

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

**KİL ÇEKİRDEKLİ DOLGU BARAJLARDA GERİLME VE
DEFORMASYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meral KORKMAZ

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

ŞUBAT-2010

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

**KİL ÇEKİRDEKLİ DOLGU BARAJLARDA GERİLME VE
DEFORMASYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meral KORKMAZ

(06215102)

Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği

Programı: Hidrolik

Tez Danışmanı: Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 08 Şubat 2010

ŞUBAT-2010

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

**KİL ÇEKİRDEKLİ DOLGU BARAJLARDA GERİLME VE
DEFORMASYON ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Meral KORKMAZ

(06215102)

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08 Şubat 2010
Tezin Savunulduğu Tarih : 01 Mart 2010**

Tez Danışmanı : Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU (F.Ü)
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Ömer KELEŞOĞLU (F.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Nihat KAYA (F.Ü)

ŞUBAT-2010

ÖNSÖZ

Tez konumun seçiminde, planlanmasında ve tezimin yazımında bütün destekleriyle yardımlarını esirgemeyen danışman hocam Sn. Doç. Dr. M. Emin EMİROĞLU'na ve Sn. Seçkin AYDIN'a en samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Tezim süresince manevi destekleriyle her zaman yanımda olan aileme teşekkürlerimi sunarım.

Meral KORKMAZ
ELAZIĞ – 2010

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	II
İÇİNDEKİLER	III
ÖZET	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	XIV
SEMBOLLER LİSTESİ	XV
1. GİRİŞ	1
2. KAYA DOLGU BARAJLARIN TASARIMI	3
2.1. Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar.....	5
3. KİL ÇEKİRDEKLİ KAYA DOLGU BARAJLARIN GERİLME DEFORMASYON ANALİZİ.....	7
3.1. Gövde malzemesinin modellenmesi	10
4. PLAXİS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI	15
5. PLAXIS SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE UYGULAMALAR..	20
5.1. Barajın geometrisi	20
5.2. Barajın malzeme özellikleri	21
5.2.1. Tip 1 ve 1. grup malzeme analizleri	24
5.2.2. Tip 2 ve 1. grup malzeme analizleri	30
5.2.3. Tip 3 ve 1. grup malzeme analizleri	36
5.2.4. Tip 4 ve 1. grup malzeme analizleri	42
5.2.5. Tip 5 ve 1. grup malzeme analizleri	48
5.2.6. Tip 6 ve 1. grup malzeme analizleri	54
5.2.7. Tip 7 ve 1. grup malzeme analizleri	60
5.2.8. Tip 8 ve 1. grup malzeme analizleri	66
5.2.9. Tip 9 ve 2. grup malzeme analizleri	72
5.2.10. Tip 10 ve 3. grup malzeme analizleri	78
5.2.11. Tip 11 ve 4. grup malzeme analizleri	84
5.2.12. Tip 12 ve 1. grup malzeme analizleri	90
6. BARAJ GÖVDESİNDEKİ GERİLMELERİN HESAPLANMASI.....	96
7. PLAXIS SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BARAJIN TABAKALI ÇÖZÜMÜ.....	108
7.1. $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (1.grup malzeme)	108
7.2. $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (2.grup malzeme)	113
7.3. $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (3 grup malzeme)	119
7.4. $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (4 grup malzeme)	124
8. DEFORMASYONLARIN HESAPLANMASI	133
9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	140
9.1. Sonuçlar	140
9.2. Öneriler	142
KAYNAKLAR	143
ÖZGEÇMİŞ	145

ÖZET

Bu çalışmada merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda inşa sonundaki gerilme ve deformasyonları incelenmiştir. Toplam gerilmelerin ve yer değiştirmelerin belirlenmesi amacıyla iki boyutlu düzlem şekil değiştirme prensibi kullanılarak, sonlu elemanlar metodu ile analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler Plaxis 8.x yazılımı yardımı ile incelenmiştir. Bu yazılım günümüzde pek yaygın olarak kullanılmakta ve rağbet görmektedir. Malzeme model parametreleri, önceki çalışmalar temelinde seçilmiştir. Daha sonra farklı malzeme değerleri ve farklı şev eğimleri seçilerek inşa sonu için analizler yapılmıştır. Yapılan analizlere ait gerilme ve deformasyon değerleri belirlenmiştir. Belirlenen değerlere ait grafikler çizilip, sonuçlar detaylı bir şekilde yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kaya dolgu baraj, kil çekirdek, gerilme-deformasyon, şev, kaya, kum-çakıl

SUMMARY

The Name of the Thesis: Stress and Deformation Analysis of Clay Core Embankment Dams

In this study, the stresses and deformations at the end of construction were investigated for the central clay core rockfill and earthfill dams. The analyses were made using the principle of two-dimensional plane strain in order to determine total stresses and substitutions. The analyses were carried out using by Plaxis 8.x software based on finite element method. This software is widely used nowadays and the software has a considerable interest for engineers. Material model parameters were selected depending on previous studies. Then, the analyses were carried out for different materials and different slope gradients. The analyses were made for the situation at the end of the construction. The values of stresses and deformations were obtained using Plaxis 8.x software. The figures were plotted for obtained stresses and deformations and the results were interrupted in detail.

Key Words: Rockfill dam, earthfill dam, clay core, stress-deformation, slope, rock, sand and gravel

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajın görünüşü	3
Şekil 2.2. Kaya temel üzerine farklı baraj enkesit alternatifleri (Emiroğlu, 2008).....	4
Şekil 2.3 Merkezi Kalın Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)	5
Şekil 2.4 Merkezi İnce Kil Çekirdekli Kaya Dolgu B. Enkesiti –Bjelke Petersen Barajı- (Fell vd., 1992)	6
Şekil 2.5 Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Fotoğrafı.....	6
Şekil 3.1 Kaya dolgu barajlardaki çatlak sistemleri (Justo, 1973) / (Thomas, 1976).....	8
Şekil 3.2 Kaya dolgu barajlarda değişik yük aktarım şekilleri (Squire 1970) ...	9
Şekil 3.3 Hiperbolik Gerilme-Birim Deformasyon Bağıntısı (Konder, 1963) ...	12
Şekil 3.4 Hiperbolik boyuna birim deformasyon-Radyal birim deformasyon bağıntısı (Duncan, Wong, 1974)	14
Şekil 4.1 Plaxis ile analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları.....	16
Şekil 5.1 Analizi yapılacak barajın geometri modeli	20
Şekil 5.2 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi	24
Şekil 5.3 Toplam deplasmanın görüntülenmesi	25
Şekil 5.4 Yatay deplasmanın görüntülenmesi	25
Şekil 5.5 Dikey deplasmanın görüntülenmesi	26
Şekil 5.6 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi	26
Şekil 5.7 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi	27
Şekil 5.8 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi	27
Şekil 5.9 Artımsal kayma gerilmeleri.....	28
Şekil 5.10 Etkili gerilmeler.....	28
Şekil 5.11 Etkili gerilmeler.....	29
Şekil 5.12 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	29

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.13 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	30
Şekil 5.14 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	31
Şekil 5.15 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	31
Şekil 5.16 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	32
Şekil 5.17 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	32
Şekil 5.18 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	33
Şekil 5.19 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	33
Şekil 5.20 Artımsal kayma gerilmeleri.....	34
Şekil 5.21 Etkili gerilmeler.....	34
Şekil 5.22 Etkili gerilmeler.....	35
Şekil 5.23 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	35
Şekil 5.24 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	36
Şekil 5.25 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	37
Şekil 5.26 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	37
Şekil 5.27 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	38
Şekil 5.28 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	38
Şekil 5.29 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	39
Şekil 5.30 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	39
Şekil 5.31 Artımsal kayma gerilmeleri.....	40
Şekil 5.32 Etkili gerilmeler.....	40
Şekil 5.33 Etkili gerilmeler.....	41
Şekil 5.34 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	41
Şekil 5.35 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	42
Şekil 5.36 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	43
Şekil 5.37 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	43
Şekil 5.38 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	44
Şekil 5.39 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	44
Şekil 5.40 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	45
Şekil 5.41 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	45
Şekil 5.42 Artımsal kayma gerilmeleri.....	46

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.43 Etkili gerilmeler.....	46
Şekil 5.44 Etkili gerilmeler.....	47
Şekil 5.45 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	47
Şekil 5.46 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	48
Şekil 5.47 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	49
Şekil 5.48 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	49
Şekil 5.49 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	50
Şekil 5.50 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	50
Şekil 5.51 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	51
Şekil 5.52 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	51
Şekil 5.53 Artımsal kayma gerilmeleri.....	52
Şekil 5.54 Etkili gerilmeler.....	52
Şekil 5.55 Etkili gerilmeler.....	53
Şekil 5.56 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	53
Şekil 5.57 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	54
Şekil 5.58 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	55
Şekil 5.59 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	55
Şekil 5.60 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	56
Şekil 5.61 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	56
Şekil 5.62 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	57
Şekil 5.63 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	57
Şekil 5.64 Artımsal kayma gerilmeleri.....	58
Şekil 5.65 Etkili gerilmeler.....	58
Şekil 5.66 Etkili gerilmeler.....	59
Şekil 5.67 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	59
Şekil 5.68 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	60
Şekil 5.69 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	61
Şekil 5.70 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	61
Şekil 5.71 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	62
Şekil 5.72 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	62

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.73 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	63
Şekil 5.74 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	63
Şekil 5.75 Artımsal kayma gerilmeleri.....	64
Şekil 5.76 Etkili gerilmeler.....	64
Şekil 5.77 Etkili gerilmeler.....	65
Şekil 5.78 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	65
Şekil 5.79 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	66
Şekil 5.80 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	67
Şekil 5.81 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	67
Şekil 5.82 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	68
Şekil 5.83 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	68
Şekil 5.84 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	69
Şekil 5.85 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	69
Şekil 5.86 Artımsal kayma gerilmeleri.....	70
Şekil 5.87. Etkili gerilmeler.....	70
Şekil 5.88 Etkili gerilmeler.....	71
Şekil 5.89 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	71
Şekil 5.90 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	72
Şekil 5.91 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	73
Şekil 5.92 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	73
Şekil 5.93 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	74
Şekil 5.94 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	74
Şekil 5.95 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	75
Şekil 5.96 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	75
Şekil 5.97 Artımsal kayma gerilmeleri.....	76
Şekil 5.98 Etkili gerilmeler.....	76
Şekil 5.99 Etkili gerilmeler.....	77
Şekil 5.100 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	77
Şekil 5.101 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	78
Şekil 5.102. Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	79

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.103 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	79
Şekil 5.104 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	80
Şekil 5.105 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	80
Şekil 5.106 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	81
Şekil 5.107 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	81
Şekil 5.108 Artımsal kayma gerilmeleri.....	82
Şekil 5.109 Etkili gerilmeler.....	82
Şekil 5.110 Etkili gerilmeler.....	83
Şekil 5.111 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	83
Şekil 5.112 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	84
Şekil 5.113 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	85
Şekil 5.114 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	85
Şekil 5.115 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	86
Şekil 5.116 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	86
Şekil 5.117 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	87
Şekil 5.118 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	87
Şekil 5.119 Artımsal kayma gerilmeleri.....	88
Şekil 5.120 Etkili gerilmeler.....	88
Şekil 5.121 Etkili gerilmeler.....	89
Şekil 5.122 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	89
Şekil 5.123 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi.....	90
Şekil 5.124 Toplam deplasmanın görüntülenmesi.....	91
Şekil 5.125 Yatay deplasmanın görüntülenmesi.....	91
Şekil 5.126 Dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	92
Şekil 5.127 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	92
Şekil 5.128 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	93
Şekil 5.129 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi.....	93
Şekil 5.130 Artımsal kayma gerilmeleri.....	94
Şekil 5.131 Etkili gerilmeler.....	94
Şekil 5.132 Etkili gerilmeler.....	95

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 5.133 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar.....	95
Şekil 6.1 Zemin mekaniğinde H derinliğinde bir noktadan ele alınan bir zemin elemanın düşey gerilmesi.....	96
Şekil 6.2 Analizi yapılan baraj üzerinden G_v değerlerinin okunduğu noktalar...	97
Şekil 6.3 h/H oranının bulunması.....	97
Şekil 6.4 Tip1- Tip 2- Tip 3- Tip 4 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	98
Şekil 6.5 Tip 5- Tip 6- Tip 7- Tip 8 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	99
Şekil 6.6 Tip 8- Tip 9- Tip 10- Tip 11 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	100
Şekil 6.7 Tip 8- Tip 9 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	101
Şekil 6.8 - Tip 10- Tip 11 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	101
Şekil 6.9 Tip1- Tip 2- Tip 3- Tip 4 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	102
Şekil 6.10. Tip 5- Tip 6- Tip 7- Tip 8 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi	103
Şekil 6.11 Tip 8- Tip 9- Tip 10- Tip 11 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	104
Şekil 6.12 Tip 8- Tip 9 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	105
Şekil 6.13 Tip 10- Tip 11 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	105
Şekil 6.14 Tip 12 için I-I ve III-III kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi.....	106
Şekil 7.1 1.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	108
Şekil 7.2 2.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	109
Şekil 7.3 3.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	109

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 7.4 4.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	110
Şekil 7.5 5.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	110
Şekil 7.6 6.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	111
Şekil 7.7 7.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	111
Şekil 7.8 8.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	112
Şekil 7.9 9.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	112
Şekil 7.10 10.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	113
Şekil 7.11 1.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	114
Şekil 7.12 2.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	114
Şekil 7.13 3.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	115
Şekil 7.14 4.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	115
Şekil 7.15 5.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	116
Şekil 7.16 6.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	116
Şekil 7.17 7.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	117
Şekil 7.18 8.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	117
Şekil 7.19 9.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	118
Şekil 7.20 10.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	118
Şekil 7.21 1.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	119
Şekil 7.22 2.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	120
Şekil 7.23 3.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	120
Şekil 7.24 4.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	121
Şekil 7.25 5.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	121
Şekil 7.26 6.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	122
Şekil 7.27 7.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	122
Şekil 7.28 8.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	123
Şekil 7.29 9.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	123
Şekil 7.30 10.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	124
Şekil 7.31 1.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	125
Şekil 7.32 2.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	125
Şekil 7.33 3.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	126

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 7.34 4.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	126
Şekil 7.35 5.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	127
Şekil 7.36 6.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	127
Şekil 7.37 7.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	128
Şekil 7.38 8.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	128
Şekil 7.39 9.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	129
Şekil 7.40 10.tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi.....	129
Şekil 8.1. Yatay deformasyonların hesaplandığı noktalar.....	133
Şekil 8.2. Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesiti b noktasının yatay yöndeki deformasyonu.....	134
Şekil 8.3. Tip 9 (2.Grup), Tip10 (3.Grup) enkesiti b noktasının yatay yöndeki deformasyonu.....	135
Şekil 8.4. Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesiti c noktasının yatay yöndeki deformasyonu.....	136
Şekil 8.5. Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (3.Grup), Tip 10 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesiti üzerindeki okunan maksimum oturma miktarı.....	137
Şekil 8.5. Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (2.Grup), Tip 10 (3.Grup) Tip 11 (4.Grup) enkesitlerindeki maksimum deformasyon yüksekliği.....	139

TABLÖLAR LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 5.1 Malzeme değerleri.....	23
Tablo 7.1. Tip 8 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (1.Grup malzeme) için deformasyon değerleri.....	131
Tablo 7.2. Tip 9 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (2. Grup malzeme) için deformasyon değerleri.....	131
Tablo 7.3. Tip 10 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (3. Grup malzeme) için deformasyon değerleri.....	132
Tablo 7.4. Tip 11 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (4.Grup malzeme) için deformasyon değerleri.....	132
Tablo 8.1 Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesiti üzerindeki b noktalarından okunan yanıl ötelenmeler.....	133
Tablo 8.2 Tip 9 (2.Grup), Tip 10 (3.Grup)enkesiti üzerindeki b noktalarından okunan yanıl ötelenmeler	135
Tablo 8.3 Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesiti üzerindeki c noktası üzerindeki noktalarından okunan yanıl ötelenmeler.....	136
Tablo 8.4 Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (3.Grup), Tip 10 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesiti üzerindeki okunan maksimum oturma miktarı.....	137
Tablo 8.5 Tip 8 (1.Grup), Tip 9 (3.Grup), Tip 10 (2.Grup), Tip11 (4.Grup) enkesitleri üzerinden noktalarından okunan deformasyonlar.....	138

SEMBOLLER LİSTESİ

B	: Akifer Kalınlığı
c	: Kohezyon
c_i	:Toplam Çarpan Hesaplanmasında Zemin özellikleri tanımlanırkenki içsel sürtünme açısı değeri
c_r	: Toplam Çarpan Hesaplanırken analizlerde kullanılan kohezyon değeri
d	: Duvar kalınlığı
E	: Young modülü
$50refE$	: Drenajlı Üç eksenli basınç deneyinde sekant rijitliği
$refoedE$	: Başlangıç ödometre yüklemesi için tanjant rijitliği
$refurE$	: Yükleme boşaltma için rijitlik
EA	: Normal Rijitlik
EI	: Eğilme Rijitliği
F_{max}	: Maksimum Kuvvet
σ_3	: Çevre basıncı
σ_v	: Düşey gerilme
H	: Tünel Üzerindeki yeraltı suyu tabakasının kalınlığı
h	: En fazla düşmenin olduğu noktaya tünelden olan yükseklik
h	: Enjeksiyon ilerleme mesafesi
	: Permeabilite (geçirimsizlik)
k	:Zemin cinsine göre bir katsayı
k_x	:Yatay geçirimsizlik
k_y	:Düşey Geçirimsizlik
K^*	:Modifiye şişme indisi
$KONCK$	: Normal konsolide durum için sükunetteki toprak basıncı katsayısı
L_s	:Destek Aralığı
m	:Gerilme seviyesine bağlı malzeme katsayısı
n	:Deformasyon modülü üssü
N	:Enjeksiyon viskozitesinin suyunkine oranı

$\mathbf{Pref}$	: Rijitlikler için Poisson Oranı
$\mathbf{Q}$	: Enjeksiyon hızı
$\mathbf{Q}_u = \mathbf{Q}_c$	: Kuyudan akış miktarı
$\mathbf{r}$	: Enjeksiyon balonu yarıçapı
$\mathbf{r}_o$	: Enjeksiyon borusu yarıçapı
$\mathbf{r}$	: Seviye düşürmenin etki yarıçapı
$\mathbf{R}_f$	: Göçme oranı
$\mathbf{S}_s$	: Özgül Yüzey
$\mathbf{T}$	: Zaman
$\mathbf{V}$	: Zemin hacmi
$\mathbf{v}_i$	: Poisson oranı başlangıç değeri
$\mathbf{W}$	: Su muhtevası
$\mathbf{w}$	: Eleman ağırlığı
$\mathbf{\gamma}_{dry}$	: Kuru birim hacim ağırlığı
$\mathbf{p}_a$	: Atmosfer basıncı

1. GİRİŞ

Ülkemizde son yüzyılda hızlı nüfus artışı, kaydedilen teknolojik gelişmeler, insanların artan ihtiyaçları beraberinde doğal kaynaklardan daha fazla yararlanma çabalarını getirmiştir. Doğal kaynaklarımızdan en önemli olanı sudur. Suyun, gezegenimizin dörtte üçünü meydana getirdiğini düşünürsek su kaynaklarının yaşamımızdaki önemi daha iyi anlaşılmaktadır. Bu kaynakların başında da yeraltı ve yer üstü su kaynakları gelmektedir. Su rezervuarından değişik amaçlarla, sürekli ve verimli bir şekilde yararlanmak ihtiyacı ortaya çıkmıştır. Bunu sağlayabilmek için birçok uygulama yapılmıştır. Günümüzde de bu kaynaklardan daha fazla yararlanabilmek için en çok başvurulanan yol barajların yapılmasıdır. En iyi hizmetin alınabileceği, en ekonomik ve uygun barajların yapılabilmesi için yapılan çalışmalar ve alternatif arayışları gün geçtikçe hız ve önem kazanmaktadır. Ancak bunun da çok kolay olmadığı açıktır. Baraj söz konusu olduğunda bunun birçok boyutu bulunduğu, çok sayıda parametrenin dikkate alınması gerektiği ve uzun bir zamana yayılan değişik çalışmaları kapsadığı bir gerçektir. Plan, proje, etüt çalışmaları için jeoloji, hidroloji, malzeme durumu, topoğrafya, çevre koşulları gibi çalışmaların çok titizlikle yapılması gerekmektedir (Ağıralıoğlu, 2005). Herhangi bir aşamada yapılacak bir eksiklik veya hatanın telafisi çok zor ve maliyeti yüksek olmaktadır. Bununla beraber tüm parametreler dikkate alınarak en uygun baraj tipinin seçilmesi oldukça önemlidir. Baraj tip seçiminde de tecrübe ve konuyla ilgili bilimsel çalışmalar oldukça önemlidir.

Baraj inşaatı alanında, kil çekirdekli dolgu barajlar dünyanın her yerinde en çok tercih edilen baraj tipi olmuştur. Dünyanın değişik yerlerinde bunun birçok uygulamaları bulunmaktadır. Bu tip barajlar tasarım aşamasında birçok analizin yapılmasını gerektirmektedir. Bunlardan biride gerilme-deformasyon analizidir.

Bazı durumlarda kil malzeme, baraj yerine yakın olmakta ve bu durumda da kil malzemenin daha fazla kullanılmasına gidilmektedir. Bazen de tersi olmaktadır. Bu durumda etek malzemesi fazla kullanılmaktadır. Etek malzemesi olarak kaya kullanmak için temelin sağlam veya iyileştirilmiş kaya temel olması gerekmektedir. Çoğu zaman temel ve daha ucuza mal olma gibi nedenlerden dolayı kaya yerine kum çakıl malzeme kullanımına gidilmektedir. Barajlarda kaya malzemesi gövdenin memba yüzünün korunmasında kaya dolgu riprapi olarak ve gövdenin dolgu zonunda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Baraj dolgusunun dış zonlarında özellikle memba yüzünde

kullanılacak kaya malzemesinin doğal tesirlere karşı dayanıklı olması hava ve su etkilerine, don ve dalga tesirlerine mukavemet edebilir olması gerekmektedir. Dolguda iç zonlarda kullanılan kaya malzemelerin özellikle kullanma yerine göre memba veya mansapta olmaları halinde farklı olabilirler. Su ile temas halinde, özelliklerini kısmen de olsa değiştiren, kaybeden veya kaya malzemeleri memba zonunda kullanmayıp, mansap zonunda belirli bölgelerde kullanılabilirler.

Kaya malzemedede istenilen en önemli özellik, sağlam ve büyük parçalar halinde olmasıdır. Kaya malzeme etüdü, yüzeyde görülen kayalık bölgenin incelenmesiyle başlar, karotlar alınarak kayacın tüm özellikleri belirlenerek dolguda kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir (Singh ve Varshney, 1995).

Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliği temin edecek toprak malzeme, filtre için kum-çakıl ve kaya malzeme kullanılarak inşa edilmektedir. 15 m ile 20 m den daha düşük yüksekliklerde baraj inşası komplike bir hal aldığından genellikle diğer tip barajlar daha ekonomik olmaktadır. Böyle durumlarda yatay ve düşey drenli toprak dolgu baraj tercih edilebilmektedir. Kaya dolgu barajlar 335 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (USBR 1986; Karadayı 1990).

Kum-çakıl malzeme dere yatağından ve kısa mesafeden alındığı için, kaya malzemedenden daha ucuza elde edilebilmektedir. Fakat baraj yüksekliğinin artması ile bu malzemenin kullanımı tecrübeli mühendisler tarafından uygun olmayacağı ifade edilmektedir. Ülkemizde kil çekirdekli kum-çakıl dolgu barajlar 140 metreden daha fazla yükseklikte yapılmamıştır (Bilgi, 1990). Bu konu ile ilgili detaylı bir araştırma literatürde bilgimiz dâhilinde mevcut değildir. Bu çalışmanın amacı özellikle bu konuda katkı sağlamaktır.

Bu çalışmada merkezi kil çekirdekli kum çakıl dolgu barajlar ve merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda gerilme-deformasyon analizleri yapılmıştır. Dolgu malzemesi değiştirilerek, farklı malzemeler için bir dizi analizler yapılmıştır. Etek malzemesi kum-çakıl ve kaya malzeme olarak alınacaktır. Ayrıca, hem kil çekirdeğin ve hem de etek dolgunun şev eğimleri değiştirilerek analizler yapılmıştır. Bu analizlerde elde edilen gerilme-deformasyon değerlerine ait grafikler çizilmiştir ve elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

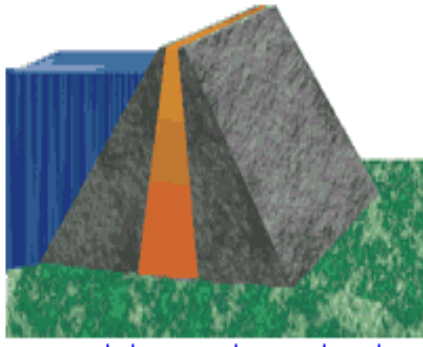
2. KAYA DOLGU BARAJLARIN TASARIMI

Kaya dolgu barajın evrimi beton yüzölçekli kaya dolgu baraj ile başlamış, daha sonra ana tipleri geliştirilmiştir. Bunlar, ÖYBK veya ön yüzü asfalt kaplı kaya dolgu baraj, ve toprak çekirdekli kaya dolgu barajdır (Franklin ve Dusseault, 1991).

