01	-88,13	-92,84

Çizelge 5.15. 0+730 Kesiti seçilen maksimum kesit tesirleri

0+730								
	1		2		3		4	
	max	min	max	min	max	min	max	min
N (kN)	933,11	-147,79	836,64	-33,8	837,38	-29,78	215,83	-245,83
M (kN,M)	4,53	12,75	-12,19	-12,57	-12,41	-12,38	27,34	16,68
V (kN)	-0,69	-1,73	-77,22	-2,08	-69,43	1,39	-73,15	-38,53



Şekil 5.1. Ø14/200 için oluşturulan karşılıklı etkileşim diyagramı



Şekil 5.2. Ø28/200 için oluşturulan karşılıklı etkileşim diyagramı

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında bir vaka analizi özelinde 742,00 m uzunluğunda ve 3,00 m hidrolik çapa sahip baraj derivasyon tüneline ait hesap esas ve tasarım yöntemleri hakkında bilgiler sunulmuştur. Derivasyon tünelleri tipik olarak, su akışının ve diğer doğal kuvvetlerin basınçlarına dayanabilecek şekilde gerekli destekleme elamanları tarafından imal edilmektedir. Ancak, derivasyon tünelleri için ihtiyaç duyulan destekleme miktarının belirlenmesi, çeşitli yükleme durumlarını içeren bir süreçtir. Bilgisayar modellemesi, derivasyon tünelinin her bir bölümü için optimum ve ihtiyaç duyulan destekleme sisteminin pratik bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur. Günümüzde her ne kadar 3 boyutlu analiz yöntemleri geliştirilmiş olsa da 2 boyutlu analiz yöntemleri gerek zaman gerekse pratiklik açısından geoteknik problemlerin çözümünde sıklıkla kullanılmaktadır. Çalışmada analizlerin gerçekleştirilmesinde Phase2 programı kullanılmıştır. Phase2 yazılımı, düzlemsel deformasyon (plane strain) ve eksenel simetrik (axisymmetric) yaklaşımları ile 2 boyuta indirgenmiş çözümlemeler yapabilen bir sonlu elemanlar programıdır.

Tünel kazı işlemleri doğal olarak 3 boyutlu bir işlem olduğundan 3 boyutlu analiz yöntemlerinin 2 boyutlu kazı işlemine uygun bir şekilde tatbik edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda 2 boyutlu analizlerde, derivasyon tüneli güzergâhı boyunca seçilen 7 adet kesitin kazı bölgesine, gevşetme faktörleri uygulanmıştır. Gevşetme faktörünün tespitinde kademeli bir şekilde azaltılan çekirdek elastisite modülü aracılığıyla deplasman-elastisite modülü eğrileri elde edilmiştir. Analizler sonucunda gevşetme elastisite modülünün ana kaya elastisite modülüne oranının yaklaşık %40-60 aralığında değiştiği görülmektedir.

Derivasyon tüneli kazı destek sınıflarının belirlenmesi amacıyla kaya kalite sınıflaması yapılarak seçilen her bir kesit için kaya destek sınıfı belirlenmiş ve bu destek sınıflarına uygun olarak destekleme sistemlerine karar verilmiştir. Tünel güzergâhı için mevcut veriler ışığında Q sınıflaması yapılarak TİP II-III-IV-V olarak 4 ayrı destek kategorisi belirlenmiştir. Derivasyon tünelinin belirlenen destek sınıfları yapılan kazı destek sistemi analizleri ile kontrol edilmiştir. Derivasyon tüneli baraj yapım aşamaları süresince farklı yükleme koşullarına maruz kalmaktadır. Bu nedenle yükleme durumları olan derivasyon yükleme durumu, inşaat sonu durumu, ilk yükleme durumu, işletme aşaması durumu ve onarım durumu için nümerik analizler gerçekleştirilerek sonuçları karşılaştırılmış ve her bir

yükleme durumunda meydana gelen en kritik kesit tesirleri hesaplamalarda kullanılmıştır. Ayrıca tünel nihai beton kaplama analizlerine geçmeden önce su düşüm analizleri yapılarak uygun hidrolik koşullar yükleme durumları için yansıtılmıştır.