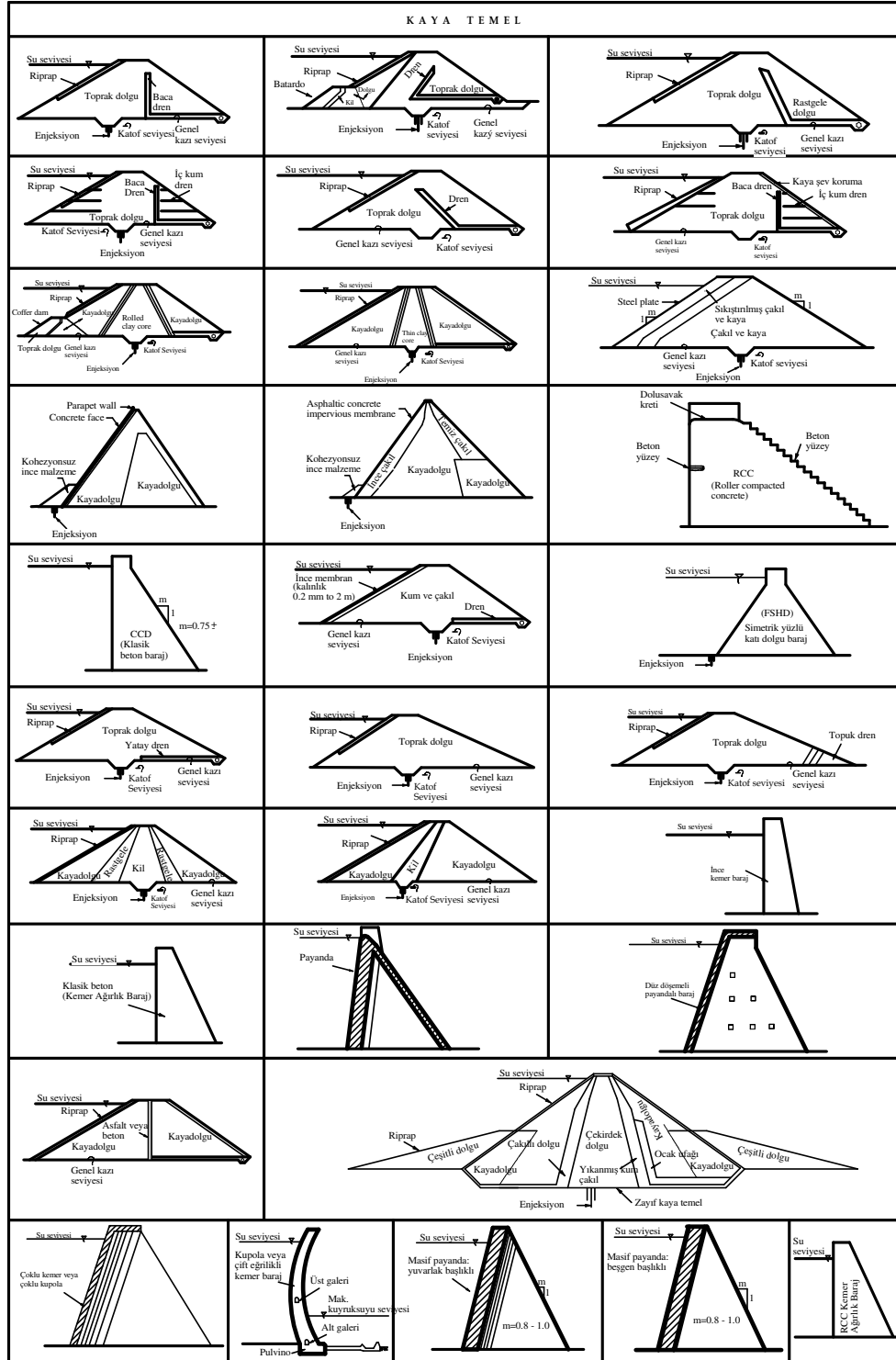
Barajlarda kaya malzemesi gövdenin memba yüzünün korunmasında kaya dolgu riprap olarak ve gövdenin dolgu zonunda dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Baraj dolgusunun dış zonlarında özellikle memba yüzünde kullanılacak olan kaya malzemesinin doğal tesirlere karşı dayanıklı olması hava ve su etkilerine, don ve dalga tesirlerine mukavemet edebilir olması gerekmektedir. Dolguda iç zonlarda kullanılan kaya malzemelerin özellikleri kullanma yerine göre, memba veya mansapta olmaları halinde farklı olabilirler. Su ile temas halinde, özelliklerini kısmen de olsa değiştiren, kaybeden kaya malzemeleri memba zonunda kullanılmayıp, mansap zonunda belirli bölgelerde kullanılabilir (Thomas, 1976).

Kaya malzeme istenen en önemli özellik, sağlam ve büyük parçalar halinde olmasıdır. Kaya malzeme etüdü, yüzeyde görülen kayalık bölgenin incelenmesiyle başlar, karotlar alınarak kayacın tüm özellikleri belirlenerek dolguda kullanılıp kullanılmayacağına karar verilir.

Kaya temeller üzerinde inşa edilebilecek baraj alternatifleri Şekil 2.2’de sunulmuştur (Emiroğlu, 2008).



Şekil 2.1 Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajın görünüşü



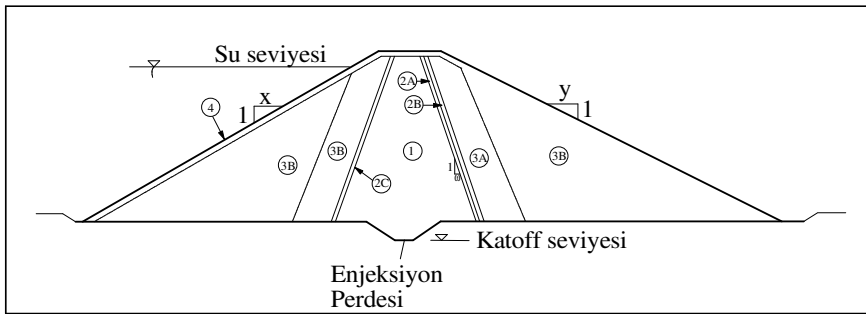
Şekil 2.2. Kaya temel üzerine inşa edilen farklı baraj enkesit alternatifleri (Emiroğlu, 2008)

Uygulandığı yerler ve tercih sebepleri;

- Her türlü vadi şekillerinde uygulanabilir. Bazı dar vadilerde kil çekirdekli baraj uygulanması sınırlanabilir, bu durumda diyaframlı kaya dolgu baraj seçilebilir.
- Baraj temelının sağlam kaya olduğu yerlerde
- Baraj yüksekliğinin 20 metreden fazla olduğu yerlerde
- Kaya malzeme baraj aksına yakın yeterli miktar ve kalitede olduğu yerlerde
- Barajın yüksek inşa edilmesi gereken yerlerde
- Bölgenin kurak, yarı kurak veya yağışlı olması durumlarında
- Bölgenin tüm depremsellik durumlarında

2.1. Merkezi Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Barajlar

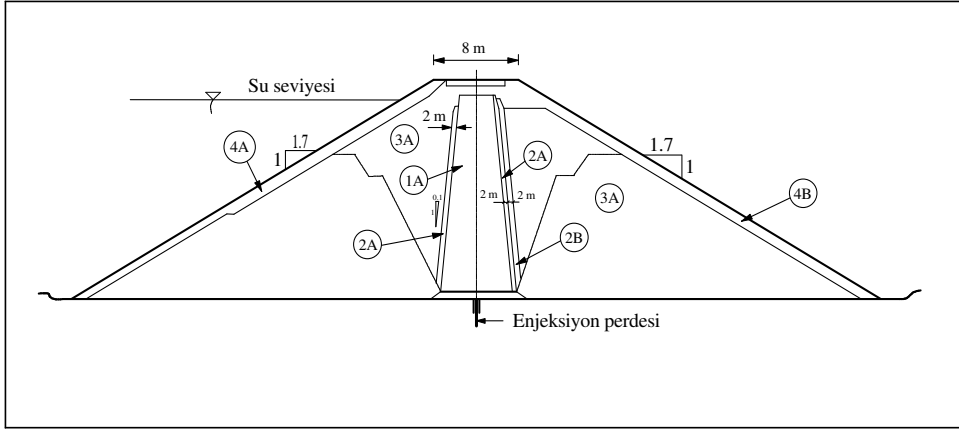
Merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajlar, geçirimsizliği temin edecek toprak malzeme, filtre için kum-çakıl ve kaya malzeme kullanılarak inşa edilmektedir. 15 m ile 20 m'den daha düşük yüksekliklerde baraj inşa komplice bir hal aldığından genellikle diğer tip barajlar daha ekonomik olmaktadır. Bu tip barajlar 335 m'ye kadar inşa edilmişlerdir (Fell vd., 1992 and Singh, 1995). Kil çekirdekle kaya dolgu arasında gerek memba, gerekse mansap tarafta biri çakıllı, diğeri kumlu malzemeden ikişer filtre tabakasının teşkili zorunlu olmaktadır.



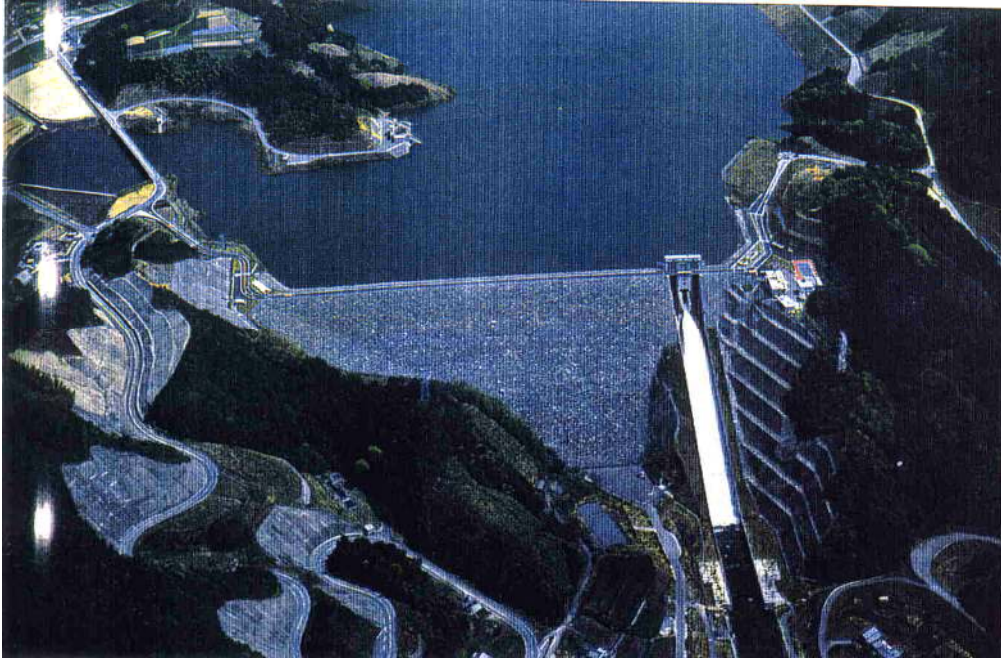
Şekil 2.3 Merkezi Kalın Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Enkesiti (Fell vd., 1992)

Bu yapının eğik kil çekirdekliğe göre avantajları aşağıdaki gibidir:

- Tahmin edilen kayma dairesinin geçirimsiz zondan geçen kısmı daha azdır. Memba kısmı kaymaya karşı daha emniyetli olduğundan; memba şevinin daha dik yapılabilmesi mümkün olmaktadır.
- Şevler dik ise çekirdek kaya kontakt kısmının inşaatı daha kolay yapılabilir.
- Toprak malzemenin baraj aksına yakın olduğu kaya malzemenin bol olmadığı durumlarda avantaja sahiptir.



Şekil 2.4 Merkezi İnce Kil Çekirdekli Kaya Dolgu B. Enkesiti -Bjelke Petersen Barajı-
(Fell vd., 1992)



Şekil 2.5 Kil Çekirdekli Kaya Dolgu Baraj Fotoğrafı

3. KİL ÇEKİRDEKLİ KAYA DOLGU BARAJLARIN GERİLME DEFORMASYON ANALİZİ

İnşaat makinelerindeki teknolojik gelişmeler dolayısıyla, özellikle nehir yatağının geniş olduğu ve gövde dolgu malzemesinin baraja yakın bir yerden temin edilebilmesi halinde toprak ve kaya dolgu tipi barajlar tüm dünyada ekonomik ve davranış yönünden tercih nedeni olmaktadır. Dolayısıyla, bu tip barajlarda kullanılan malzemenin modellenmesi ve baraj gövdesinde inşaatın çeşitli aşamalarında meydana gelen gerilme ve deformasyonların hesaplanması, bu tip yapıların davranışlarının belirlenmesi yönünden büyük önem taşımaktadır.

Justo (1973) ve Thomas (1976), toprak dolgu barajlarda ve kaya dolgu barajların çekirdeğinde inşaat sırasında ve sonrasında meydana gelen çatlakları dört grupta toplamışlardır. Baraj eksenine dik doğrultudaki çatlaklara şekil 3.1(A)'da görüldüğü gibi baraj gövdesi üst seviyesinde rastlanır. Bu çatlaklar, gövdenin üniform olmayan düşey deformasyonundan dolayı çekme çatlağı olarak şekil 3.1 (B), gövde altında bırakılan kayaç yüzey üzerinde şekil 3.1 (C), veya gövdenin dayandığı dik yamaç üzerinde kayma çatlağı olarak (A-A) görülebilir (Durgunoğlu ve Yazıcıoğlu, 1993).

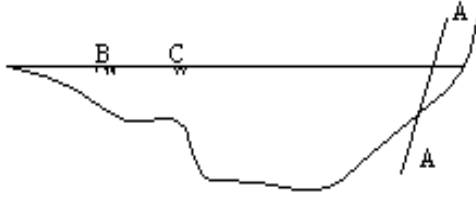
İkinci tip çatlaklar şekil 3.1(B)'de görüldüğü gibi baraj eksenine paralel olarak ve kil çekirdeğin her iki tarafında ve geçiş bölgesinde meydana gelmektedir. Bu çatlaklar kil çekirdek ile kaya dolgu arasında meydana gelen farklı düşey deformasyon sonucu oluşurlar. Baraj eksenine göre simetrik olmayan durumlarda baraj üst seviyesinde çekmeden dolayı eksende belirli bir açı yapan çatlak sistemleri meydana gelebilir. Şekil 3.1 1(C). Dördüncü gruba giren yatay çatlaklar baraj kil çekirdeğinin doygun hale gelmesini müteakip, çekirdek ile kaya dolgu arasındaki farklı oturmada oluşurlar.

Bu arada kil çekirdek ile kaya dolgu arasındaki farklı deplasmanlardan dolayı bir bölgeden diğer bölgeye yük aktarımı meydana gelir. Bu tarz yük aktarımı için şekil 3.2' de görüldüğü gibi dört alternatif mevcuttur, Squier (1970):

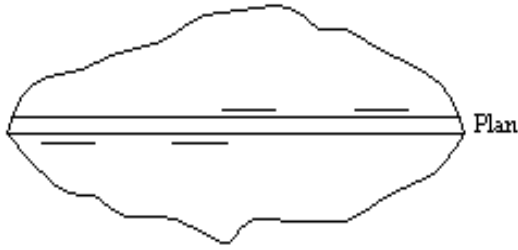
1. Çekirdeğin kaya dolguya nazaran daha fazla düşey deplasmanı halinde, yük kil çekirdekten kaya dolguya aktarılır.
2. Çekirdeğin katı kil olması halinde, kaya dolgu çekirdeğe nazaran daha fazla düşey deplasman gösterebilir; bu takdirde yük, kaya dolgudan kil çekirdeğe aktarılır.

3. Baraj gölünün teşkili müteakip kaya dolgu memba tarafı sevi doygun hale gelerek, kil çekirdeğe nazaran daha fazla düşey deplasman gösterir.

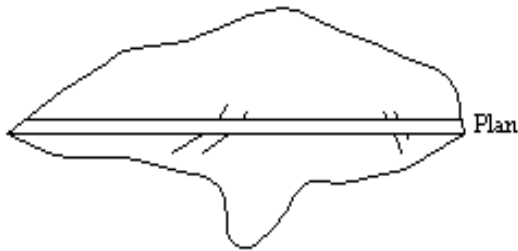
4. Nehir yatağı profilindeki ani değişmelerden dolayı kil çekirdekte meydana gelen farklı düşey deplasmanlar sonucu oluşan gerilme konsantrasyonlardır.



(A) Baraj aksına dik çatlaklar

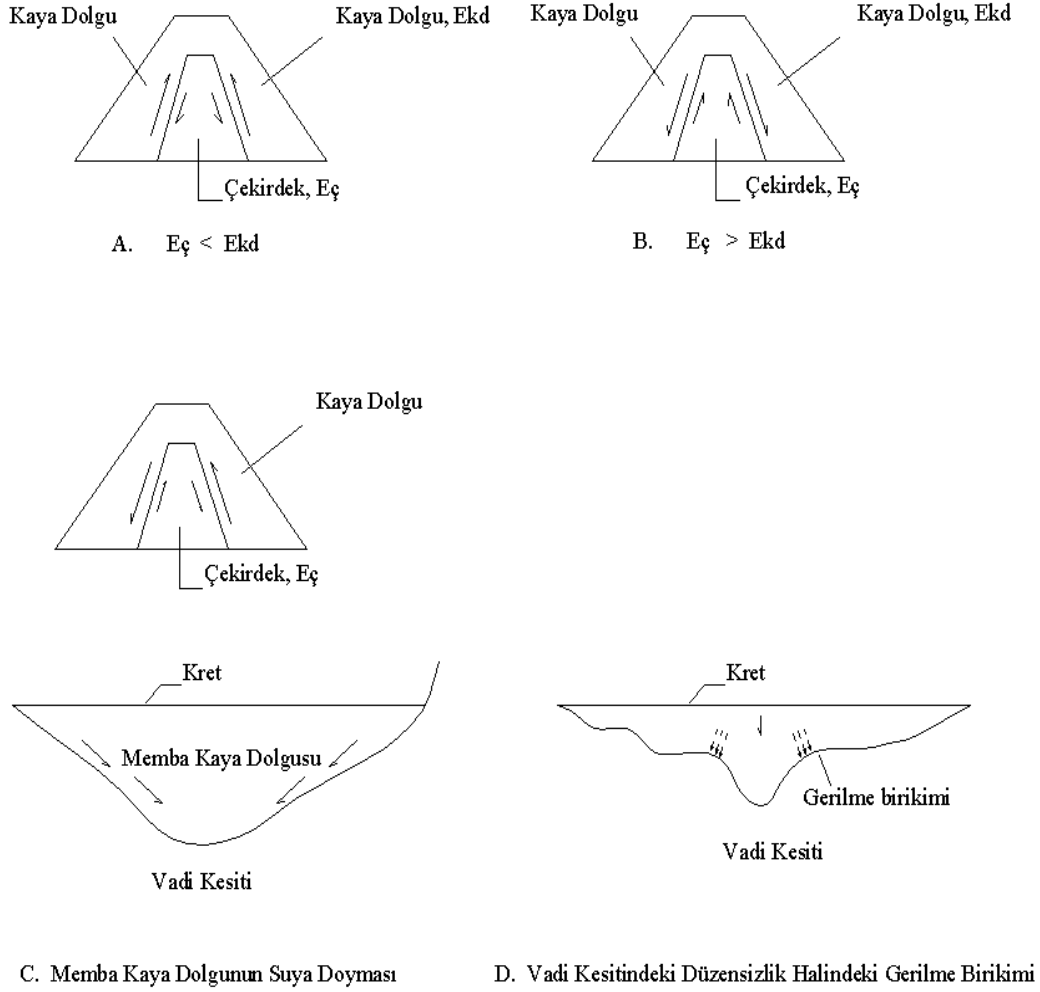


(B) Baraj aksına paralel çatlaklar



(C) Baraj aksı ile belirli doğrultudaki çatlaklar

Şekil 3.1 Kaya dolgu barajlardaki çatlak sistemleri Justo (1973) ve Thomas (1976)



Şekil 3.2 Kaya dolgu barajlarda değişik yük aktarım şekilleri (Squire, 1970)

Toprak ve kaya dolgu barajlarda, gerek çatlak sistemlerinin oluşu ve gerekse yük transferi, gövdede oluşan gerilme ve deformasyonlara bağlı olmakta, dolayısıyla gövde davranışını kontrol etmektedir. Dolayısıyla, baraj gövdesinin davranışı ancak inşaat esnasında ve baraj gölünün teşkilinde gövdede meydana gelen gerilme ve deformasyonların doğru hesaplanması sonucu belirlenebilmektedir. Hakikate yakın gerilme ve deformasyonlar, ancak çeşitli zonlardaki baraj gövdesi malzemesinin lineer olmayan, gerilme bağımlı davranışının simüle edilmesi ile gerçekleştirilebilir. Bu gaye ile Kulhawy (1969) tarafından geliştirilen hiporbolik gerilme-şekil değiştirme bağıntısını ve sonlu

elemanlar metodunu kullanan yöntem tanıtılmıştır. Gövde malzemesi deformasyon modülü, E , ve poisson oranının, ν , gerilme bağımlı formülasyonları verilmiştir.

3.1.Gövde malzemesinin modellenmesi

Toprak ve kaya dolgu barajlarda sonlu elemanlar metodu uygulanmak suretiyle kompleks geometrili iki ve üç boyutlu gerilme-şekil değiştirme problemlerini, malzemenin gerçek davranışını modellemek suretiyle çözmek mümkün olabilmektedir (Chanrupatla ve Belegundu, 1991).

Sonlu elemanlar metodunda, malzeme için *Hooke kanunun* geçerli olduğu kabul edilerek gerilme artışı, birim deformasyon dağılım iki boyutlu; düzlem şekil değiştirme hali için 3.1 bağıntısı ile verilmektedir.

$$\begin{pmatrix} \Delta\sigma_x \\ \Delta\sigma_y \\ \Delta\tau_{xy} \end{pmatrix} = \frac{E_t}{(1+\nu_t)(1-\nu_t)} \begin{bmatrix} (1-\nu_t) & \nu_t & 0 \\ \nu_t & (1-\nu_t) & 0 \\ 0 & 0 & \frac{(1-2\nu_t)}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta\epsilon_x \\ \Delta\epsilon_y \\ \Delta\gamma_{xy} \end{Bmatrix} \quad (3.1)$$

3.1 bağıntısında,

$\Delta\sigma_x, \Delta\sigma_y, \Delta\tau_{xy}$ = Gerilme artışlarını

$\Delta\epsilon_x, \Delta\epsilon_y, \Delta\gamma_{xy}$ = Birim deformasyon artışlarını

E_t = Tanjant deformasyon modülünü

ν_t = Tanjant Poisson oranını

göstermektedir.

Gerçekte olduğu gibi gövde inşaatı kademeli bir şekilde simule edilmek suretiyle, her kademe için her bir elemandaki gerilmeler hesap edilmekte, bu gerilmelere bağlı olarak yukarıdaki denklemde görülen *deformasyon modülü* ve *Poisson oranı* tanjant değerleri seçilmektedir. Böylece malzemenin lineer olmayan ve gerilme dağılımlı davranışı modellenebilmektedir.

Kondner (1963), zeminin gerilme birim deformasyon bağıntısının bir hiperbol ile temsil edilebileceğini önermiştir.

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\epsilon}{\frac{1}{E_f} + \frac{\epsilon}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}}} \quad (3.2)$$

3.2 bağıntısında,

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \text{Asal gerilmeler}$$

$$\varepsilon = \text{Boyuna birim deformasyon}$$

$$E_f = \text{Deformasyon modülü başlangıç değeri}$$

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult} = \text{Asal gerilme farkı asimtotik değeridir.}$$

3.2 bağıntısı

$$\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3} = a + b_3 \quad (3.3)$$

şeklinde yazılabilir. Bu takdirde

$$a = \frac{1}{E_f} \text{ ve } b = \frac{1}{(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}} \quad (3.4)$$

eşitlikleri yazılabilir. Şekil 3.3’de görüldüğü gibi gerilme-birim deformasyon bağıntısı yeni

koordinat sisteminde $\left(\frac{\varepsilon}{\sigma_1 - \sigma_3}, \varepsilon \right)$ bir doğru ile temsil edilmekte, böylece a ve b değerleri

dolayısıyla ana bağıntıdaki E_f , ve $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ değerleri kolayca bulunabilmektedir.

Zeminlerde, çevre basıncının artışı sonucu deformasyon modülü ve kayma mukavemeti arttığından E_f , ve $(\sigma_1 - \sigma_3)_{ult}$ değerleri de artmaktadır.

$$E_f = K \cdot p_a \cdot \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (3.5)$$

Deformasyon modülü başlangıç değeri, E_f 3.5 bağıntısı ile verilmektedir. Bu bağıntıda K deformasyon modülü sayısı, p_a atmosfer basıncı, σ_3 çevre basıncı ve n deformasyon modülü üssü olarak tanımlanmaktadır.

Gerilme farkı asimtotik değeri ile, kırılma anındaki gerilme farkı arasında ise 3.6 bağıntısı yazılabilir.

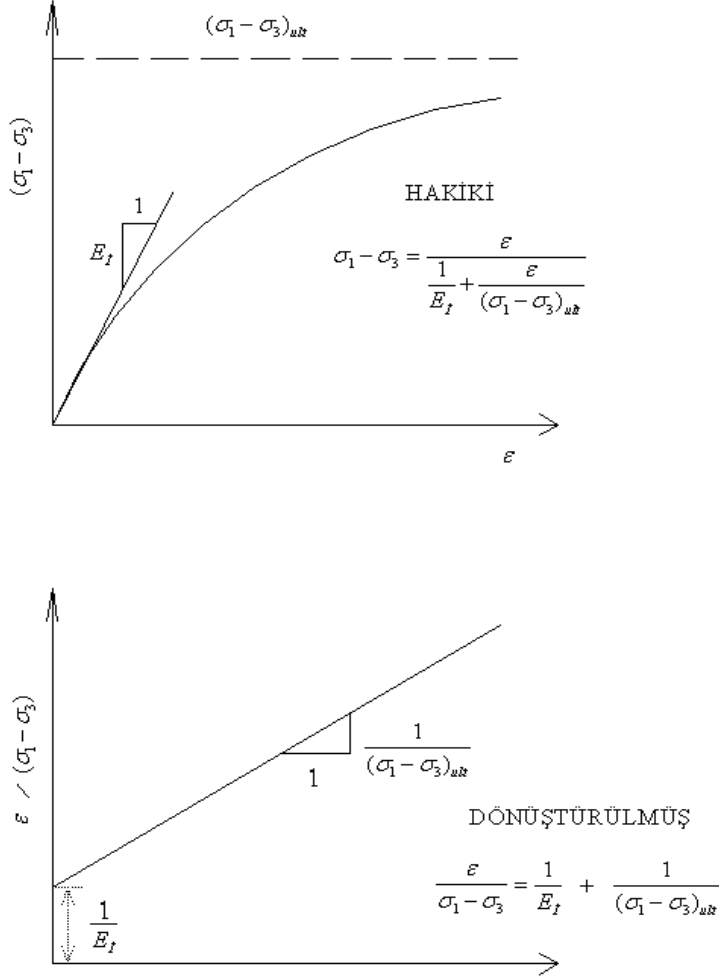
$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = R_f \cdot (\sigma_1 - \sigma_3)_{ult} \quad (3.6)$$

3.6 bağıntısında R_f kırılma oranı olarak tanımlanmaktadır. Mohr Coulomb kırılma teorisine göre kırılma anındaki gerilme farkı $(c - \Phi)$ tipi zeminler için 3.7 bağıntısı ile verilmektedir.

$$(\sigma_1 - \sigma_3)_f = \frac{2c \cos \Phi + 2\sigma_3 \sin \Phi}{1 - \sin \Phi} \quad (3.7)$$

Bu bağıntılardan yararlanmak suretiyle deformasyon modülü tanjant değeri için Kulhawy (1969)

$$E_t = \left[1 - \frac{R_f (1 - \sin \Phi) (\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \Phi + 2\sigma_3 \sin \Phi} \right]^2 \cdot K \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (3.8)$$



Şekil 3.3 Hiperbolik Gerilme-Birim Deformasyon Bağıntısı (Konder, 1963)

bağıntısını vermiştir. Bu durumda, K , n , c , Φ ve R_f gibi beş adet parametre ile E_t tanımlanabilmektedir.

Elastik olmayan, hafıza bağımlı, zemin davranışı Kulhawy (1969) tarafından boşaltma ve tekrar yükleme eğrisinin eğimi ile E_{ur} temsil edilmektedir. Benzer şekilde

$$E_{ur} = K_{ur} \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \quad (3.9)$$

bağıntısı ile tanımlanabilir. Bu takdirde K / K_{ur} oranı tanımlanmalıdır.

Lineer olmayan hacim değiştirme bağıntısı $\varepsilon_a, \varepsilon_r$ bağıntısının bir hiperbol ile tanımlanması ile modellenmiştir. Kulhawy (1969).

$$\varepsilon_a = \frac{\varepsilon_r}{v_i - d\varepsilon_r} \quad (3.10)$$

Bu bağıntı,

$$\frac{-\varepsilon_r}{\varepsilon_a} = v_i - d\varepsilon_r \quad (3.11)$$

Şeklinde yazıldığında, şekil 3.4' den görüldüğü gibi doğrusal bağıntıdan Poisson oranı başlangıç değeri v_i ve d parametresi kolayca hesaplanabilir.

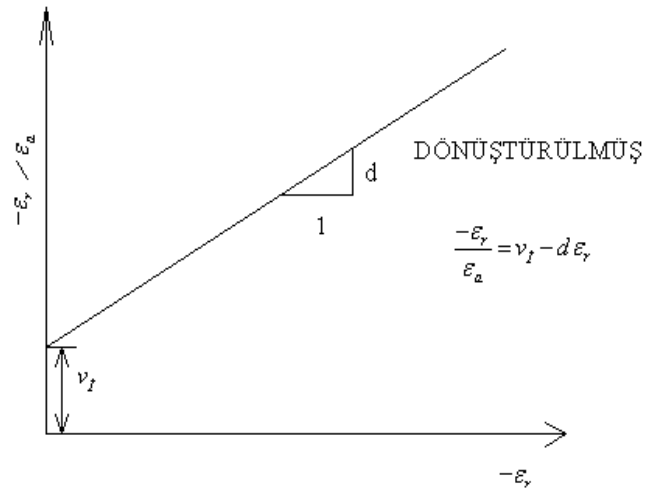
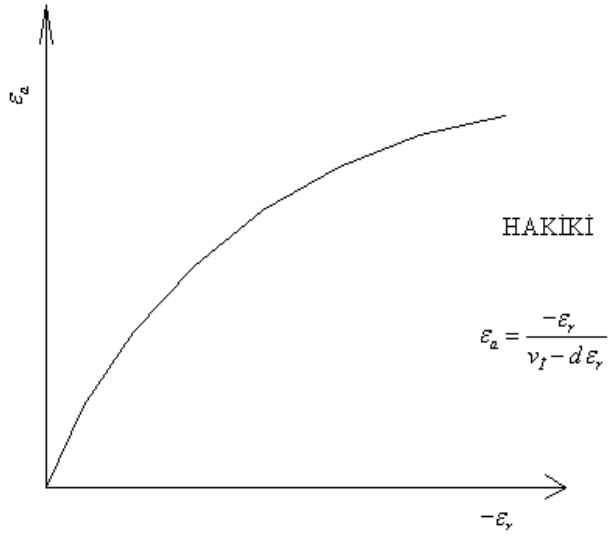
Bu bağıntıdaki v_i değeri de çevre basıncı, bağımlı olup, Kulhawy (1969)

$$v_i = \sigma - F \cdot \log \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right) \quad (3.12)$$

bağıntısını vermektedir. Bu takdirde ana bağıntıdaki Poisson oranı tanjant değeri, v_t , Duncan ve Chang'a (1970) göre;

$$v_t = \frac{G - F \cdot \log \left(\frac{\sigma_x}{p_a} \right)}{\left[1 - \frac{d(\sigma_1 - \sigma_3)}{K \cdot p_a \left(\frac{\sigma_3}{p_a} \right)^n \left[1 - \frac{R_f (1 - \sin \Phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \Phi + 2\sigma_3 \sin \Phi} \right]} \right]^2} \quad (3.13)$$

bağıntısı ile verilmektedir. Bu takdirde, malzemeyi temsil eden E_t, v_t değerleri, K, n, R_f, c, Φ, G, F ve d gibi sekiz adet parametre ile temsil edilebilmektedir. Bu sekiz parametre lineer olmayan gerilme bağımlı gerilme-birim deformasyon ve hacim değiştirme bağıntılarını temsil ederek modelleyebilmektedir.



Şekil 3.4 Hiperbolik boyuna birim deformasyon-Radyal birim deformasyon bağıntısı
(Duncan, Wong, 1974)

4. PLAXİS SONLU ELEMANLAR PROGRAMI

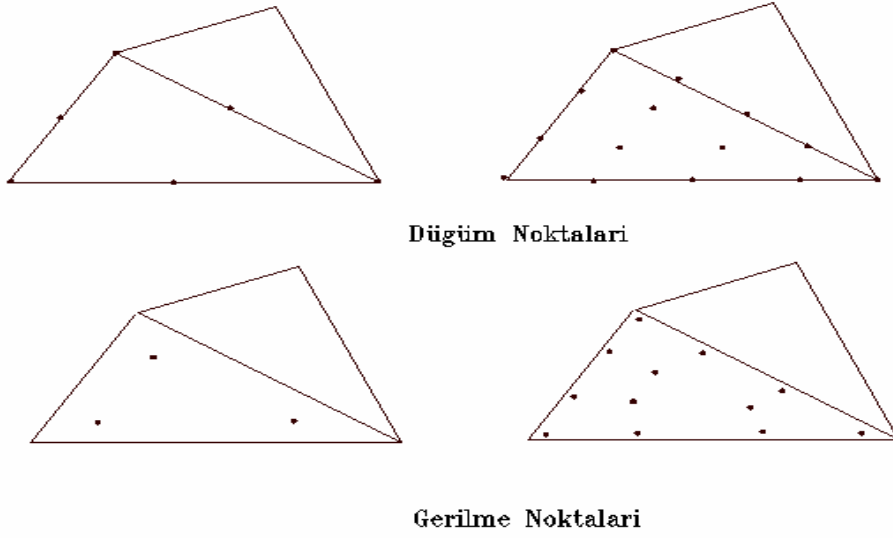
Son yıllarda sonlu elemanlar yöntemi teorik gelişmeler ve uygulama alanları açısından büyük ilerlemeler kaydetmiştir. Dış etkiler altında bir yapının gerçeğe en yakın davranışını bulmayı amaçlayan yapı mühendisliği alanında da sonlu elemanlar yöntemi kullanılmaktadır. Mühendisler, yöntemin matematiksel kanıtlara dayanarak değil, sezgisel nedenler ile ve ihtiyaçlarına göre yönetim gücü ve potansiyelini kullanmaktadırlar.

Sonlu elemanlar programı olan Plaxis Geoteknik mühendisliği problemlerinin nümerik analizi için geliştirilmiş bir programdır. Program, bilgi girişine olanak veren giriş (*input*) programı, analizlerin gerçekleştirildiği hesap (*calculation*) programı, analiz sonuçlarını grafik olarak sergileyen (*output*) programı ve elde edilen sonuçlar ile istenilen grafiğin oluşturulmasını sağlayan eğri (*curve*) programından oluşmaktadır. Bu program, projelerin tasarımında ihtiyaç duyulan deformasyon ve stabilize analizleri, zemin yapı etkileşimi, gerilme-şekil değiştirme, yükleme durumları, konsolidasyon, taşıma gücü, akım ağı, zemin dinamiği konularında ve malzemenin çeşitli olduğu durumlarda kullanılmaktadır ve hemen hemen gerçeğe yakın sonuçlar vermektedir.

Uygulanan sonlu elemanlar formülasyonunda deplasman yöntemi kullanılmış, yani deplasmanlar esas bilinmeyen olarak kabul edilmiştir. Sonlu elemanlar yöntemine göre, bir sürekli ortam birçok elemana ayrılır ve her bir eleman üzerindeki düğüm noktaları bir serbestlik derecesine sahiptir.

Plaxis programında sonlu elemanlar ağının oluşturulması sırasında hücreler üçgen elemanlara ayrılırlar. Plaxis'te bu üçgen elemanlar 6 veya 15 düğüm noktalı olarak seçilebilmektedirler. Gerilmelerin ve göçme yüzeylerinin gerçeğe daha yakın hesaplanabilmeleri için 15 düğüm noktalı elemanın seçilmesi daha doğrudur fakat kullanıcı bunun daha fazla zaman aldığını bilmelidir. Sonlu elemanlar hesabı sırasında deplasmanlar düğüm noktalarında hesaplanır. Düğüm noktalarını üçgen elemanlar üzerindeki dağılımı şekil 4.1' deki gibidir (<http://www.plaxis.nl/>).

Problemlerin analizinde yer değiştirmeler düğüm noktalarında gerilmeler ise gerilme noktalarında hesaplanmaktadır. Düğüm noktaları yük deplasman eğrilerini oluşturmak için daha önceden belirlenebilir. 6 düğüm noktalı elemanın 3 gerilme noktası, 15 düğüm noktalı üçgen elemanda ise 12 gerilme noktası vardır. Gerilme noktaları gerilme izlerini veya gerilme şekil değiştirme eğrilerini oluşturmak için önceden seçilebilir. Bu çalışmada 15 düğüm noktalı elemanlar tercih edilmiştir. Bu noktalar şekil 4.1' de görülmektedir.



Şekil 4.1 Plaxis ile analizde kullanılan elemanlar, düğüm noktaları ve gerilme noktaları

Programda öncelikle geometrinin oluşturulması gerekmektedir. Burada *Lines* komutu ile çizgiler çizilir ve çalışma alanının sınırları belirlenir. Birden fazla tabakalı zemin profili üzerinde çalışılacağı zaman yine bu çizgisel elemanlar yardımı ile arazi istenilen noktalardan ayrılarak farklı zemin bölgeleri tanımlanabilir. Geometrinin belirlenmesinden sonra projede kullanılacak yapısal elemanlar (temel, palplanş, yatay destek, ankraj, geotekstil) yerine göre *Beam*, *Geotextile*, *Node to Node Anchor* ve *Fixed End Anchor* komutları ile modellenir.

Plaxis sonlu elemanlar programında önceden belirlenmiş yer değiştirmeleri, noktasal ve yayılı yükleride tanımlamamıza olanak sağlar. Bu amaçla *Prescribed Displacements*, *Point Forces* ve *Traction Loads* komutları kullanılabilir.

Plaxis'te *Material Sets* ana başlığı altında zemin ve yapısal elemanların özellikleri (*Soil & Interface*, *Beam*, *Anchor* ve *Geotextile*) tanımlanabilir. Bunlar Plaxis programında arşivlenip daha başka uygulamalarda da zemin ve yapısal eleman özelliği olarak atanabilir.

Çubuk elemanlar için (*Beam Element*); Normal Rijitlik (EA), Eğilme Rijitlik (EI), duvar kalınlığı (d), eleman ağırlığı (w), Poisson Oranı (ν), ankraj ve destek elemanlarını tanımlamakta kullanılan *Node to Node Anchor* komutu için Normal Rijitlik (EA), Destek Aralığı (L_s), Maksimum kuvvet (F_{max}) değerleri; ankraj kökü ve geotekstil malzemesini tanımlamak için kullanılan *Geotextile* komutu için ise Normal Rijitlik (EA) değerleri program girdileri kısmında tanımlanmalıdır.

Plaxis programında zemin özelliklerini belirlemek amacı ile zemin mekaniği problemlerinin analizinde çok kullanılan *Mohr-Coulomb (MC)*, kum, çakıl gibi kohezyonsuz zeminlerde ve çok aşırı konsolide kohezyonlu zeminlerde kullanılan *Pekleşen Zemin Modeli (Hardening Soil Model-HS)*, Geoteknik problemlerin analizinde sıkça kullanılan efektif gerilmelere göre analiz yapan ve yumuşak zeminlerin davranışını daha iyi modelleyebilen *Yumuşak Zemin Modeli (Soft Soil Creep Model-SSC)* ve Lineer Elastic Model olmak üzere dört farklı zemin modeli kullanılabilmektedir. Bir zemin modeli gerilme artışları ve şekil değiştirmeler artışları arasındaki ilişkinin matematiksel ifadesidir.

Mohr Coulomb Modelinde Young Modülü (E), Poisson Oranı (ν), İçsel Sürtünme Açısı (ϕ), Dilatansi (Genleşme) açısı (ψ), zeminin kuru ve ıslak birim hacim ağırlığı (γ_{dry} ve γ_{wet}) yatay ve düşey permeabilite katsayıları (k_x ve k_y) ve zeminin herhangi bir elemanla temasta olması durumunda ara yüzey elemanları tanımlanmaktadır. Ara yüzey elemanı için, dayanım, ara yüzey kalınlığı ve geçirimsizlik tanımlanır.

Pekleşen zemin modelinde kullanılan parametreler; (*Mohr-Coulomb Parametreleri*) c : efektif kohezyon, ϕ : efektif içsel sürtünme açısı, ψ : Dilatansi Açısı, (zemin rijitliği için temel parametreler) E_{50ref} : Drenajlı üç eksenli basınç deneyinde sekant rijitliği, E_{ref} : Başlangıç ödometre yüklemesi için tanjant rijitliği, m : gerilme seviyesine bağlı malzeme katsayısı, (İleri düzey malzeme parametreleri) Erefur: Yükleme boşaltma için rijitlik $E_{refur}=3E_{oed}^{ref}$, ν_{ur} : Yükleme boşaltma için poisson oranı, P^{ref} : Rijitlikler için Poisson oranı, KO^{NC} : Normal konsolide durum için sükunetteki toprak basıncı katsayısı, R_f : Göçme oranı, $\sigma_{tension}$: Çekme gerilmesi ve $\sigma_{increment}$: Derinlikle kohezyon artışıdır.

Yumuşak zemin modeli ise aşırı konsolidasyon oranı AKO 2 den küçük olan zeminlerin davranışını modellemek için geliştirilmiş izotropik, elasto-plastik, şekil değiştirme pekleşmeli bir modeldir. Bu modeli tanımlamak için parametreler; λ^* : Modifiye sıkışma indisi, K^* : Modifiye şişme indisi, c : kohezyon, ϕ : İçsel sürtünme açısı, ψ : Dilatansi Açısı, ν_{ur} : Yükleme boşaltma için poisson oranı, KO^{NC} : Normal konsolide durum için sükunetteki toprak basıncı katsayısı ve M : KO^{NC} parametresidir.

M-C Modelinin avantajları;

- Basit ve açık bir modeldir.

- Genelde zemin davranışının birinci mertebede yaklaşımıdır.
- Çoğu pratik probleme uygulanabilir.
- Sınırlı sayıda ve açık parametrelere sahiptir.
- Göçme davranışını iyi temsil eder.
- Dilatansi içerebilir.

Dezavantajları;

- İzotrop ve Homojen davranış
- Göçmeye kadar lineer elastik davranış
- Gerilmeden bağımsız rijitlik
- Ön yükleme ve boşaltma veya yeniden yükleme arasında ayırım yok
- Dilatansi devam eder (kritik boşluk oranı yok)
- Drenajsız davranış gerçekçi değil
- Anizotropi yoksa zaman bağımlılık da yok

Tüm malzeme parametreleri belirlendikten ve atandıktan sonra her bir malzeme ilgili ortama atandıktan sonra sonlu elemanlar ağının oluşturulması safhasına geçilir.

Sonlu elemanlar ağı *Mesh* komutu ile oluşturulmaktadır. Normalde programda sonlu elemanlar ağı çok ince olarak oluşturulmaz, fakat istenildiği taktide tüm zemin ortamı ya da sadece istenilen kısım için daha ince bir sonlu elemanlar ağı oluşturulabilir.

Sonlu elemanlar ağıda oluşturulduktan sonra başlangıç koşullarını belirlemek amacı ile *Initial Conditions* komutuna basılır. Burada eğer mevcut ise yeraltı su seviyesi çizilir ve boşluk suyu basıncı hesaplanır. Daha sonra zemin, üzerinde herhangi bir yapısal eleman olmadığı ilk hale getirilir ve efektif gerilmeler bulunur.

Bundan sonraki adımda *Calculate* komutuna basılarak hesaplama safhasına geçilir. Bu aşamada kademeli inşaat yapılması durumunda *Staged Construction*, tekil ya da yayılı yük uygulamasında ise *Total Multipliers* (Toplam Çarpanlar) komutu seçilir.

Programda ayrıca güvenlik faktörünün hesaplanması amacı ile geliştirilmiş Φ -c azaltma (*Phi-c reduction*) seçeneği de vardır. Burada zemin parametreleri ϕ ve c kademeli olarak azaltılarak yapının göçtüğü an belirlenmekte ve yapının, herhangi bir inşaat safhası için göçmeye karşı güvenlik katsayısı belirlenebilmektedir. Analizin herhangi bir safhasında zemin dayanımı parametrelerinin belirlenmesinde toplam çarpan ΣM_{sf} kullanılmaktadır.

Burada parametrelerdeki i indisi malzeme özellikleri tanımlanırken girilen değerleri r indisi ise analizlerde kullanılan azaltılmış değerleri göstermektedir. Analizlerde başlangıçta toplam çarpan, $\Sigma M_{sf} = 1$ alınarak tüm malzeme parametreleri azaltılmış değerine getirilmektedir. Daha sonra ise $\tan \varphi$ ve c değerleri kademeli olarak azaltılarak yapının göçme durumuna ulaşması sağlanmaktadır ve bu göçme anındaki güvenlik sayısı ise toplam çarpan ΣM_{sf} 'in göçme anındaki değerine eşit olmaktadır.

Tüm aşamalar tanımlanıp ortam son haline geldiğinde *Calculate* komutuna basılarak zemin ve yapısal elemanların bu koşullar altındaki davranışı belirlenir. İstenildiği takdirde *Curves komutu* ile istenilen grafikler çizilerek gerekli karşılaştırmalar yapılabilir

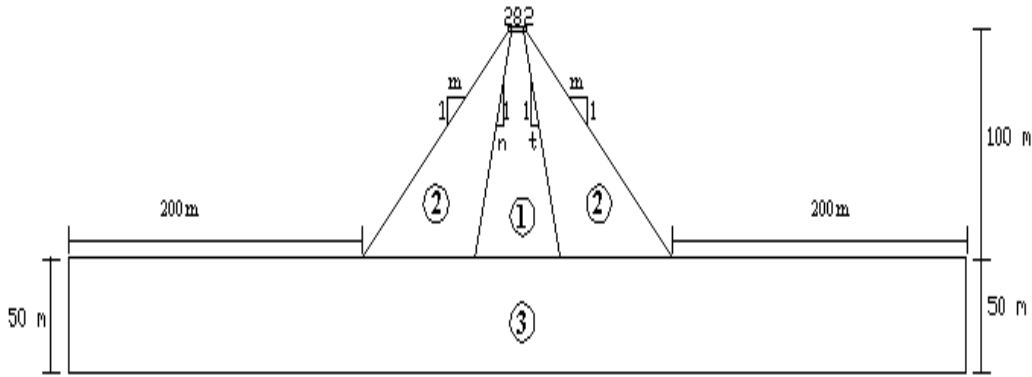
5. PLAXIS SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE UYGULAMALAR

5.1.Barajın Geometrisi

Bu çalışmada merkezi kil çekirdekli kaya dolgu barajının karakteristikleri alınarak bu barajın gerilme ve deformasyonları Plaxis programı yardımı ile analiz edilmiştir.

Plaxis yazılımında analizler; merkezi kil çekirdekli kaya ve merkezi kil çekirdekli kum-çakıl dolgu baraj tipleri için yapılmıştır. Barajın temel yüksekliği 50 metre, baraj yüksekliği 100 metre olarak sabit tutulmuştur. Barajın memba ve mansap yüzeyi eğimi değiştirilerek, toplam oniki farklı geometri oluşturulmuş ve bu enkesit tipleri üzerinde analizler yapılmıştır. Barajın gövdesinde; kabuk malzemesi olarak kaya ya da kum-çakıl ve çekirdek malzemesi olarak da kil malzeme seçilmiştir. Ayrıca farklı malzeme özellikleri için de analizler yapılmıştır.

Analizi yapılacak barajın geometri modeli Şekil 5.1' de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Analizi yapılacak barajın geometri modeli

Şekil 5.1' de daire içerisine alınan 1 kil çekirdeği, 2 kabuk dolgusunu ve 3 ise temel kayasını göstermektedir.

Barajın geometri modelindeki n , m , t değerleri değiştirilerek analizler yapılacaktır. n , m ve t simgeleri Şekil 5.1 üzerinde gösterilmiştir. Analiz sonuçlarını yorumlarken kolaylık olması açısından seçilen n , m , t değerlerine ve malzeme tipine göre her bir baraj enkesit tipi aşağıdaki gibi numaralandırılmıştır;

1. **Tip 1:** $n = t = 0,25$ iken $m = 1,8$ (1. grup malzeme)
2. **Tip 2:** $n = t = 0,25$ iken $m = 2,0$ (1. grup malzeme)
3. **Tip 3:** $n = t = 0,25$ iken $m = 2,5$ (1. grup malzeme)
4. **Tip 4:** $n = t = 0,25$ iken $m = 2,75$ (1. grup malzeme)
5. **Tip 5:** $m = 2$ iken $t = n = 0,5$ (1. grup malzeme)
6. **Tip 6:** $m = 2$ iken $t = n = 0,4$ (1. grup malzeme)
7. **Tip 7:** $m = 2$ iken $t = n = 0,3$ (1. grup malzeme)
8. **Tip 8:** $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (1. grup malzeme)
9. **Tip 9:** $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (2. grup malzeme)
10. **Tip 10:** $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (3. grup malzeme)
11. **Tip 11:** $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (4. grup malzeme)
12. **Tip 12:** $m = 2$ iken $t = 0,05$ $n = 0,35$ değerleri için 1. grup

malzemeye göre analiz yapılmıştır.

5.2. Barajın Malzeme Özellikleri

Kabuk dolgusu ve kil çekirdekten kullanılacak malzemeyi incelemek için dört grup malzeme değeri seçilmiştir. Bu malzeme değerlerinden; 1. grup malzeme kil çekirdek ile kabuk dolgusunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 2. grup malzeme kabuk dolgusunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 3. grup malzeme yine kil çekirdek ile kabuk dolgusunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. 4. grup malzeme ise kabuk dolgusunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir.

Kum- çakıl malzeme kabuk dolgusunda kaya dolgudan her zaman daha rijittir. Daha küçük gradasyona sahip olduğu için kaya dolguya göre daha iyi sıkıştırılmaktadır ve rijit olmaktadır. Bir barajda kabuk dolgusunda kum-çakıl mı yoksa kaya malzeme mi kullanılacağına barajın yüksekliği, temel jeolojisi (ki dolgu barajlar hemen hemen her temel tipinde yapılabilirler) ve malzemenin ekonomik sınırlar içerisinde olup olmaması etki etmektedir. Yani teknik olarak kum çakıl malzemesinin malzeme gradasyonu izin verdiği takdirde ve ekonomik taşıma mesafesinde olduğunda kum çakıl malzemesinin kaya malzemesine göre taşınması ve dolgu üzerine yerleştirilmesi daha ekonomiktir. Dünyanın

en yüksek barajı Nurek barajı Tacikistan 'da 335 m yüksekliğinde ve kum-çakıl bir kabuk dolgusuna sahiptir.

Kil çekirdek ile kabuk malzemesinin rijitliklerinin farklı olması dolayısıyla ya kabuk malzemesi kile göre fazla deformasyon yaparak kil çekirdeğe asılır ya da bunun tersi olur. Kil çekirdekteki deformasyon kaya dolguya göre fazla olur, çekirdek kabuklara asılır. Bu ikinci durum istenilen bir durum değildir. Çekirdek içerisinde *kemerlenme* etkisi oluşturarak yükünü kendi tabanına değil de filtreler üzerinde kabuk dolguya aktarmaktadır. Bu durum *hidrolik kırılma* olayını tetikleyebilir. Bu nedenle çekirdek dolguları her zaman kabuklardan daha iyi sıkıştırılmalıdır. Böylece kayma mukavemeti artırılır, geçirimsizliğe faydası olur ve rijitliği artırılır. Aynı zamanda deformasyon kabuğa göre düşürülür. Ancak deformasyon modülü dolgularda öyle çok parametreden etkilenir ki tahmini her zaman mümkün değildir. Örneğin bu modül malzemenin granülometrik dağılımına çok bağlıdır. Su içeriği modülü azaltır ve deformasyon yeteneğini artırır. Malzemenin inşaa edilirken özellikle de kil çekirdeklerin optimum su muhtevassından kuru ya da ıslak tarafta sıkıştırılması bile modülü değiştirebilir. Özellikle kil malzemelerin plastik özellikleri bu modülü zamana bağımlı hale bile getirir. Bu zorluklar karşısında geliştirilmiş komplike malzeme modelleri mevcuttur. Örneğin, malzemenin viskoelastik davranışını modelleyen modeller gibi. Dinamik yüklemeler altında bile modül değişir artık dinamik deformasyon modüllerini kullanmak gerekir. Plaxis yazılımında en çok kullanılan model *Mohr-Colomp* modeldir, bu model Plaxis elasto plastik analiz yapar yani bir yük değerine kadar lineer deformasyon artımı bir yük değerinden sonra da tam plastik ya da yukarı eğimli (*hardening soil model*) aşağı doğru eğimli (*softening soil model*) şeklinde analiz edilir. Bu modellerden hangisi kullanılacak temel olarak elastik tam plastik modeller ile analiz yapmak bile yani elasto plastik analiz lineer elastik analiz yapmaktan daha sağlıklı sonuçlar verir. Çünkü kalıcı (*plastik*) deformasyonlar dikkate alınır. Dinamik yüklemeler altında bazı zeminlerde pekleşme (*hardening*) ya da yumuşama (*softening*) olayı meydana gelir. Bu durumlarda *hardening soil* ya da *softening soil* modelleri kullanılması faydalı olmaktadır.

Günümüzde tasarımcılar yüksek kil çekirdekli kaya dolgu barajlarda çekirdeğin mansap tarafındaki eğimi dike yakın memba tarafını ise daha yatık eğimli olarak tasarlarlar bu tipe “tatlı meyilli” kil çekirdekli barajlardır. Bunlar merkezi kil çekirdek ile memba tarafına yatık çekirdeklerin arasında olan bir tiptir.