Kazı destek sisteminde kullanılan bulonların yerinde kaya ile tam aderanslı (fully bonded) olarak teşkil edileceği kabul edilmiş ve tasarım bu kabule uygun olarak yapılmıştır. Kazı esnasında oluşabilecek şartlara göre kaya sınıfı değişebileceğinden, analizler sonucu bulunan yer değiştirme özellikleri de değişebilecektir. Kayaç koşullarında meydana gelebilecek değişiklikler göz önüne alındığında yapıma geçmeden önce laboratuvar çalışmalarının detaylandırılıp güncelleştirilmesi ve tünelin 3-D modellemesinin ayrıca yapılarak 2 boyutlu analizler ile karşılaştırılması yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

1. Yılmaz, I. (2007). *Mühendislik jeolojisi ilkeler ve temel kavramlar*. Ankara: Seçkin Yayınevi, 219-225.
2. Tekin, E. (2012). *Kohezyonsuz zeminlerdeki temellerin güvenilirliğe dayalı tasarım optimizasyonu ve sığ temellerin deprem yükleri altında güvenilirlik analizi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
3. Hoek, E., Kaiser, P.K. ve Bawden, W.F. (1995). *Support of underground excavations in hard rock*. Rotterdam: Balkema, 110-113.
4. Deere, D. U. (1963). Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. *Journal of the International Society of Rock Mechanics*, 1(1), 16-22.
5. Barton, N. (1974). Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support. *Rock Mechanics*, 3(6) 189-236.
6. Barton, N. ve Grimstad, E. (1994). The Q-System Following Twenty Years of Application in NTM Support Selection. *Felsbau*, 12 (6) 428-436.
7. Ulusay, R. ve Sönmez, H., (2007). *Kaya Kütlelerinin Mühendislik Özellikleri*. Ankara: TMMOB Jeoloji Mühendisleri Odası Yayınları, 99-100.
8. Bieniawski, Z. T. (1989). *Engineering rock mass classifications*. New york: John Willey and Sons, 10-137.
9. Sönmez, H. ve Ulusay, R. (2002). A Discussion on the Hoek-Brown Failure Criterion and Suggested Modifications to the Criterion Verified by Slope Stability Case Studies. *Yerbilimleri*, 26, 77-99.
10. Hoek, E. ve Diederichs, M.S. (2006). Empirical estimation of rock mass modulus. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(2006) 203-215.
11. Nicholson, G. ve Bieniawski, Z. T. (1990). A non-linear Deformasyon Modülü based on rock mass classification. *International Journal of Mining&Geological Engineering*, 8 (1), 181-202.
12. Sönmez, H., Gökçeoğlu, C., Nefeslioğlu, H.A. ve Kayabaşı, A. (2006). Estimation of rock modulus: For intact rocks with an artificial neural network and for rock masses with a new empirical equation. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(1), 224-235.
13. Serafim, J.L. ve Pereira, J.P. (1983). Considerations on the geomechanical classification of Bieniawski. *Proc. Int. Symp. on Eng. Geol. and Underground Construction*, vol I (II), 33-44, Lisbon, Portugal.
14. Barton, N. (2002). Some new Q value correlations to assist in site characterisation and tunnel design. *International Journal of Rock Mechanic and Mining Science*, 185–216.

15. Grimstad, E. ve Barton, N. (1993, Jan). Rock Mechanics. *Updating the Q-system for NMT*, 4-5.
16. Hoek, E. Brown, E.T. (1997). Pratical estimates of rock mass strength. *International Journal Rock Mechanics Mining Science*, 34, 1165-1186.
17. Jaeger, J.C. ve Cook, N.G. (1979). *Fundamentals of rock mechanichs* (Fourth edition). London: Chapman and Hall, 87-92.
18. Hoek, E. C., Tores, C., ve Corkum, B. (2002, May). NARMS-TAC. *Hoek-Brown criterion*, 267-273.
19. Chang, Y. (1994). *Tunnel Support with Shotcrete in Weak Rock*, Ph.D. Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm.
20. Elias, V. ve Juran, I. (1991). *Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations* (Third edition). Washington D.C: Federal Highway Administration, 86-119.
21. Arıkan, M. A. S. (1991). *Sonlu elemanlar metodunun mühendislikte uygulamaları*. Ankara: TMMOB Makina Mühendisleri Odası, 1-2.
22. Vlachopoulos N. ve Diederichs M. S. (2009, Apr). Improved Longitudinal Displacement Profiles for Convergence Confinement Analysis of Deep Tunnel. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 43(1), 131-146.



Gazili olmak ayrıcalıktır