Tablo 5.1’ deki malzeme numaraları; 1 kil çekirdeği, 2 kabuk dolgusunu ve 3 ise temel kayasını göstermektedir.(Şekil5.1)

Tablo 5.1 Malzeme değerleri

1. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ²)	E_{ref} (kN/m ²)	ϕ (°)	ψ (°)	ν (-)	c_{ref} (kN/m ²)
1	18	19	80 000	20	0	0,45	60
2	19	20	60 000	45	15	0,35	0
3	15	16	1*10 ⁶	40	10	0,25	30
2. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ²	E_{ref} kN/m ²	ϕ	ψ	ν	c_{ref} kN/m ²
1	18	19	80 000	20	0	0,22	60
2	19	20	120 000	45	15	0,30	0
3	15	16	1*10 ⁶	40	10	0,25	30
3. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ²	E_{ref} kN/m ²	ϕ	ψ	ν	c_{ref} kN/m ²
1	18	19	120 000	20	0	0,45	60
2	18	19	150 000	34	0	0,30	0
3	15	16	1*10 ⁶	40	10	0,25	30
4. grup malzeme için seçilen değerler							
Malzeme No	γ_{unsat} kN/m ³	γ_{sat} kN/m ²	E_{ref} kN/m ²	ϕ	ψ	ν	c_{ref} kN/m ²
1	18	19	80 000	20	0	0,22	60
2	19	20	270 000	34	0	0,30	0
3	15	16	1*10 ⁶	40	10	0,25	30

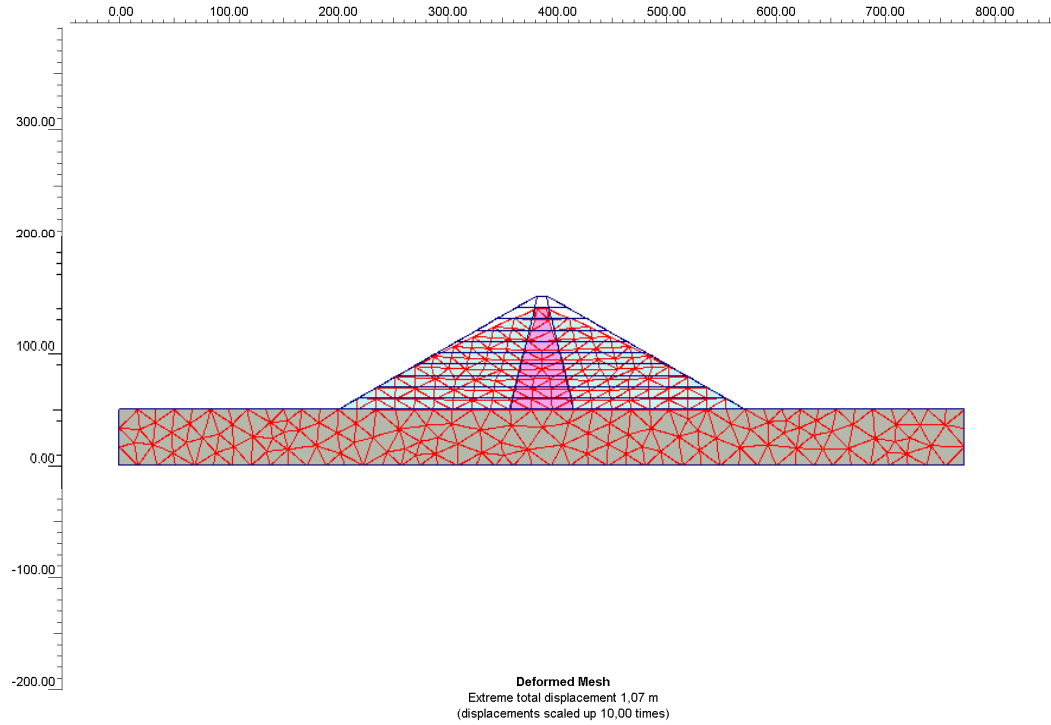
Tablo 5.1’ de verilen malzeme değerleri ile her bir enkesit tipi Plaxis 8.x’ de modellenmesinden sonra her biri için analizler yapıp grafikler çizilmiştir. Plaxis 8.x’ de modellenen baraj tipleri ve analiz sonuçları;

5.2.1. Tip 1 ve 1. grup malzeme analizleri

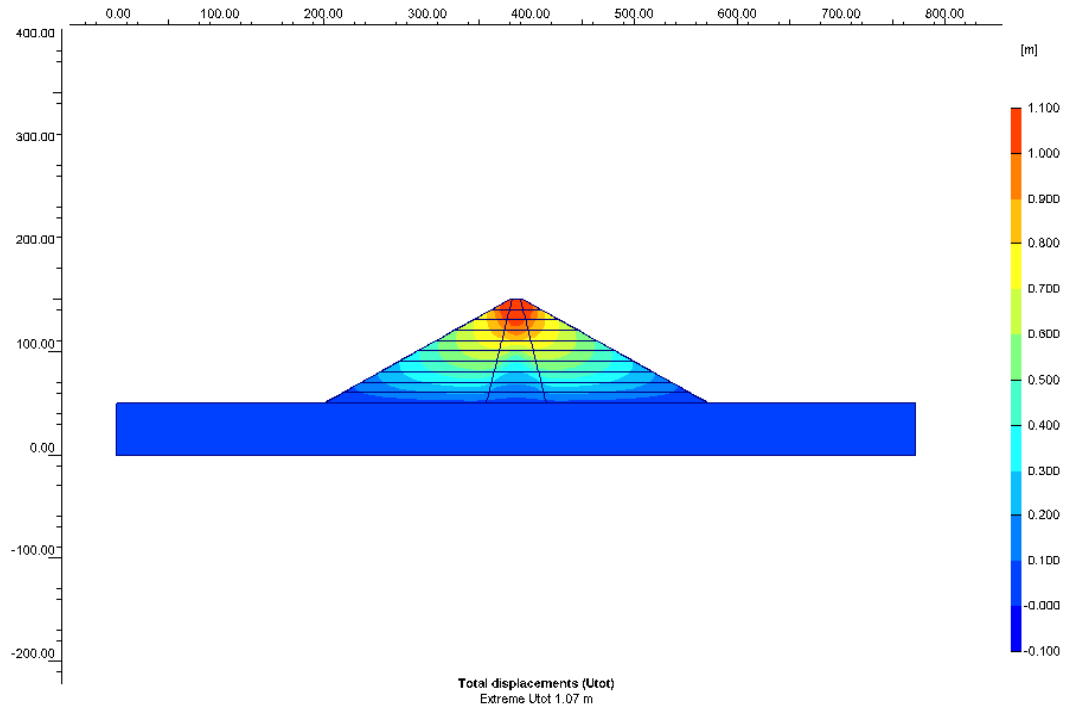
Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te 15 düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.2' de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir.

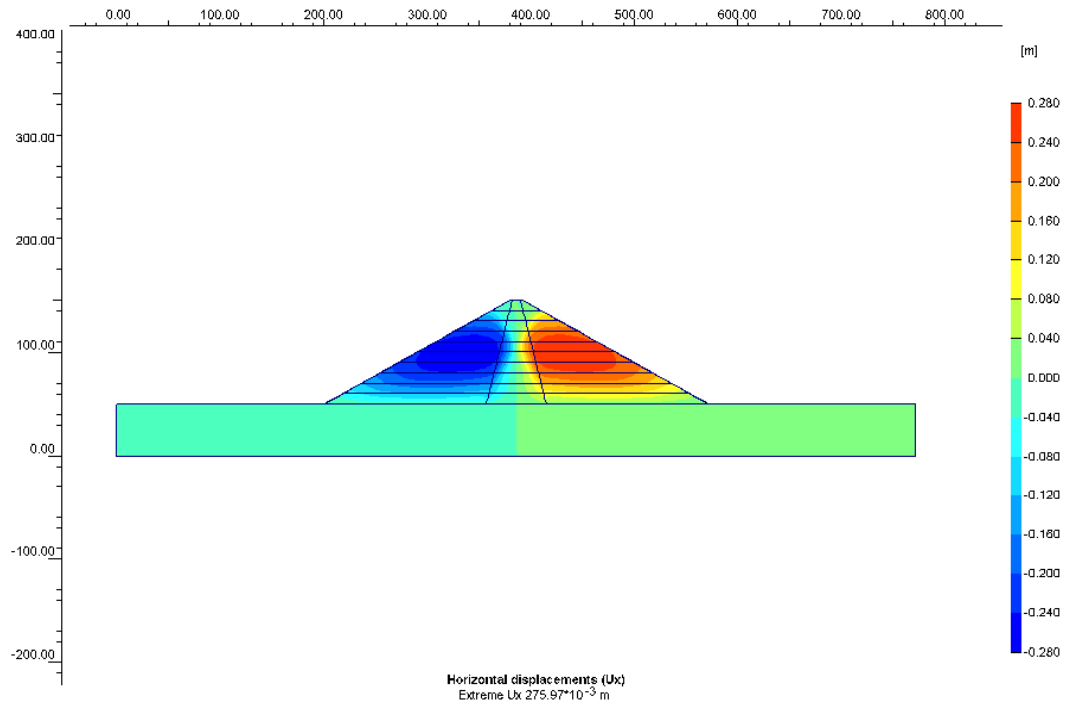
Şekil 5.2' de sağ tarafta ve üst kısmındaki cetveller barajın genişliğini ve yüksekliğini metre olarak göstermektedir.



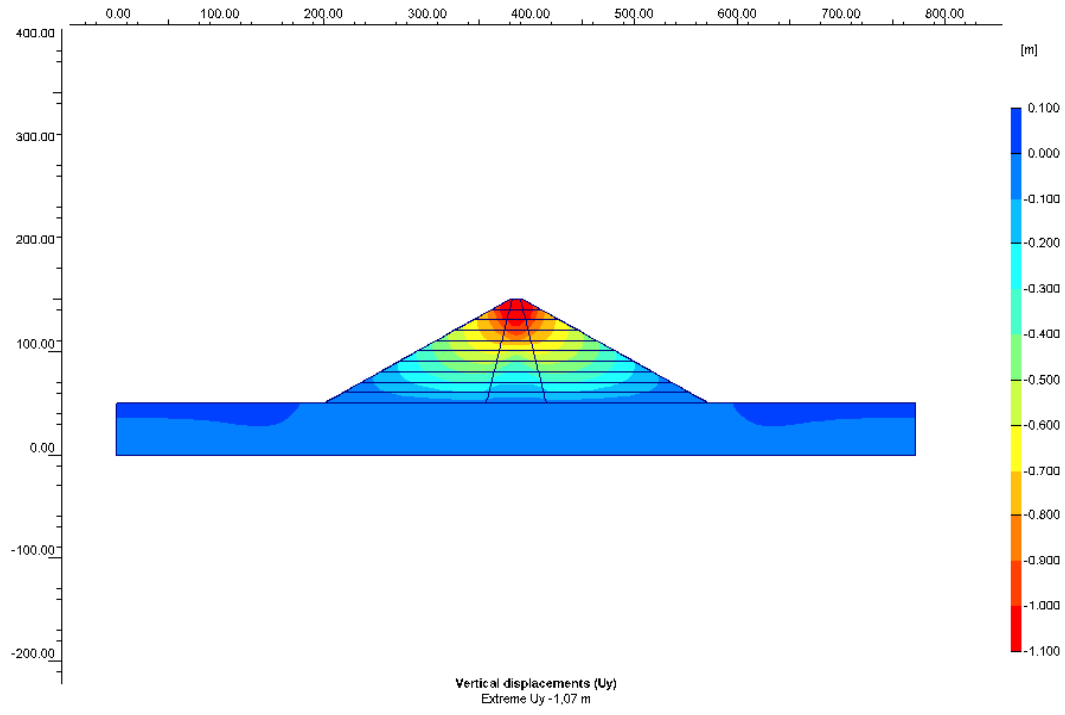
Şekil 5.2 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



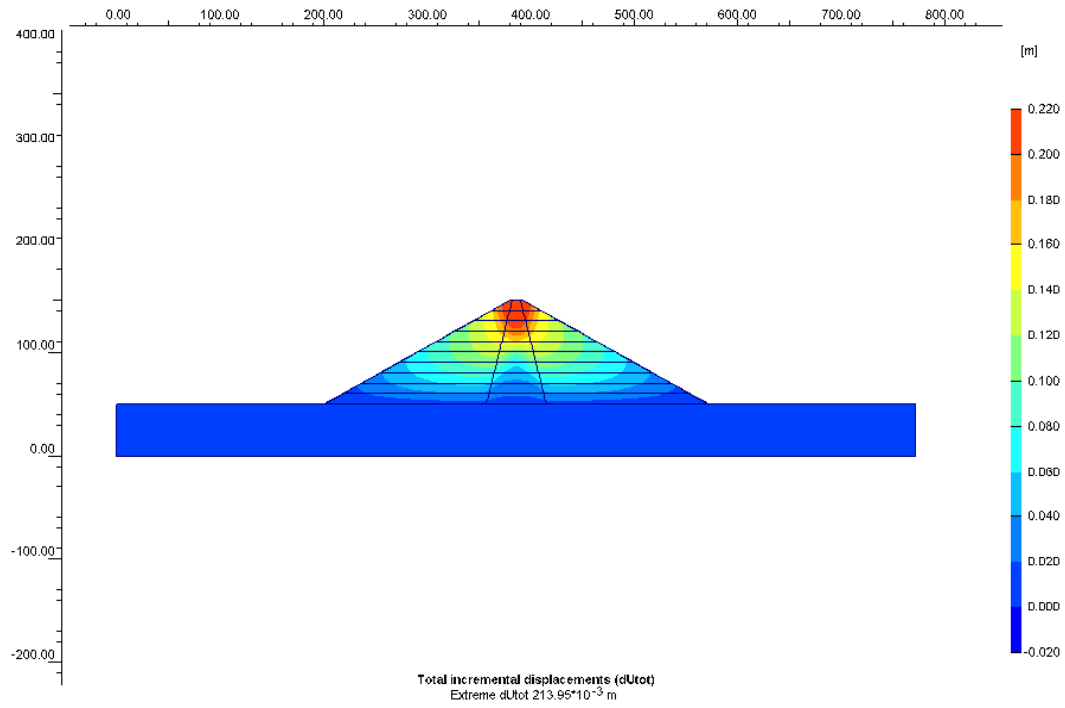
Şekil 5.3 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



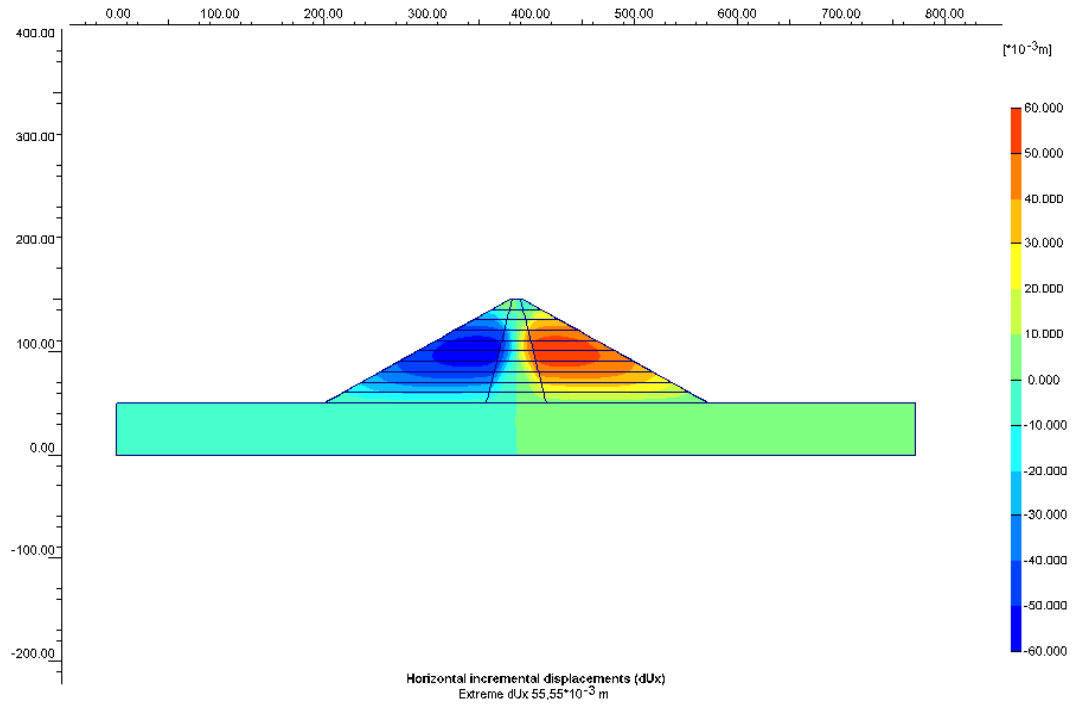
Şekil 5.4 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



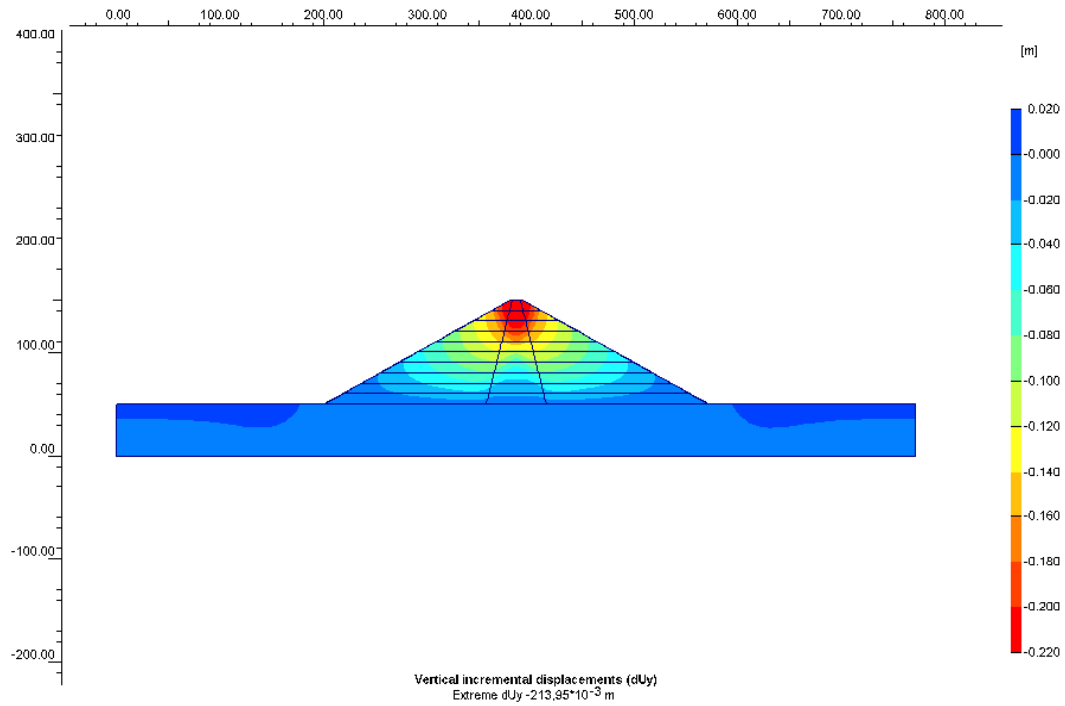
Şekil 5.5 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



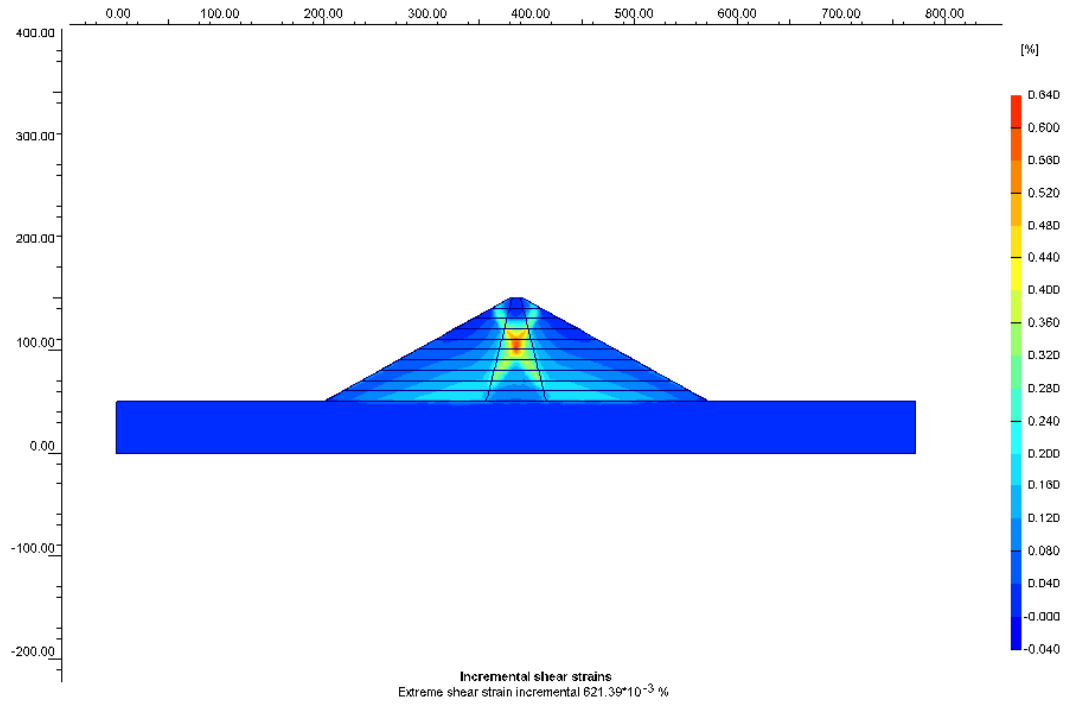
Şekil 5.6 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



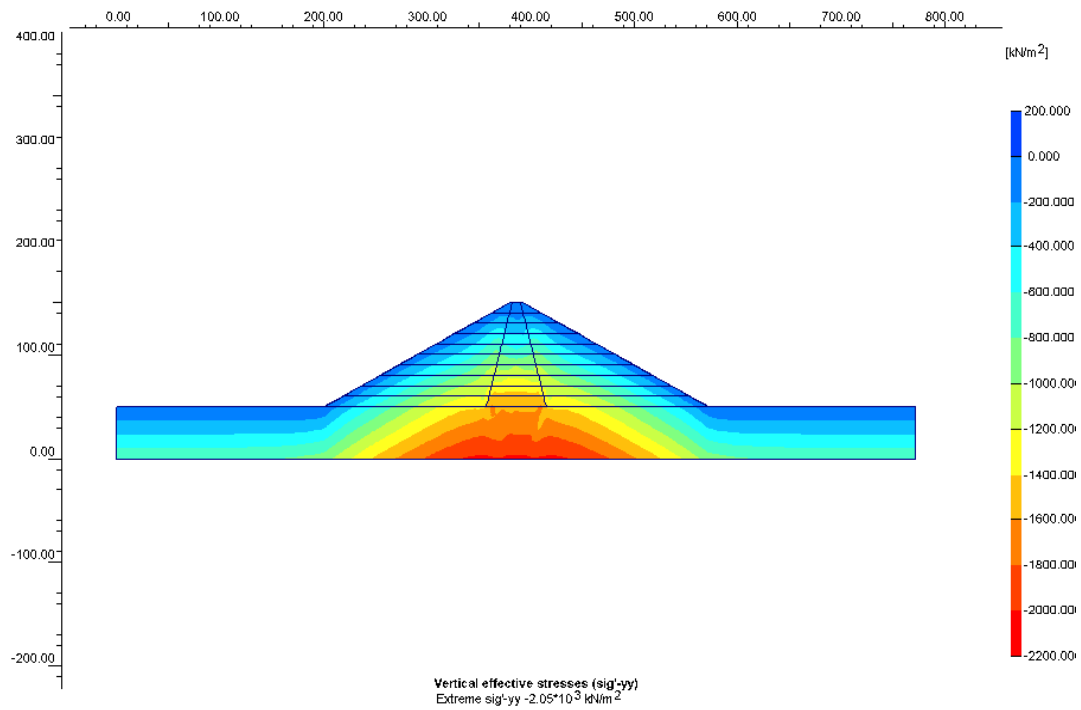
Şekil 5.7 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



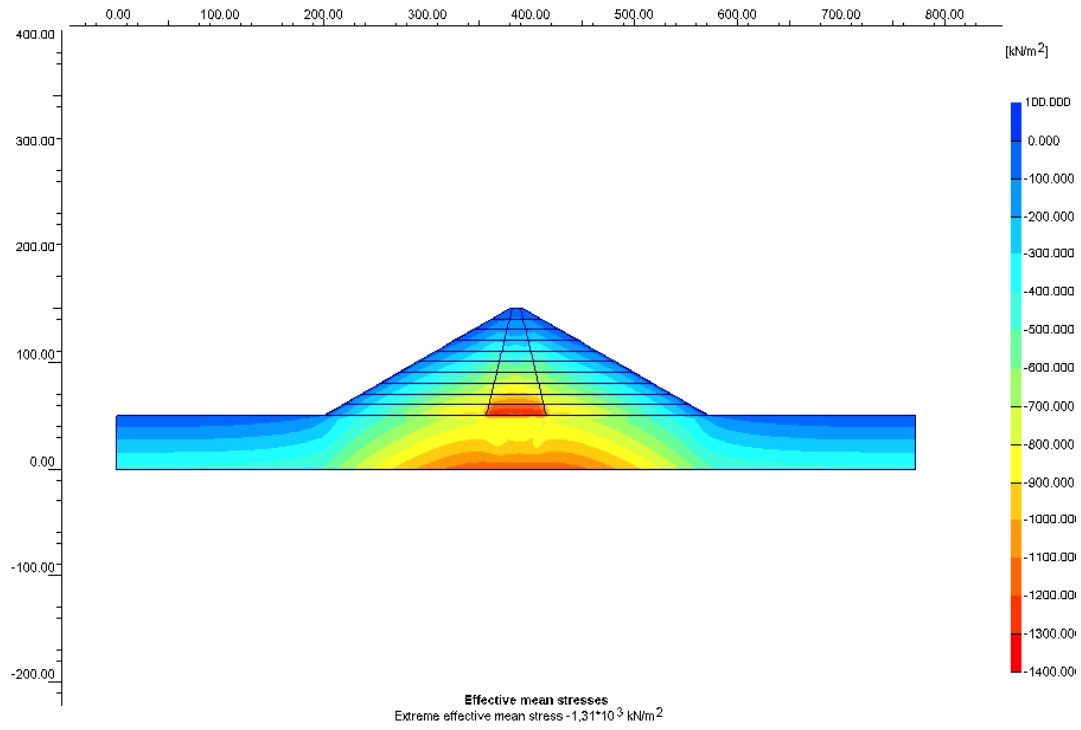
Şekil 5.8 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



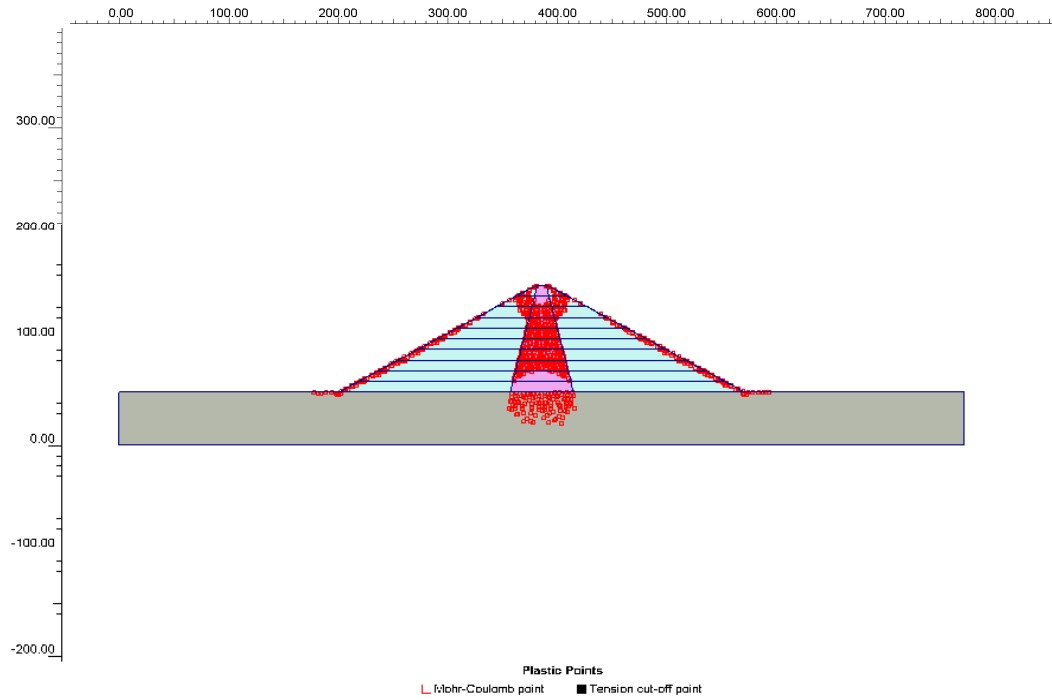
Şekil 5.9 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.10 Etkili gerilmeler



Şekil 5.11 Etkili gerilmeler

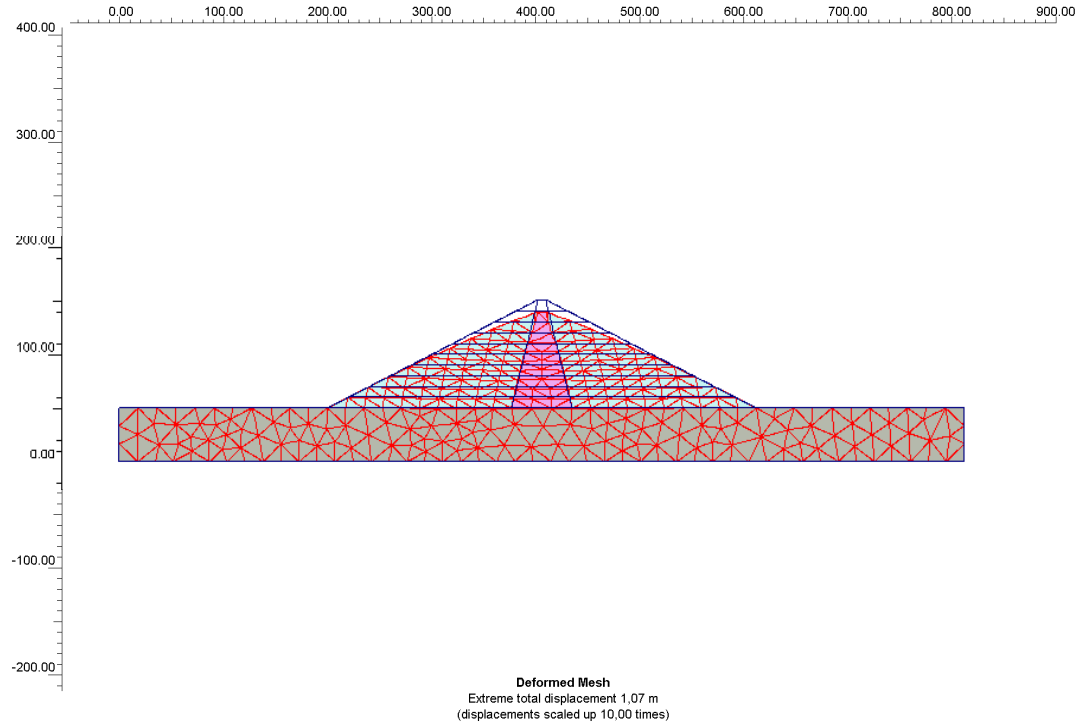


Şekil 5.12 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

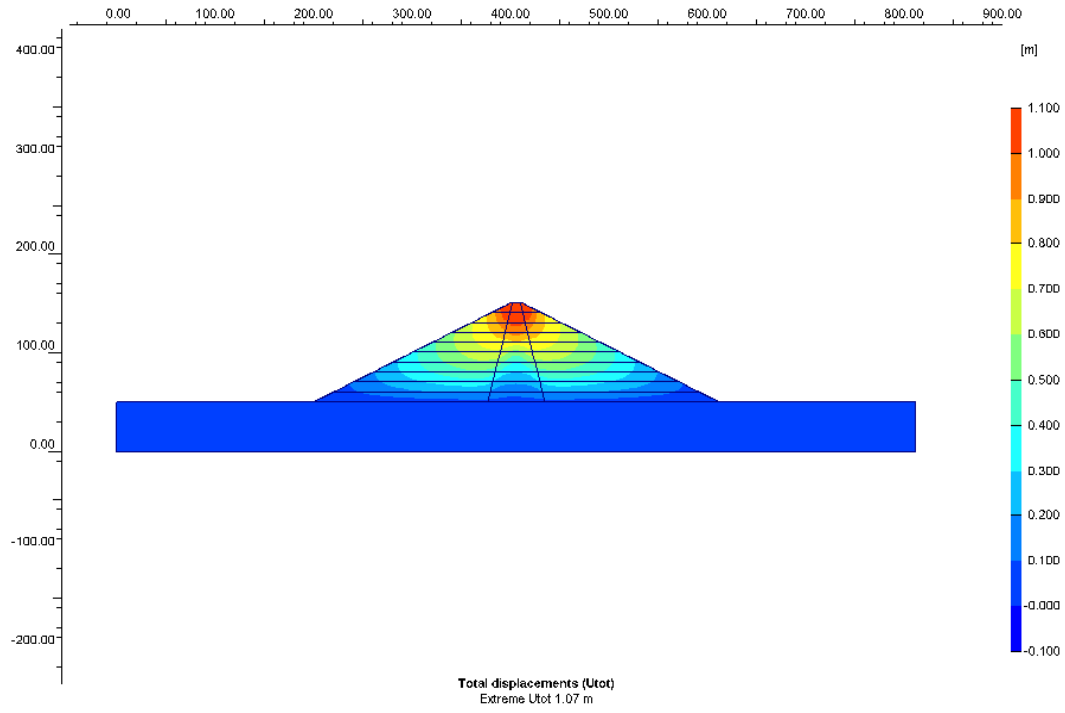
5.2.2. Tip 2 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.13'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

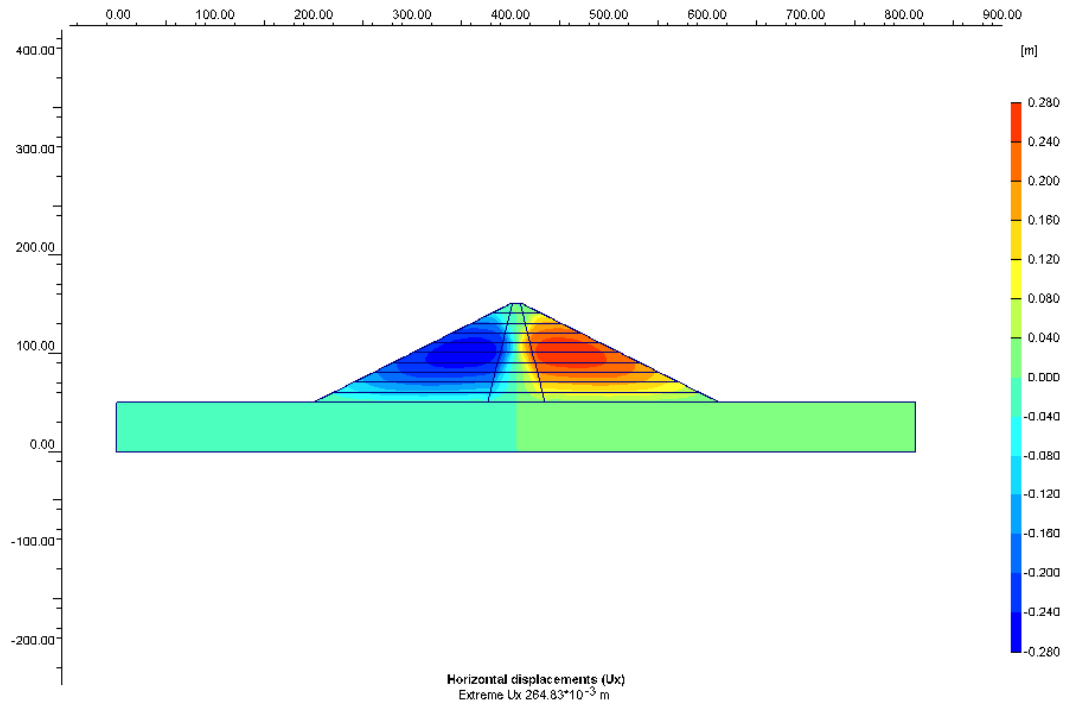
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.



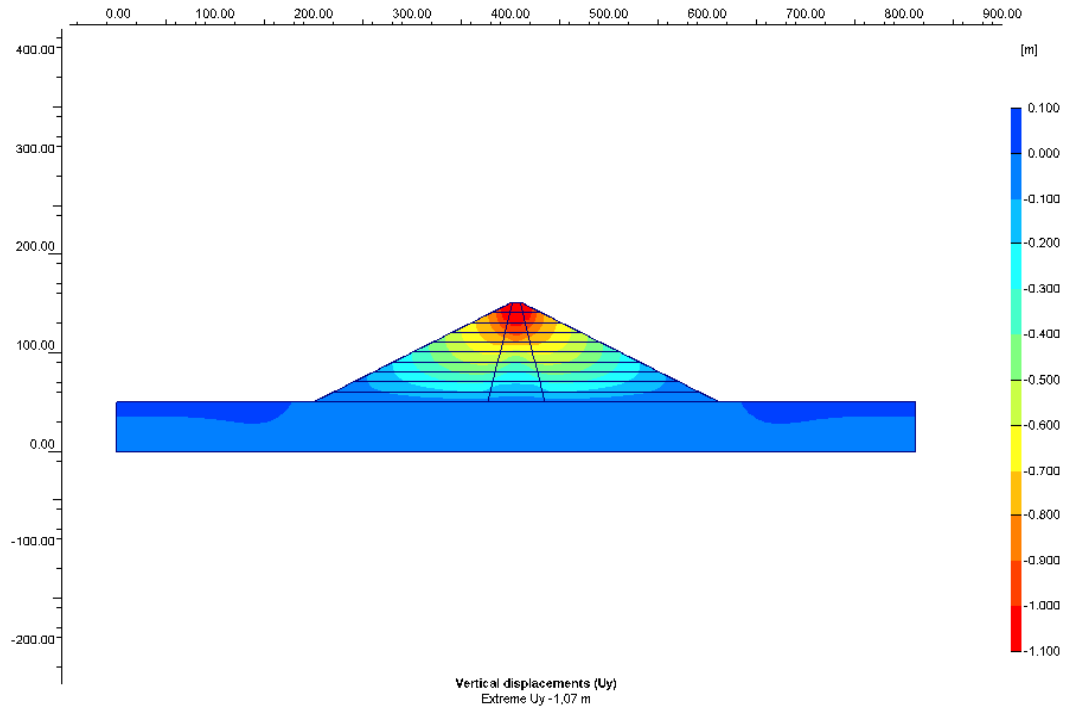
Şekil 5.13 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



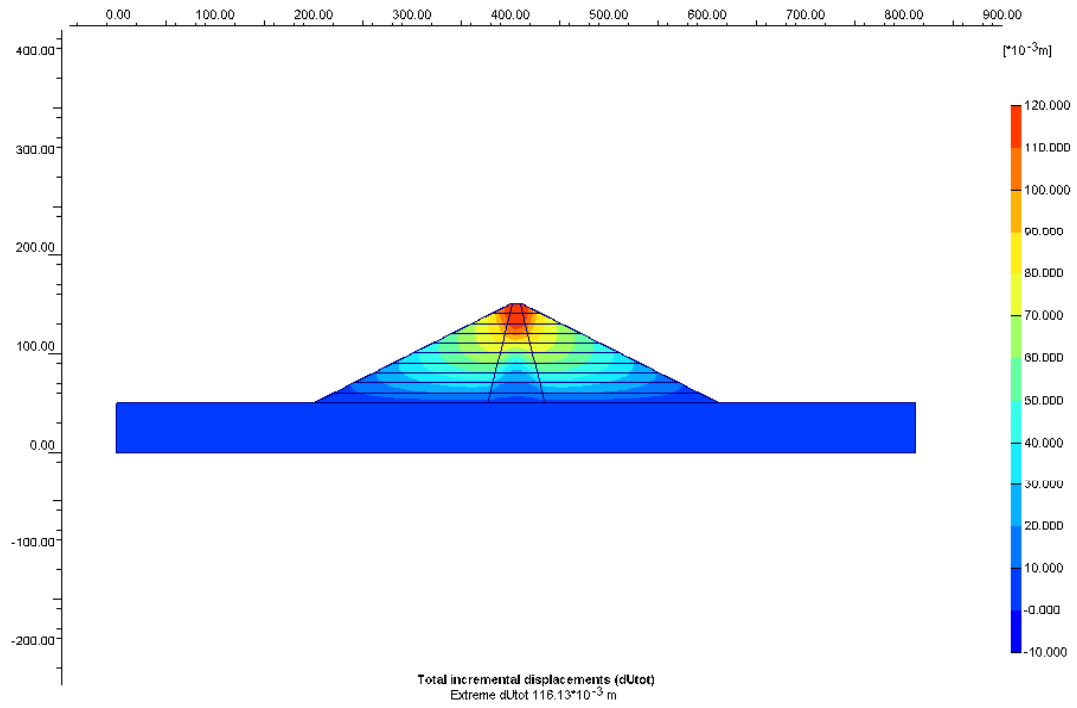
Şekil 5.14 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



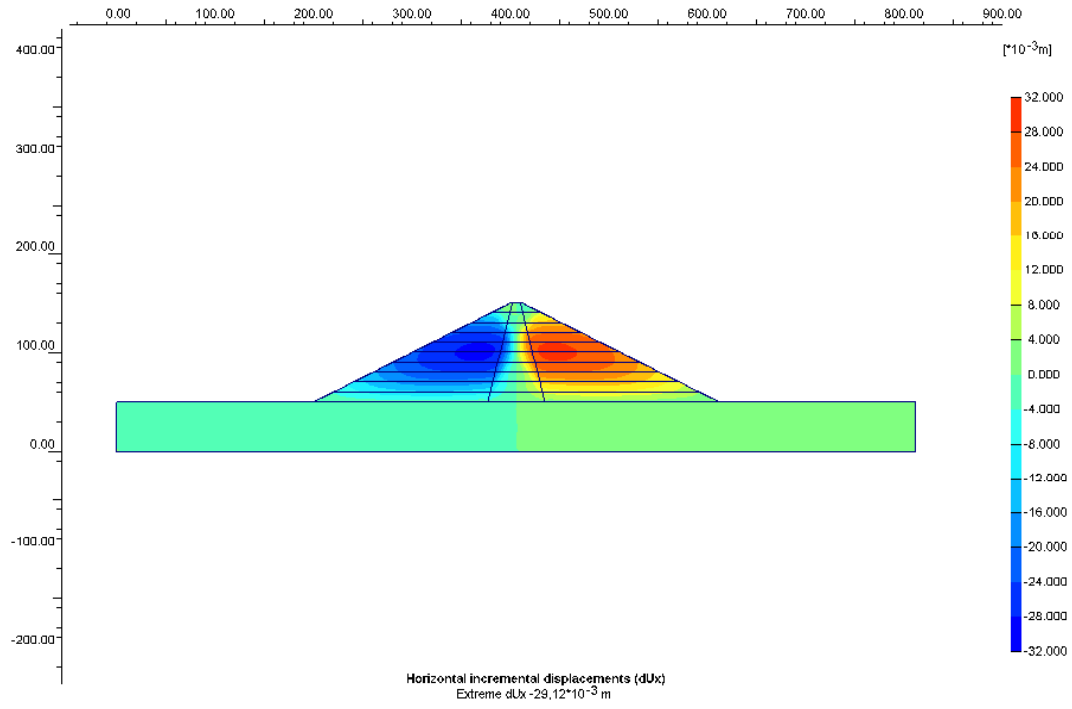
Şekil 5.15 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



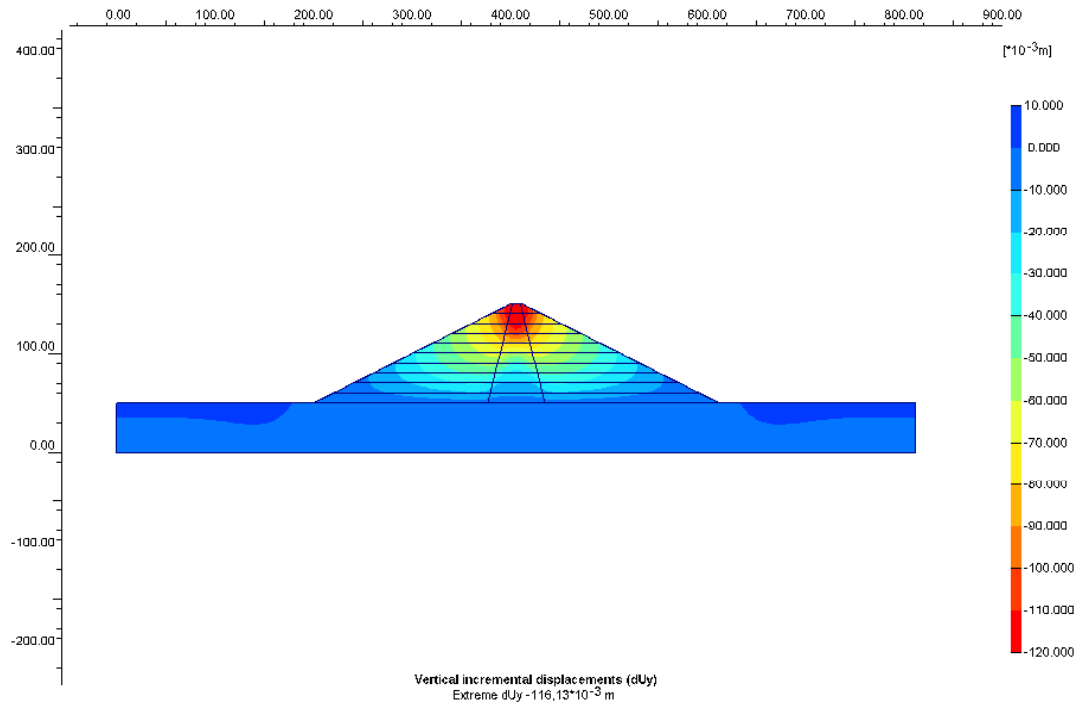
Şekil 5.16 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



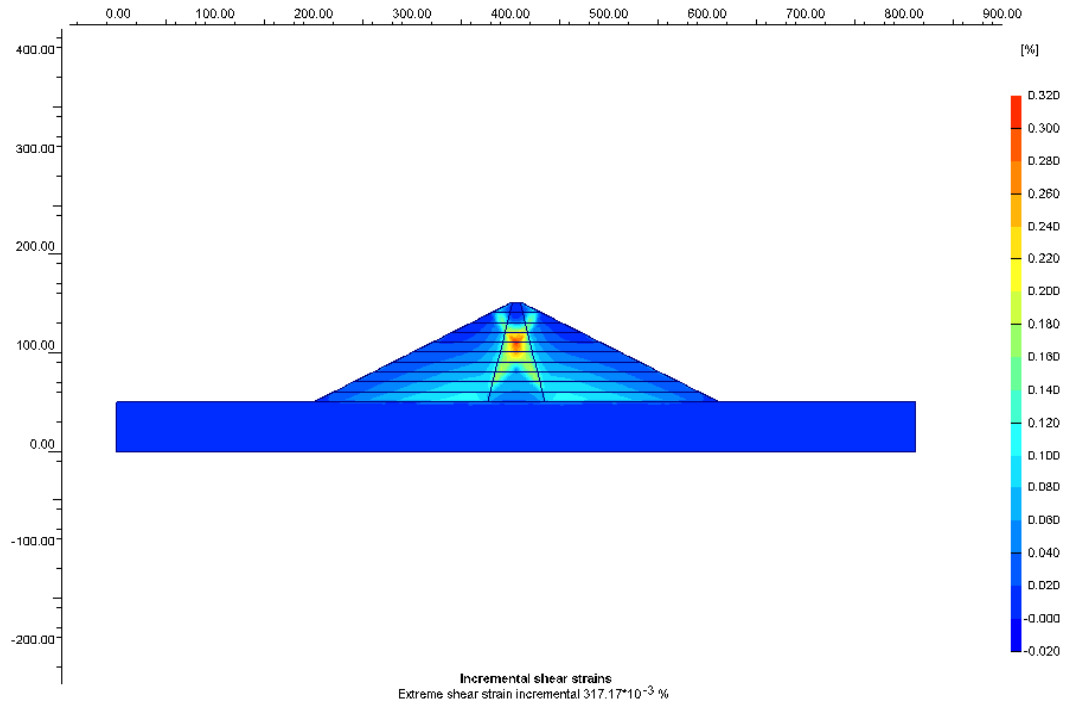
Şekil 5.17 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



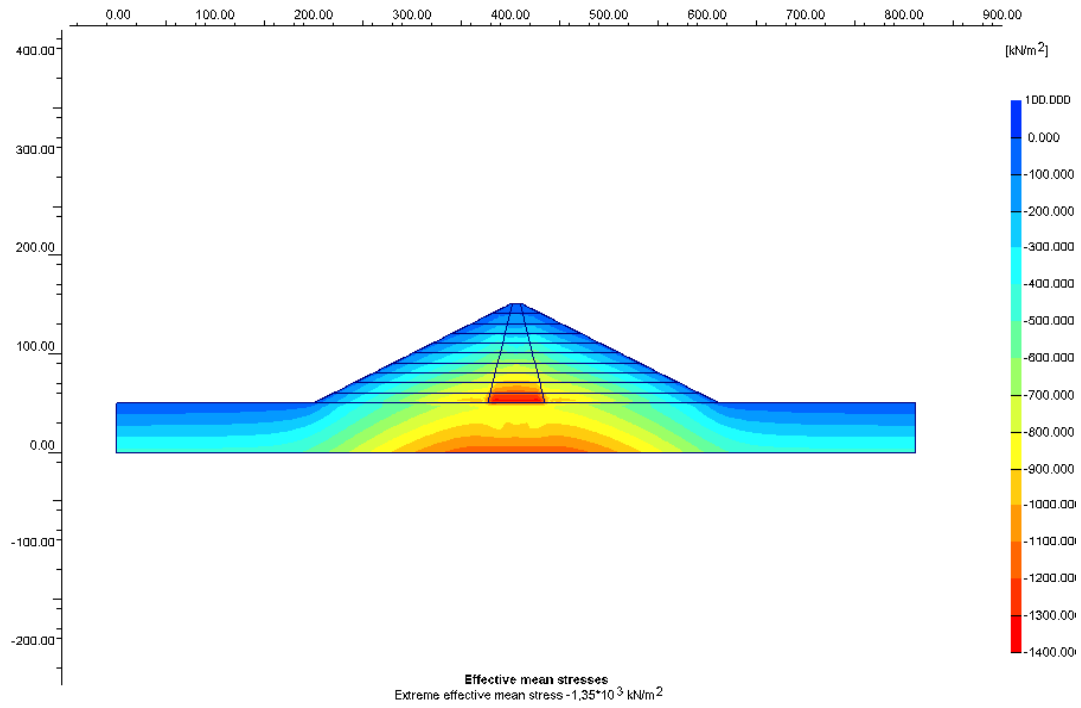
Şekil 5.18 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



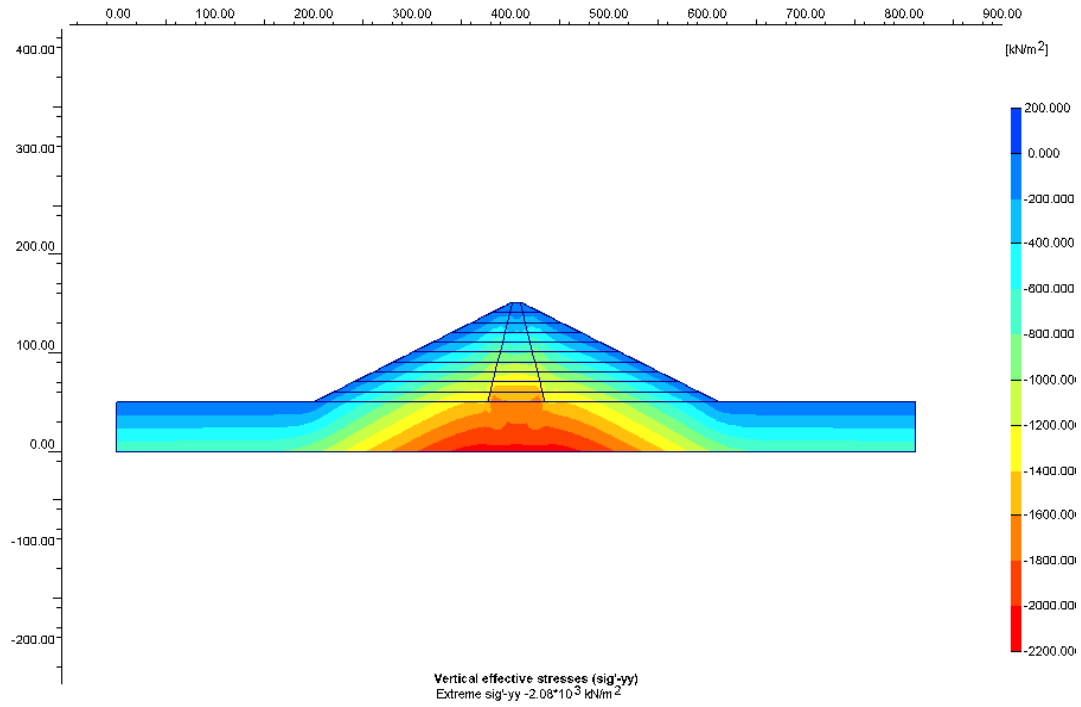
Şekil 5.19 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



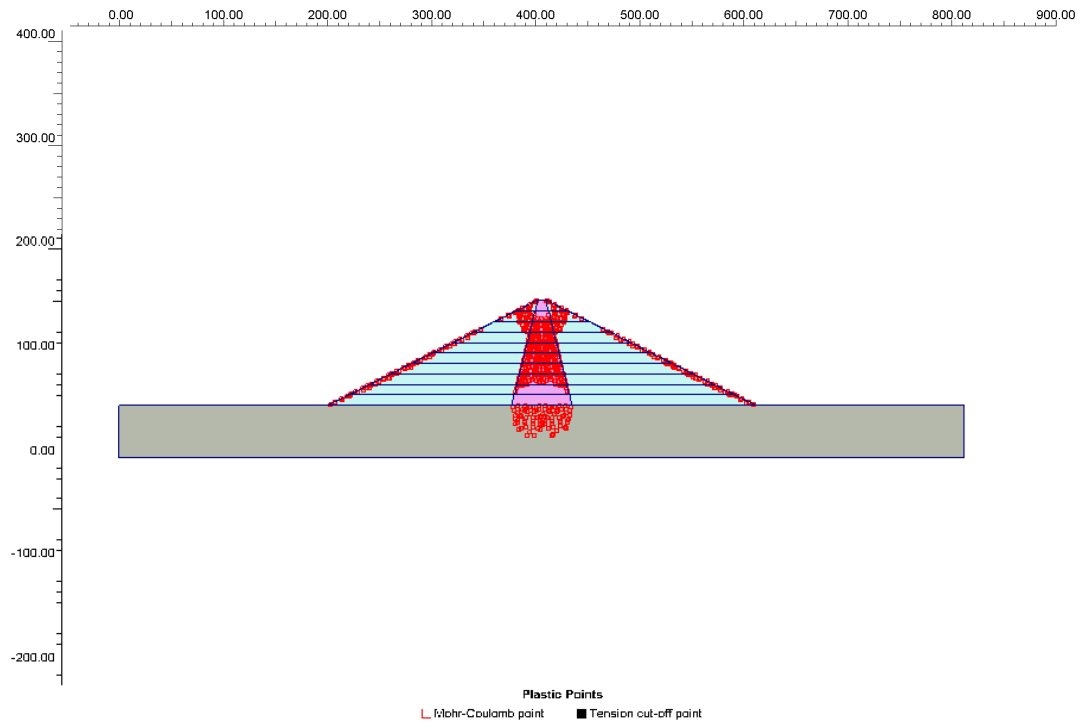
Şekil 5.20 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.21 Etkili gerilmeler



Şekil 5.22 Etkili gerilmeler

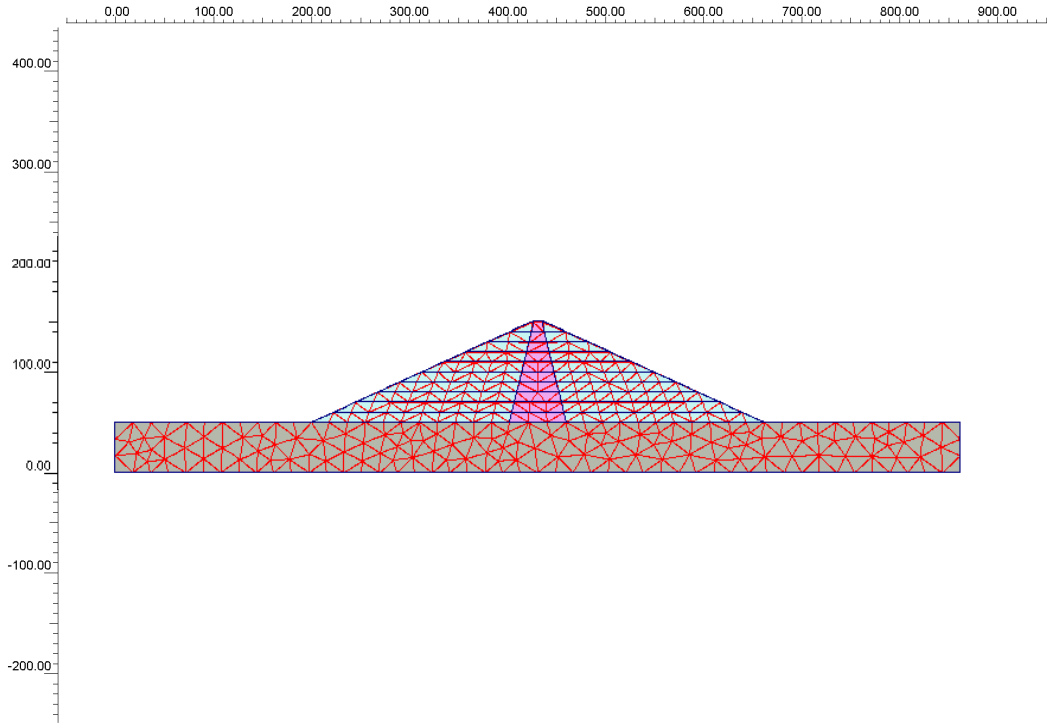


Şekil 5.23 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

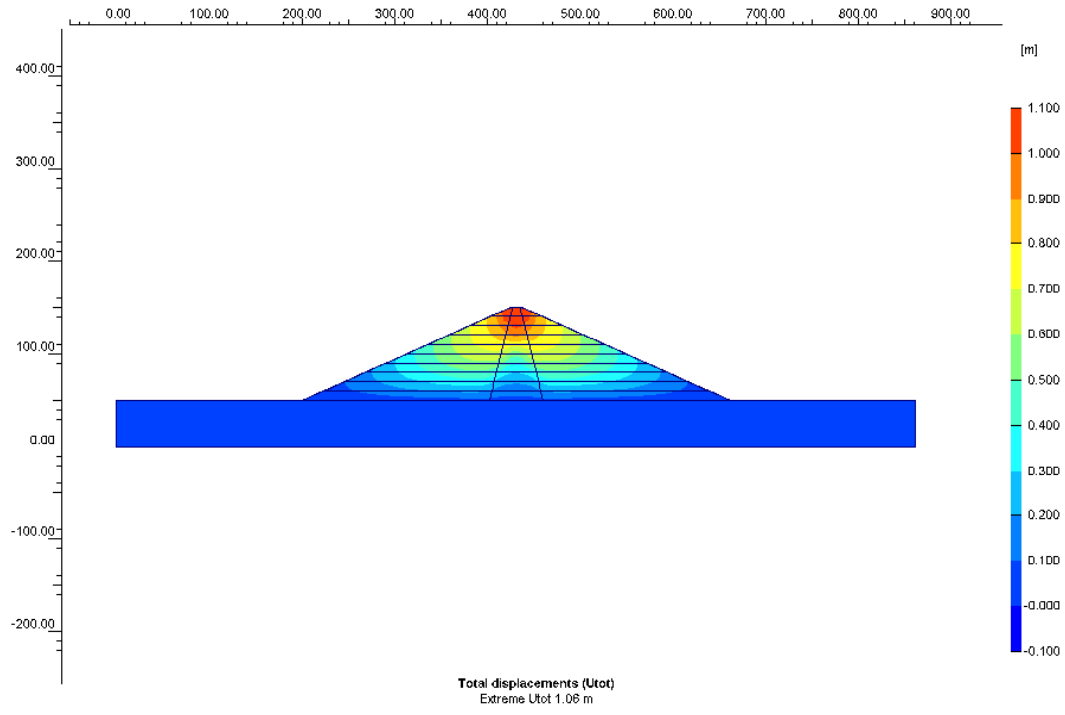
5.2.3. Tip 3 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te 15 düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.24'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

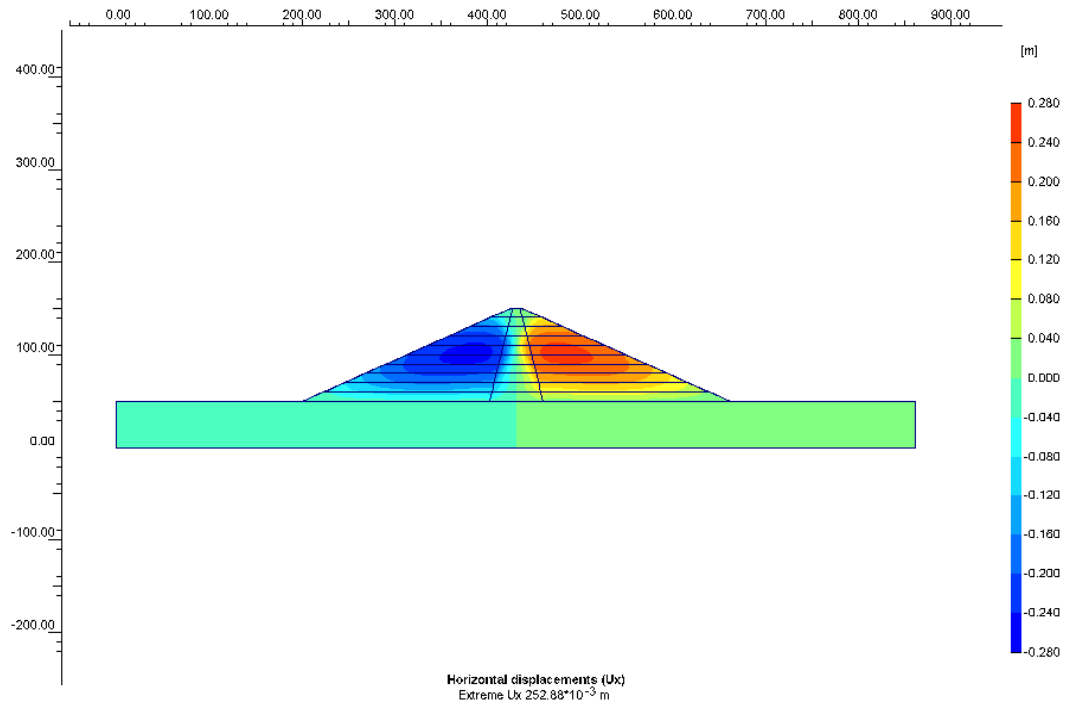
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.



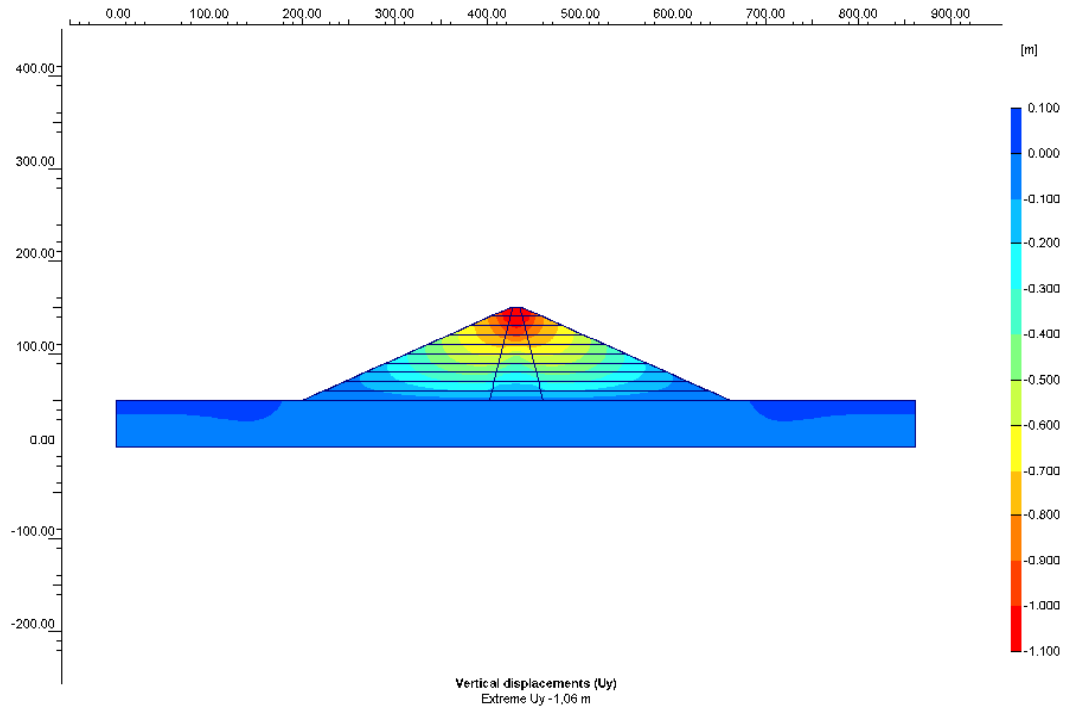
Şekil 5.24 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



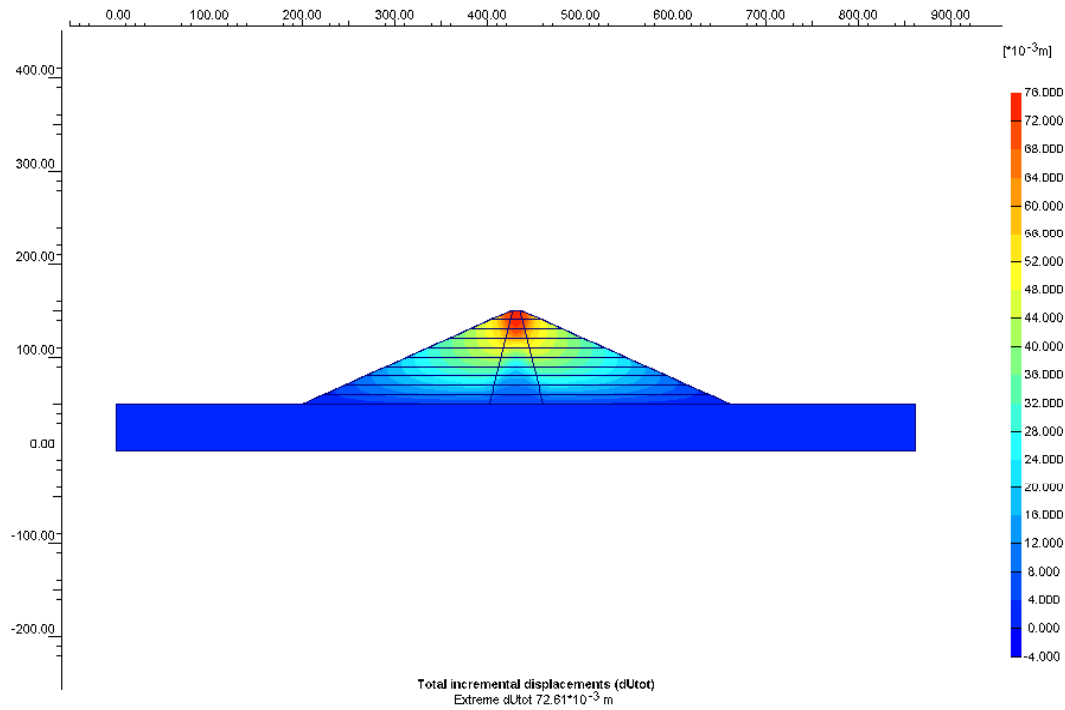
Şekil 5.25 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



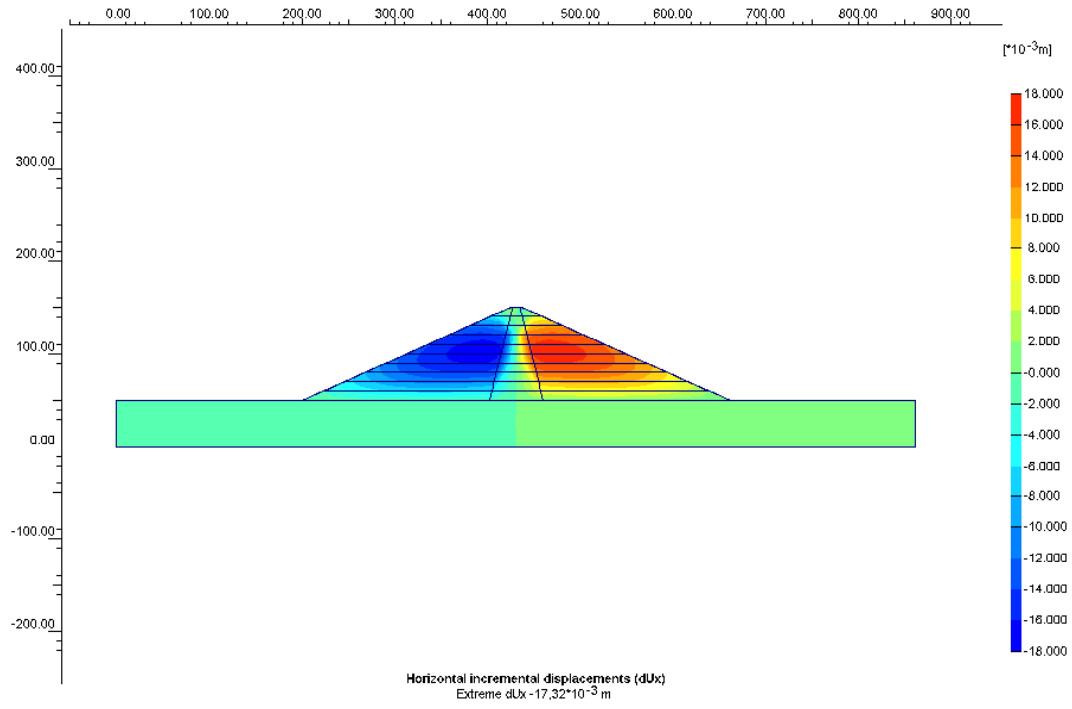
Şekil 5.26 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



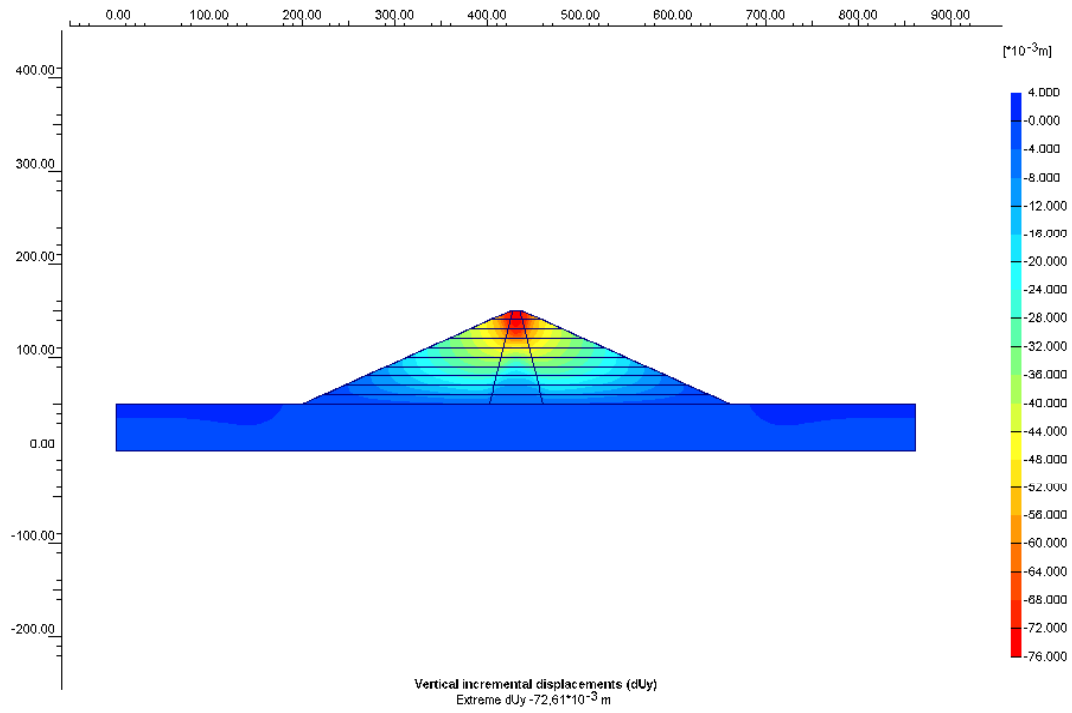
Şekil 5.27 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



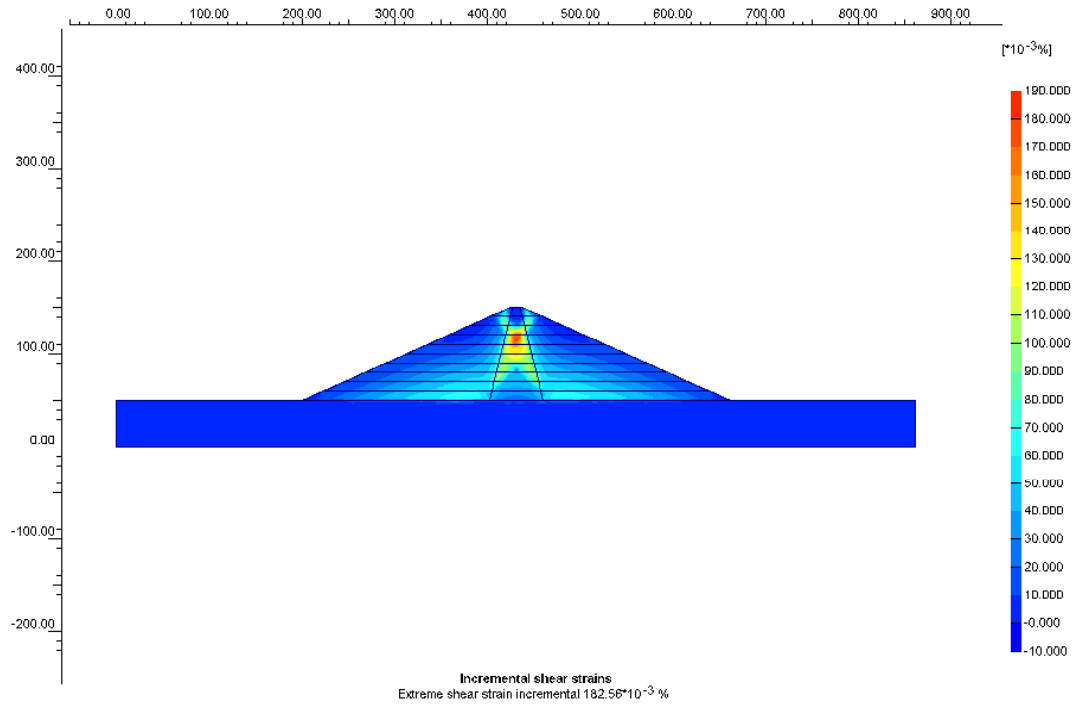
Şekil 5.28 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



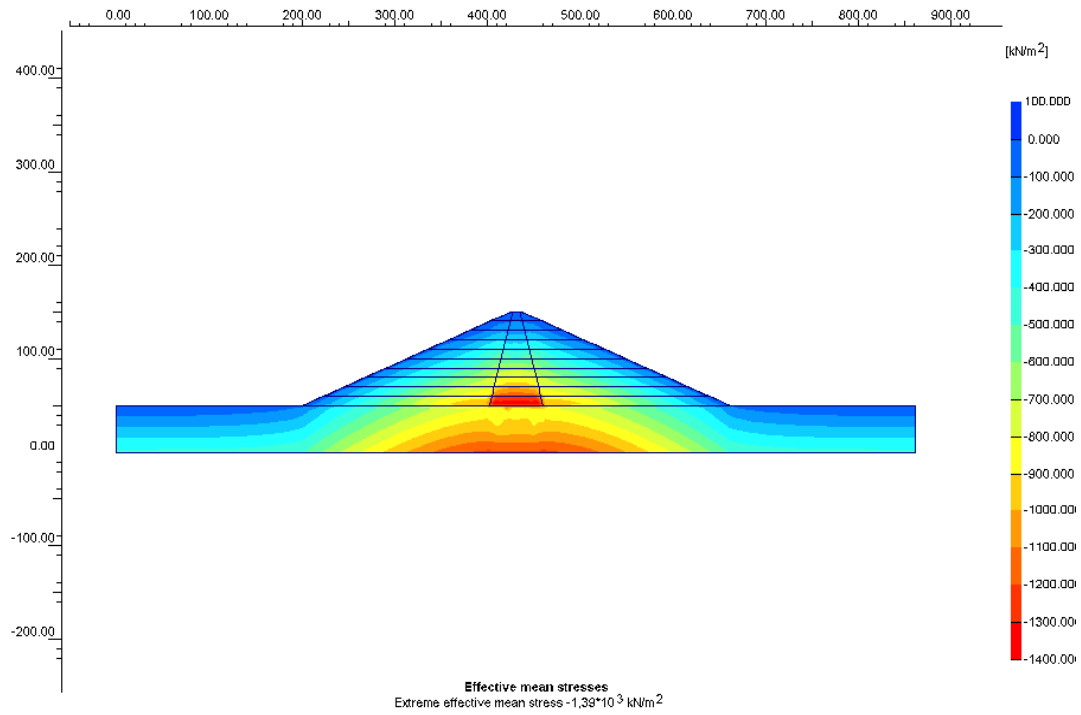
Şekil 5.29 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



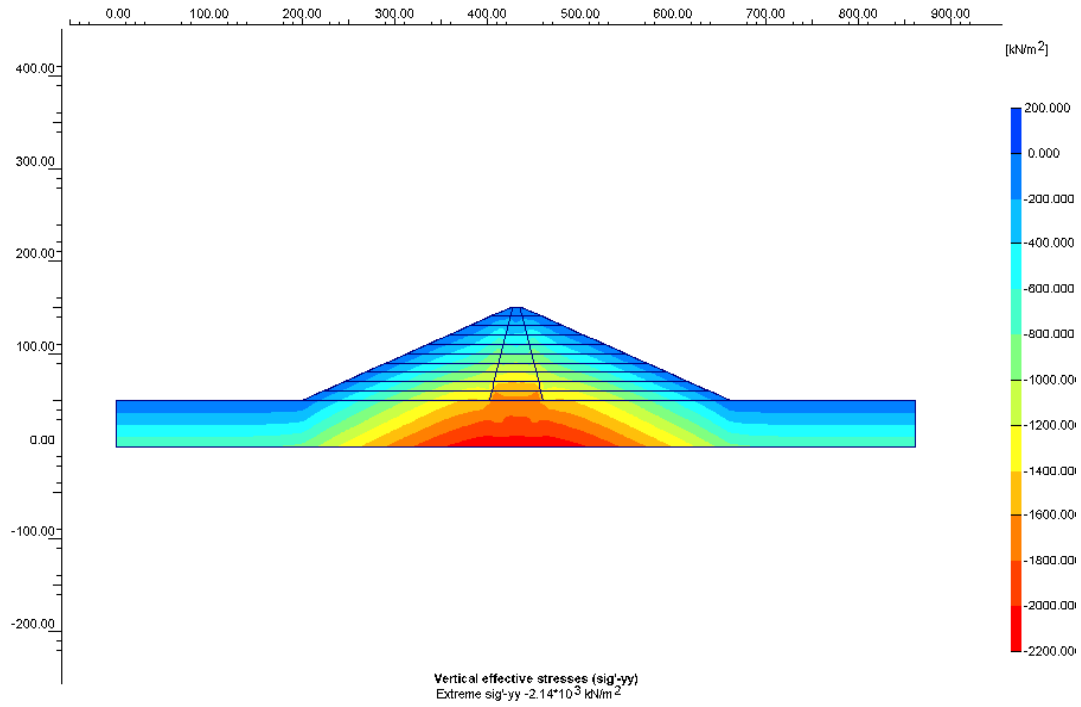
Şekil 5.30 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



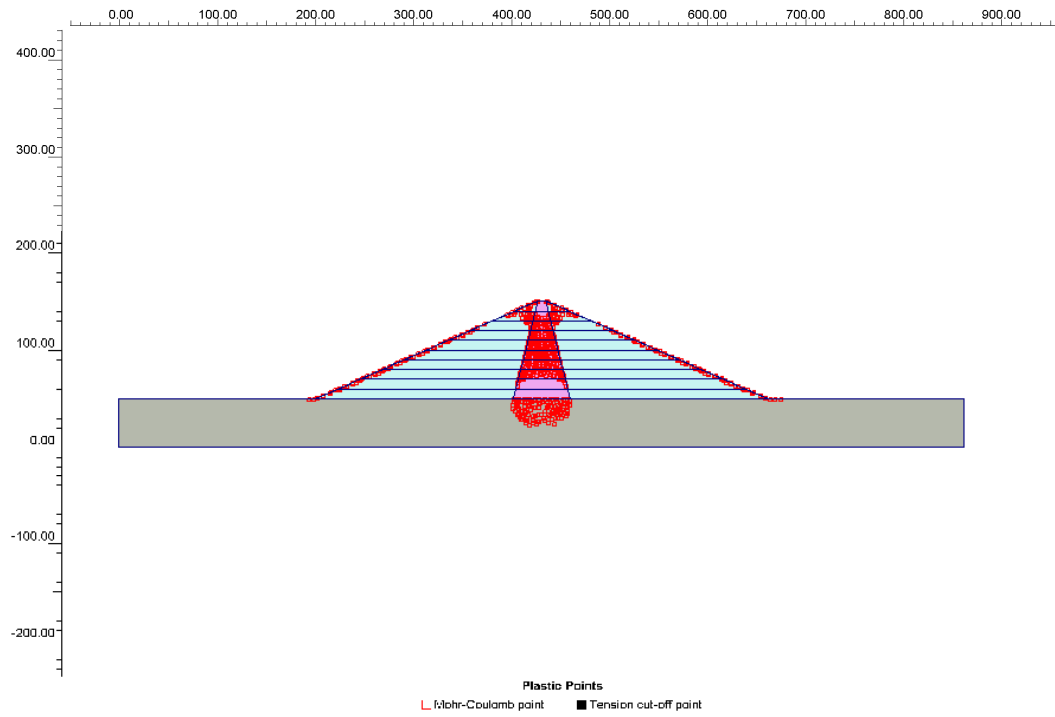
Şekil 5.31 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.32 Etkili gerilmeler



Şekil 5.33 Etkili gerilmeler

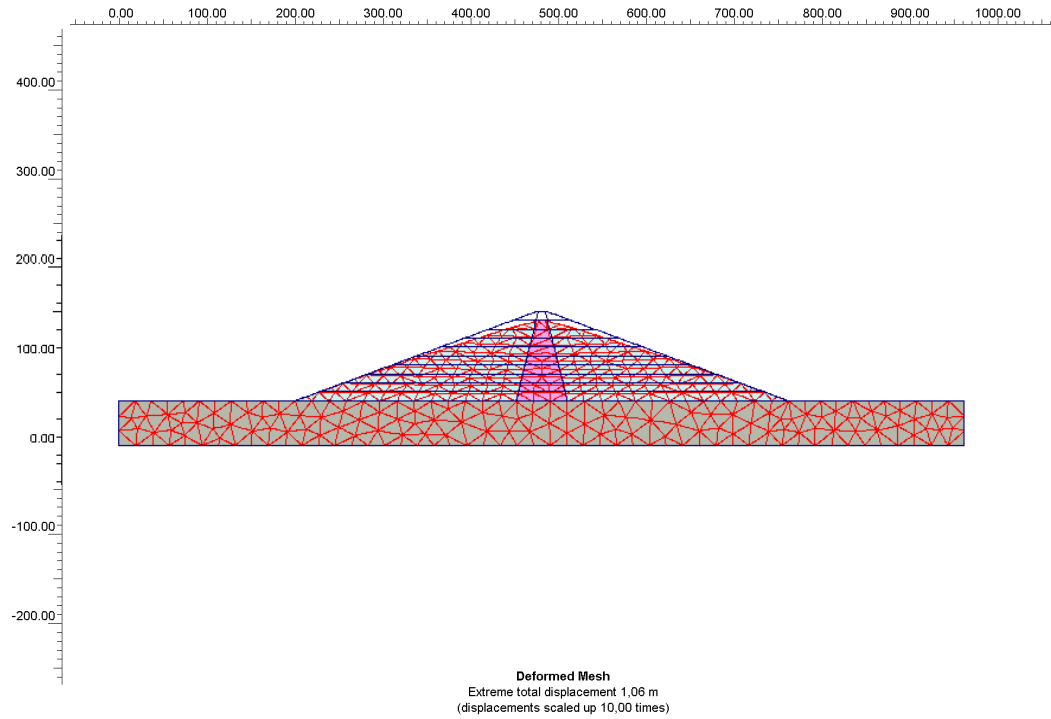


Şekil 5.34 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

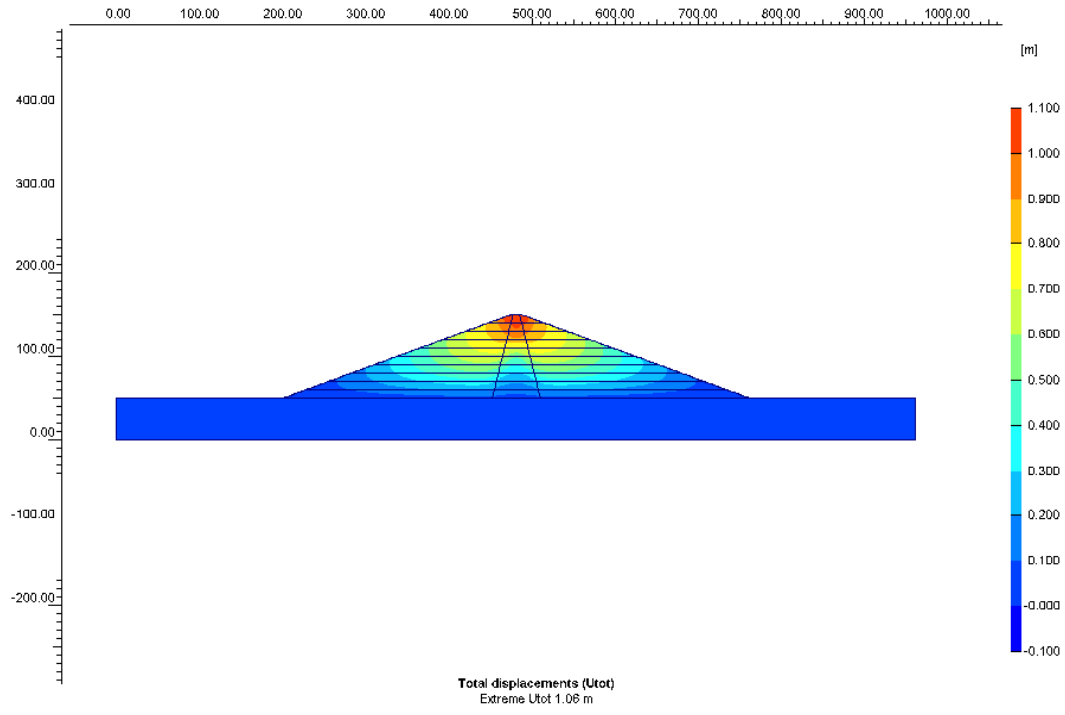
5.2.4. Tip 4 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.35'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

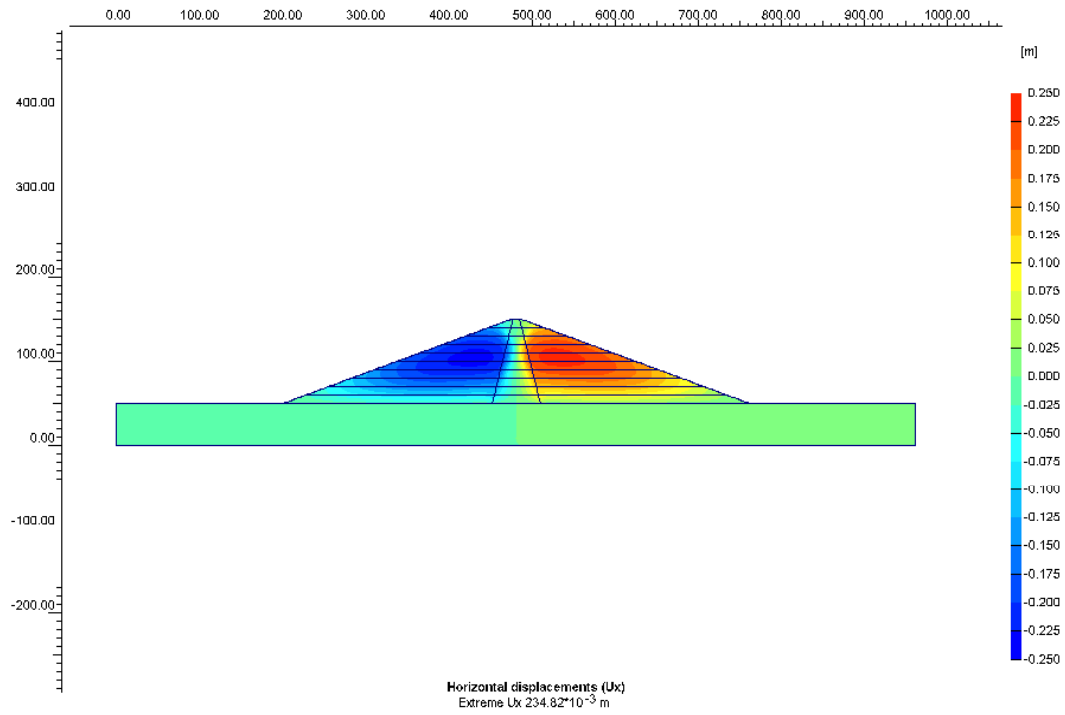
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.



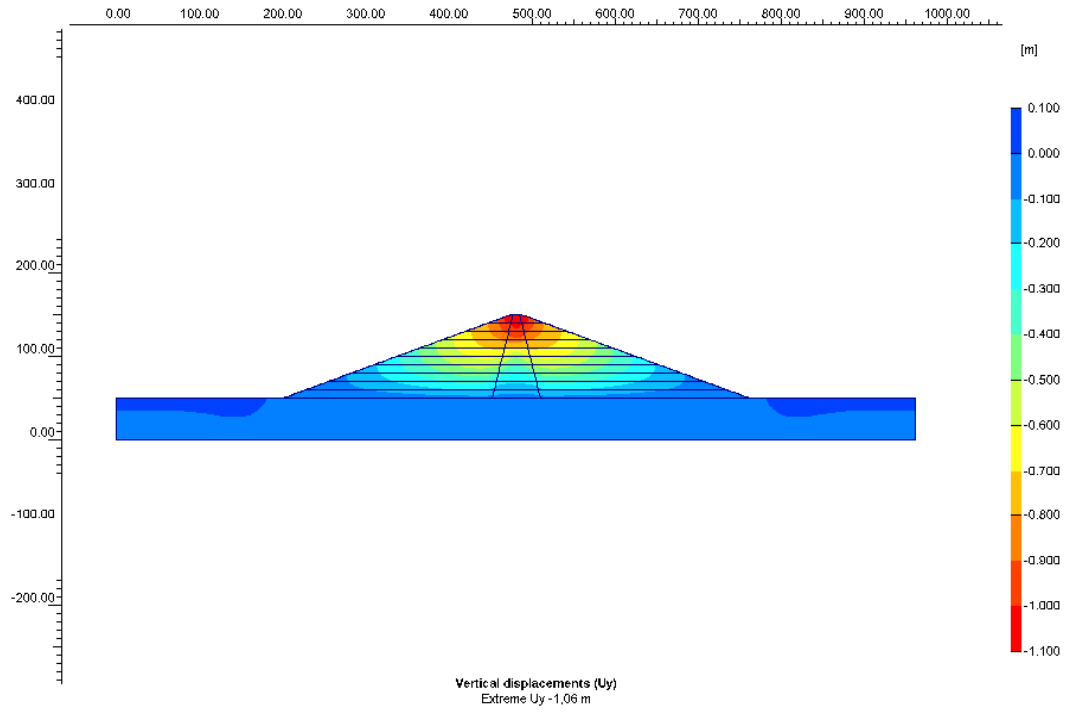
Şekil 5.35 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



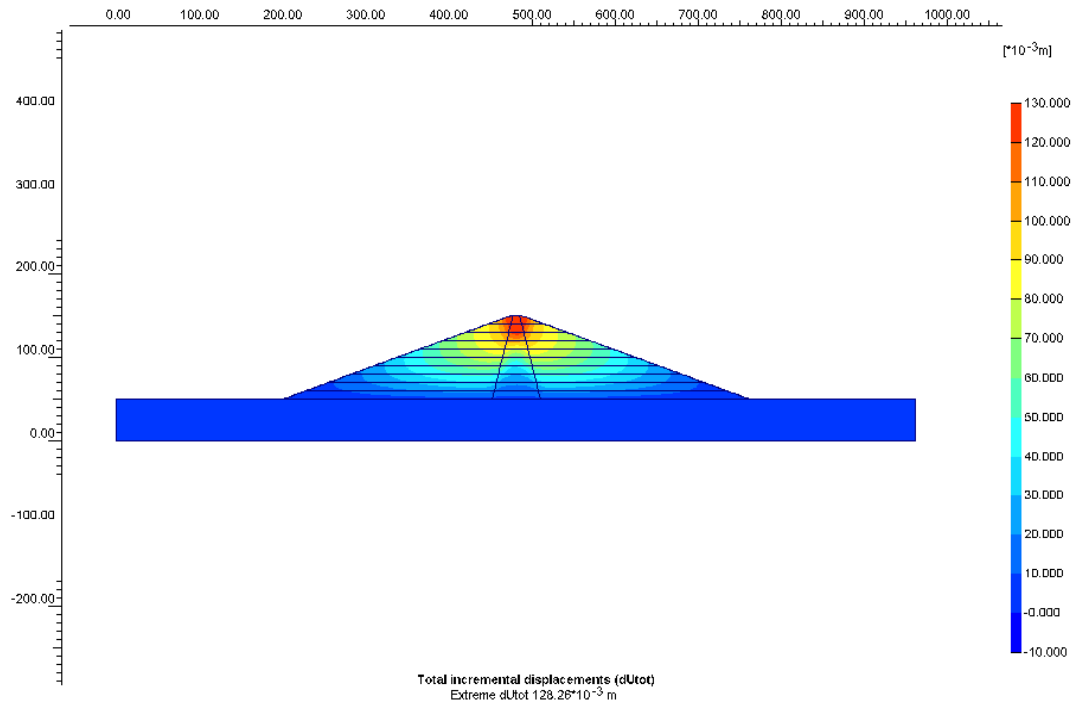
Şekil 5.36 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



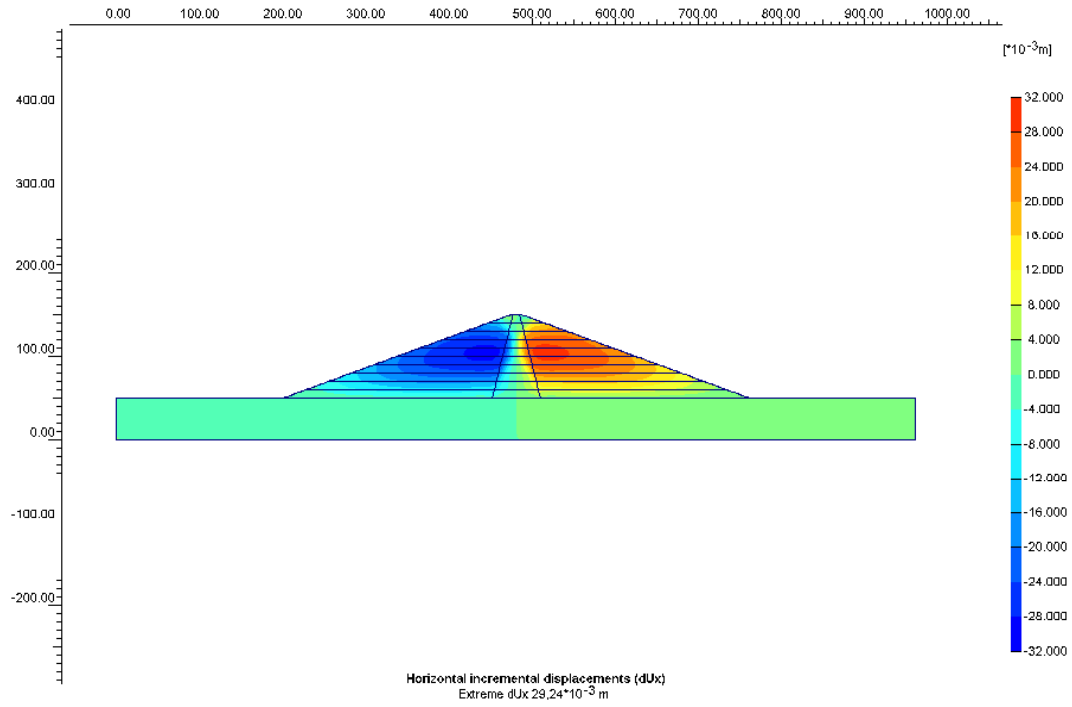
Şekil 5.37 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



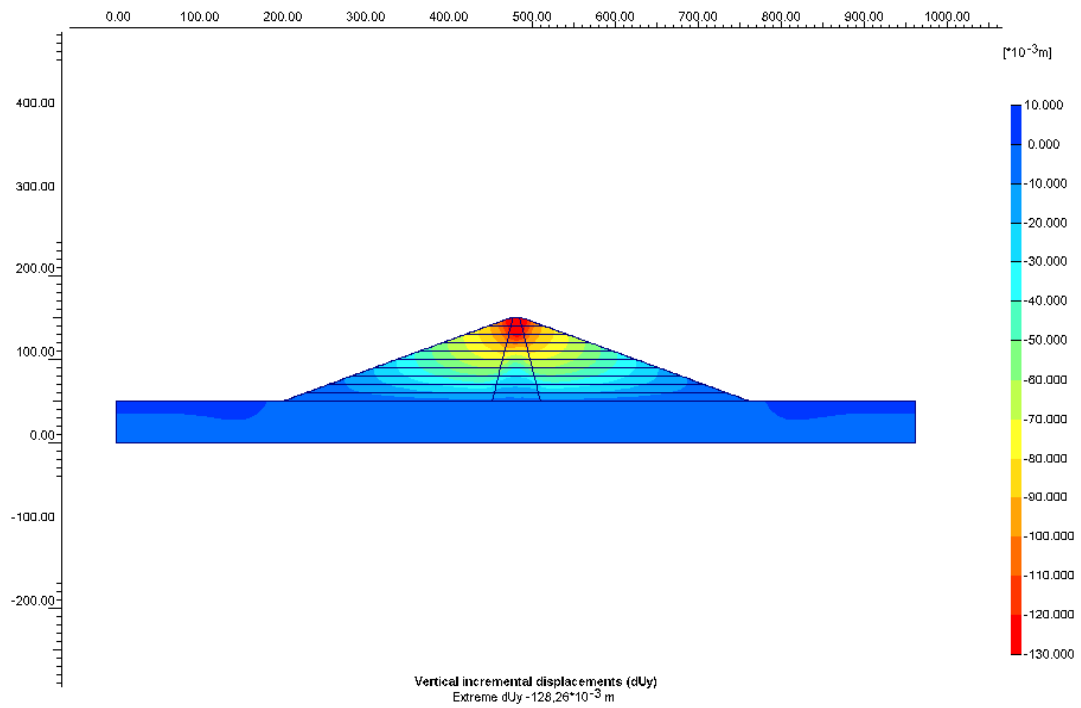
Şekil 5.38 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



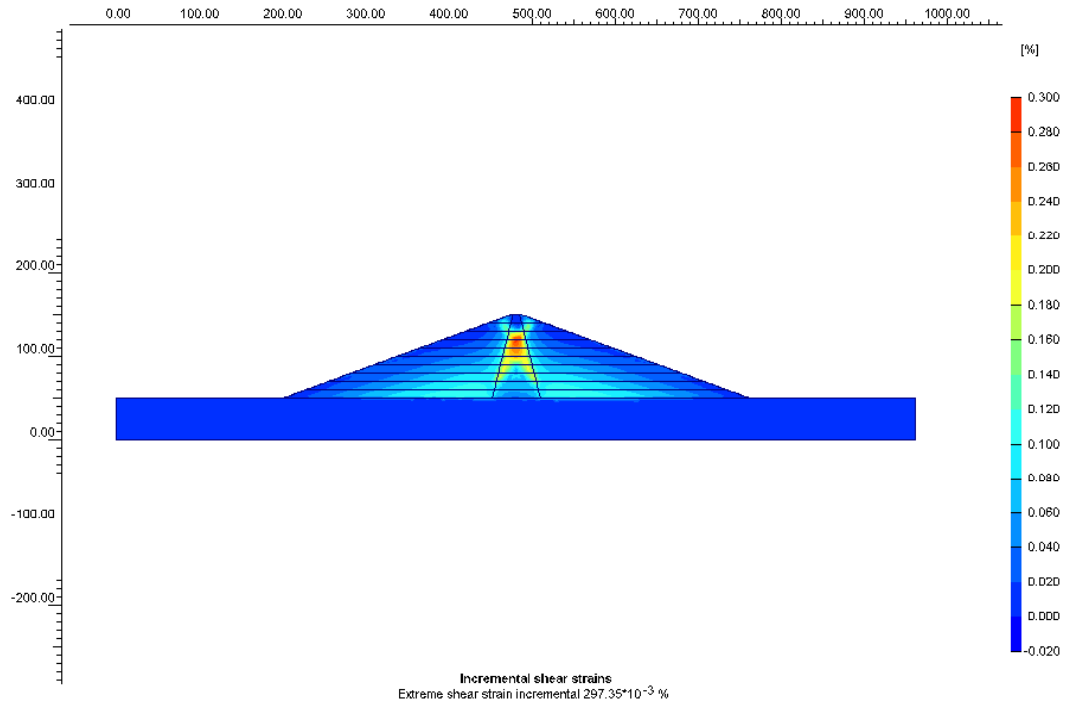
Şekil 5.39 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



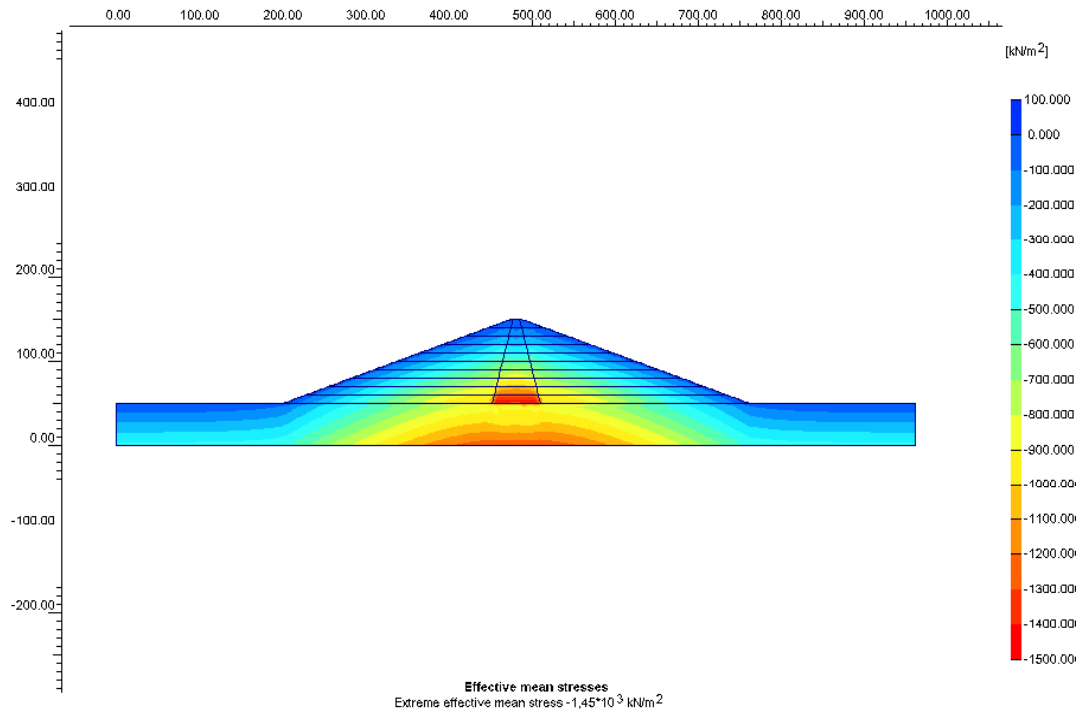
Şekil 5.40 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



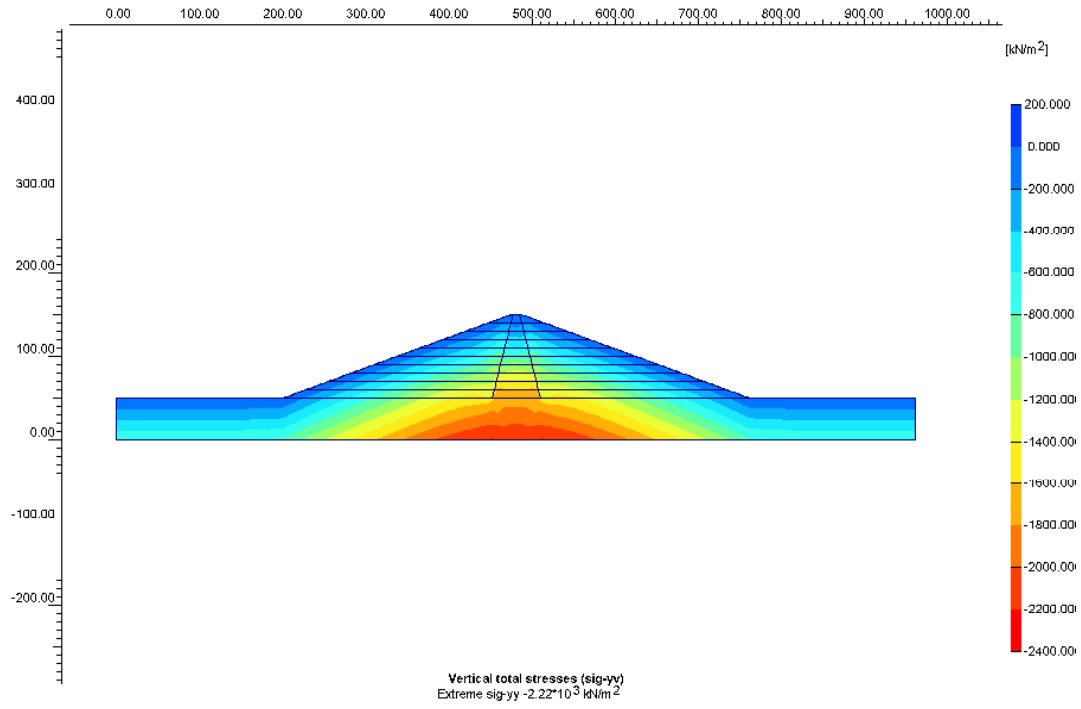
Şekil 5.41 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



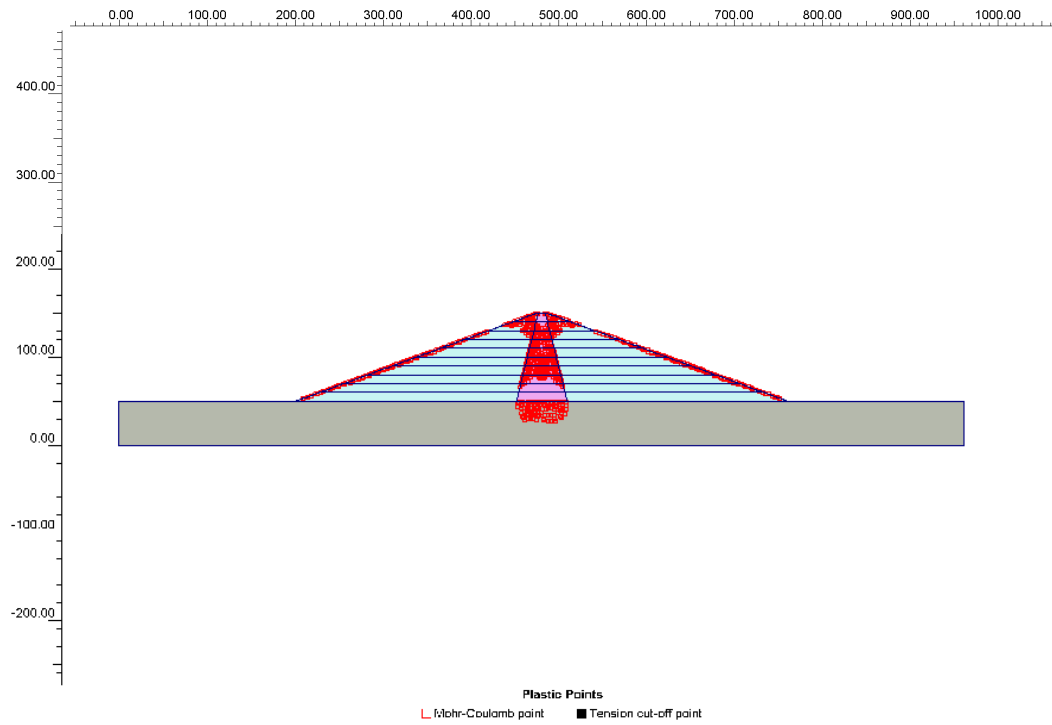
Şekil 5.42 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.43 Etkili gerilmeler



Şekil 5.44 Etkili gerilmeler

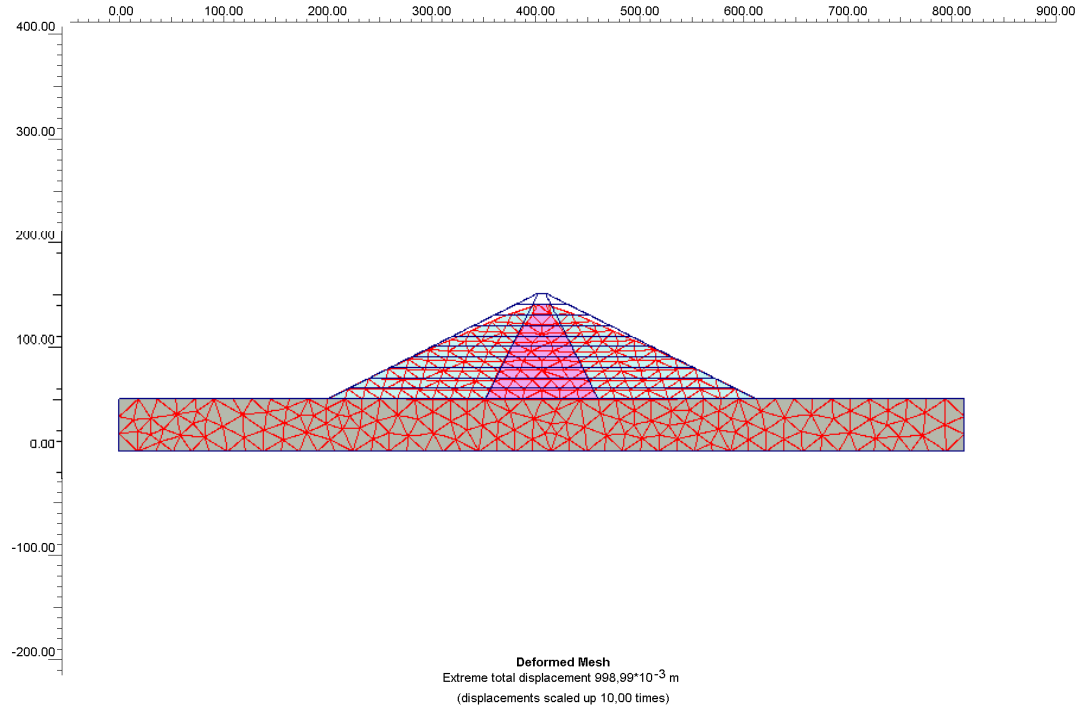


Şekil 5.45 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

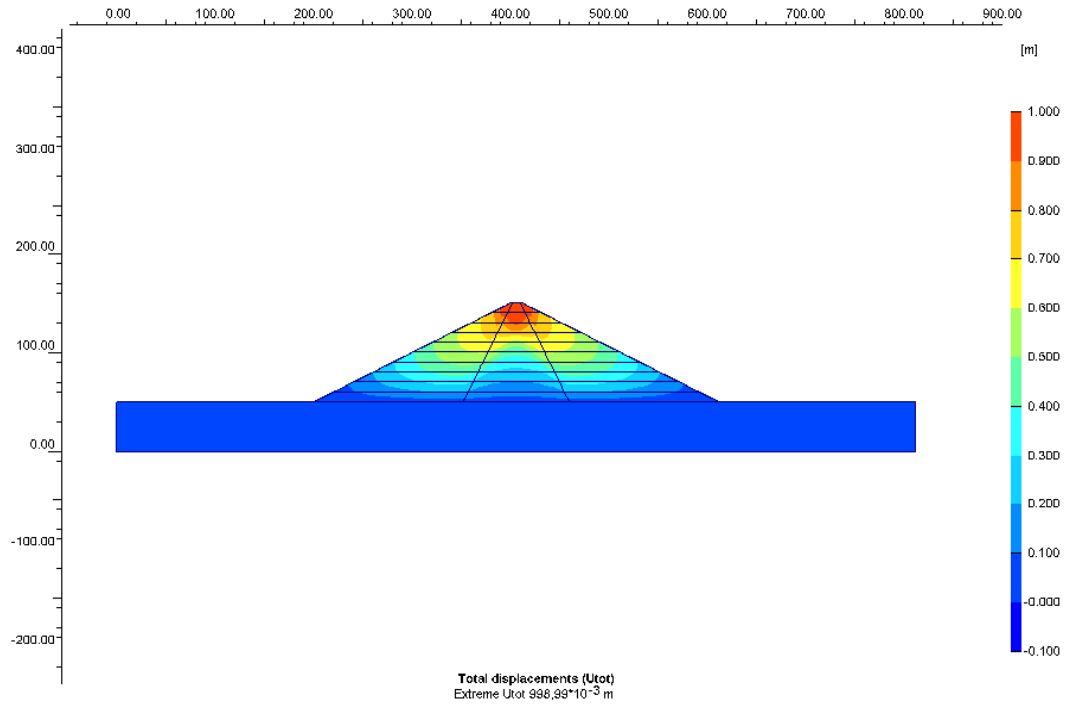
5.2.5. Tip 5 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.46'da görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

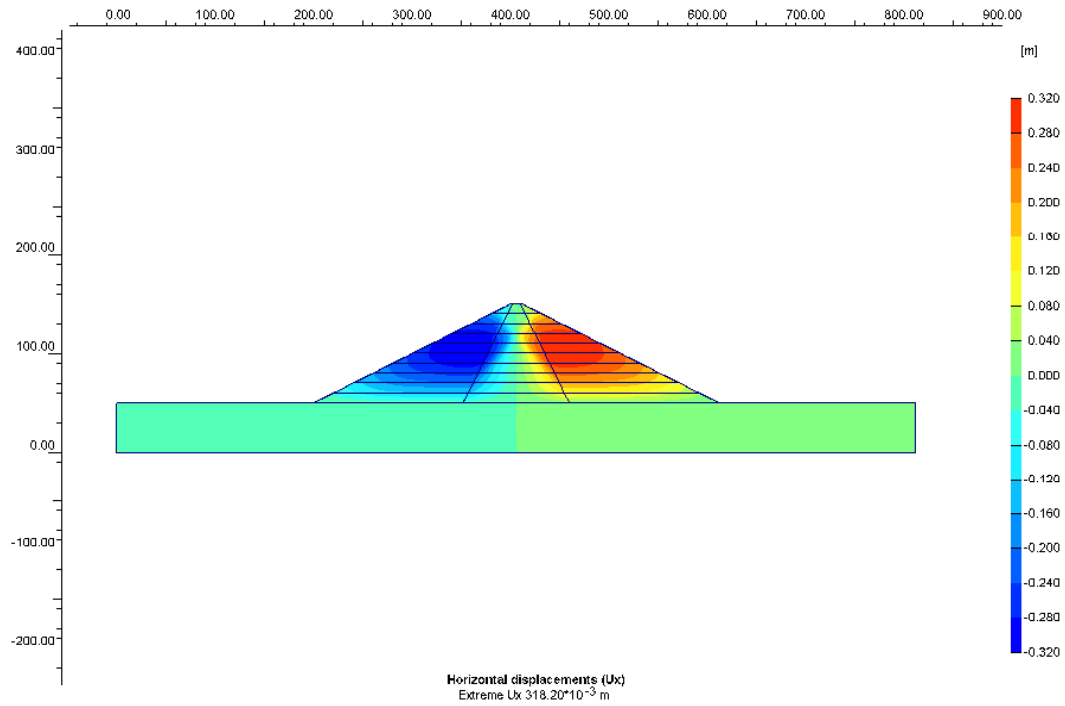
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.



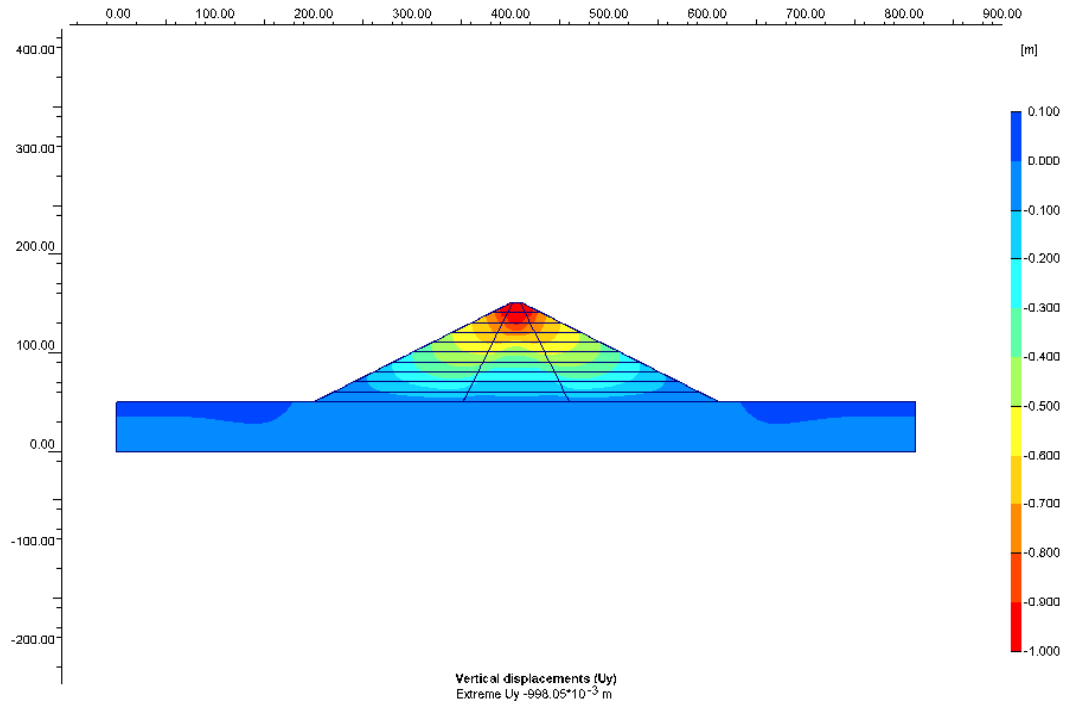
Şekil 5.46 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



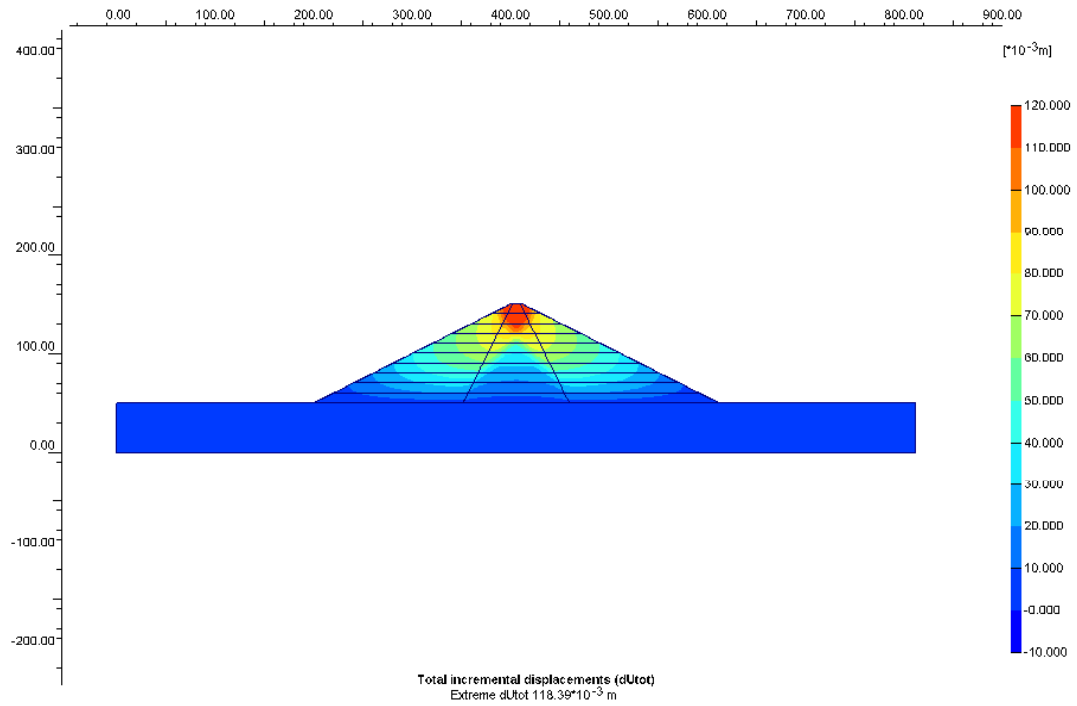
Şekil 5.47 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



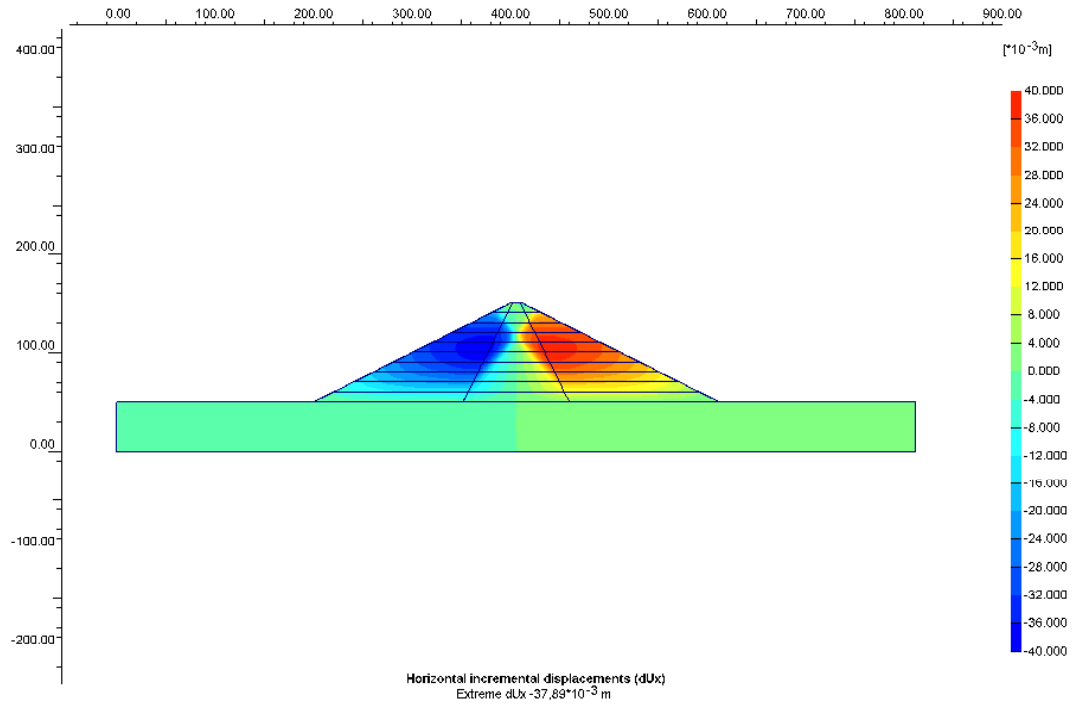
Şekil 5.48 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



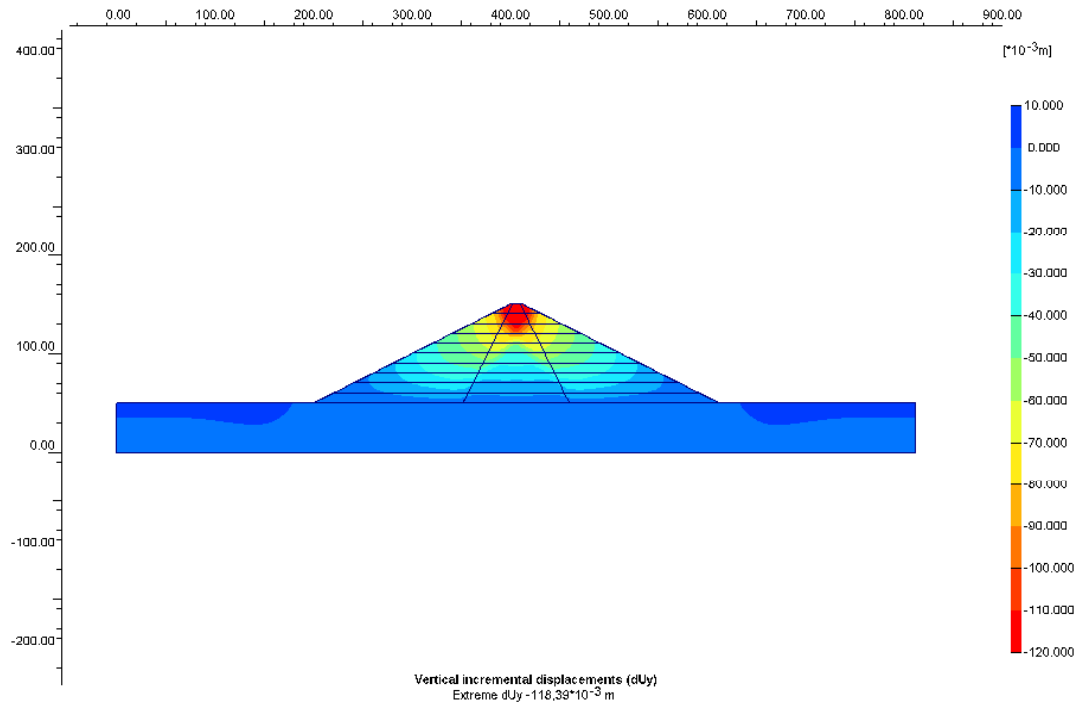
Şekil 5.49 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



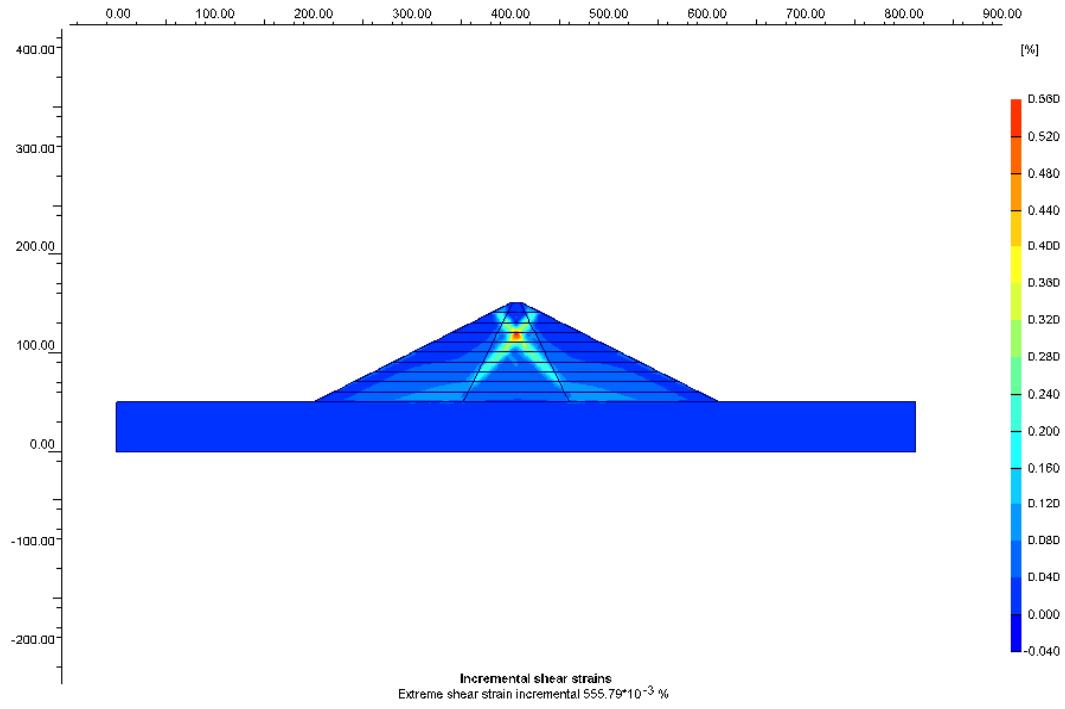
Şekil 5.50 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



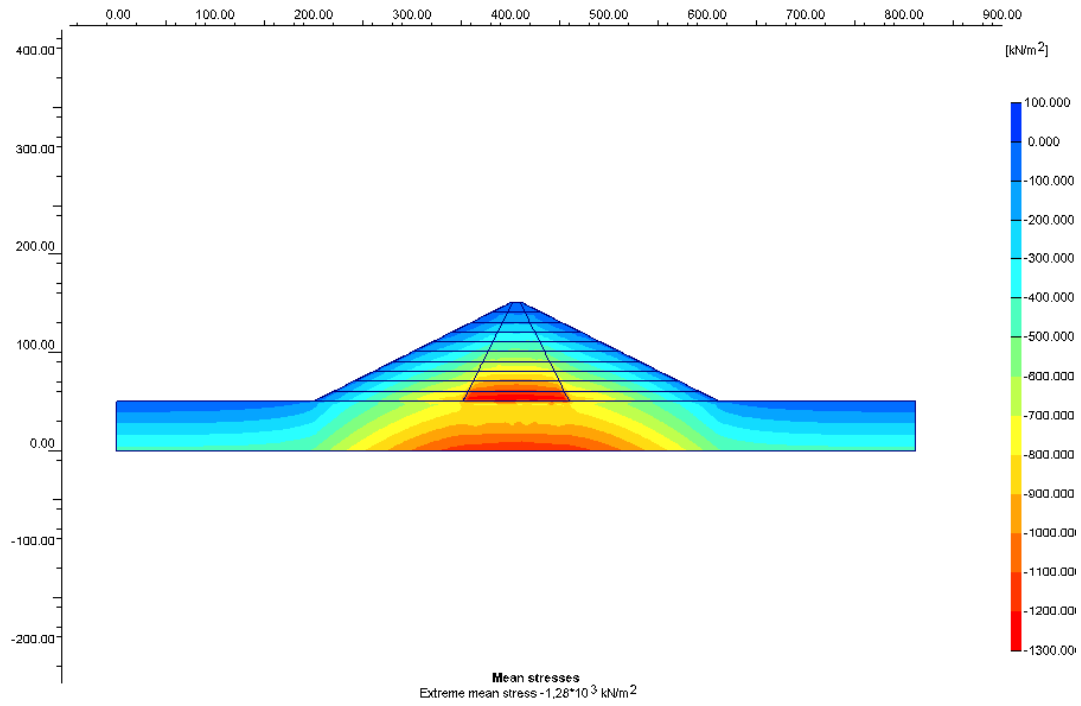
Şekil 5.51 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



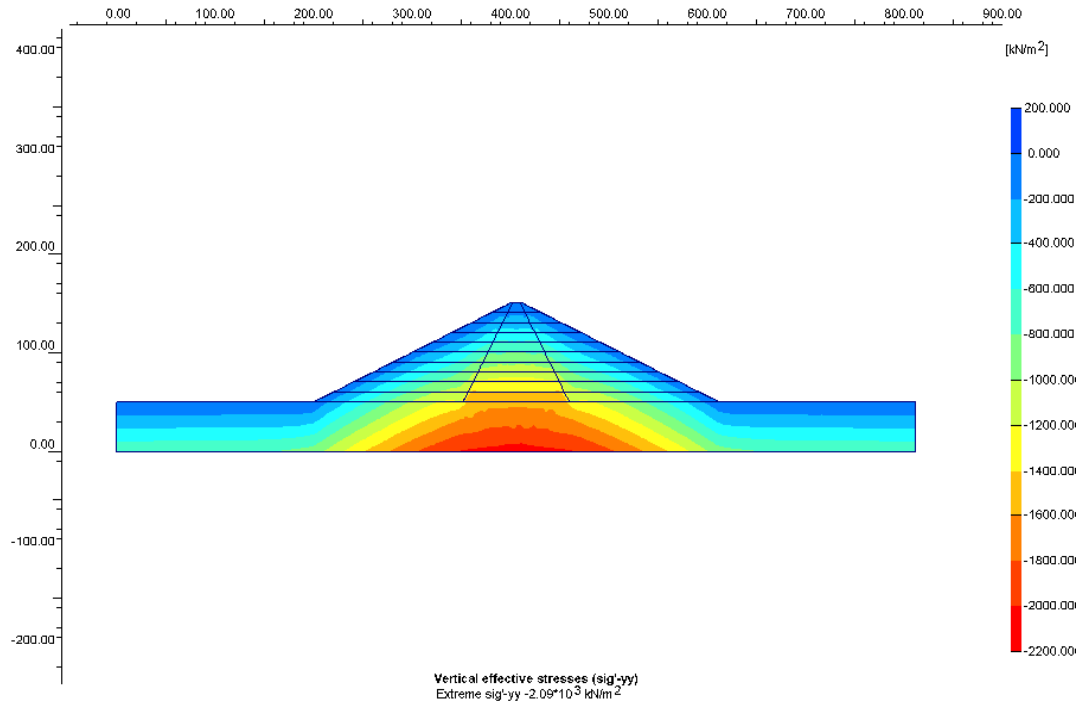
Şekil 5.52 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



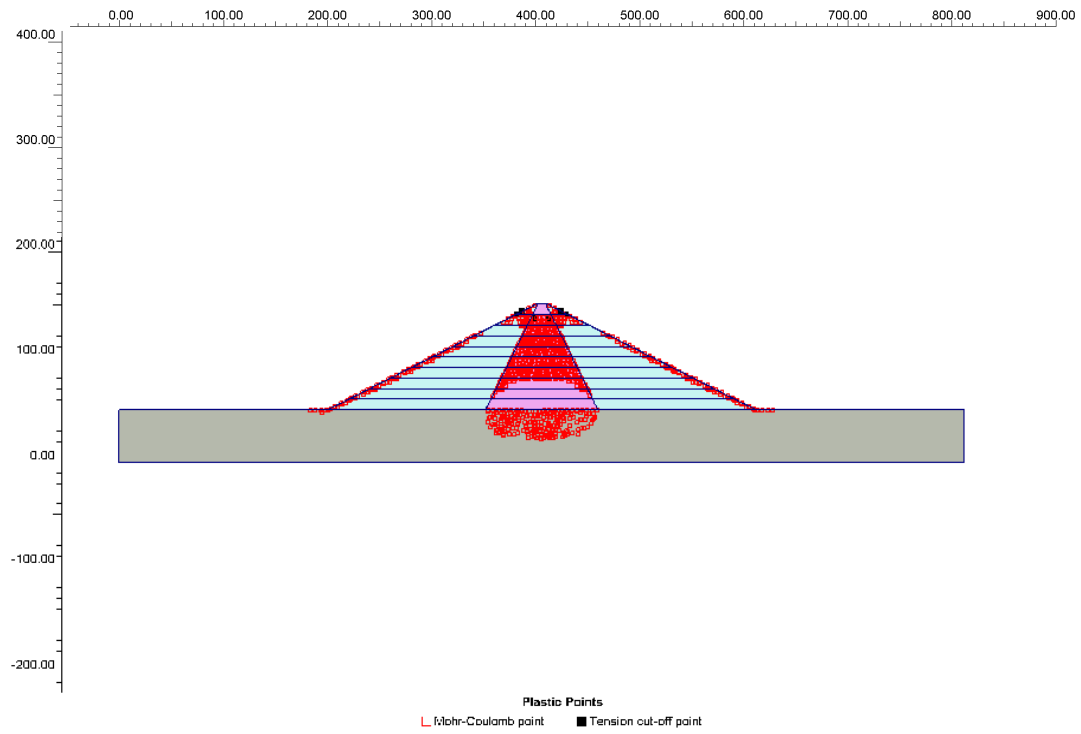
Şekil 5.53 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.54 Etkili gerilmeler



Şekil 5.55 Etkili gerilmeler

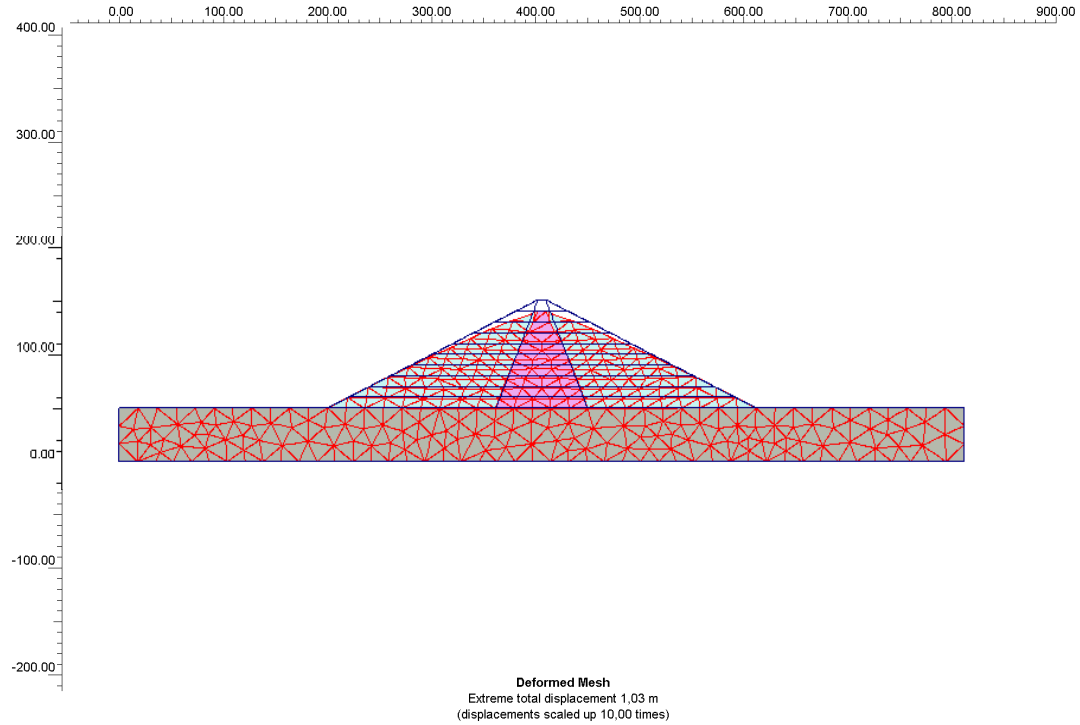


Şekil 5.56 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

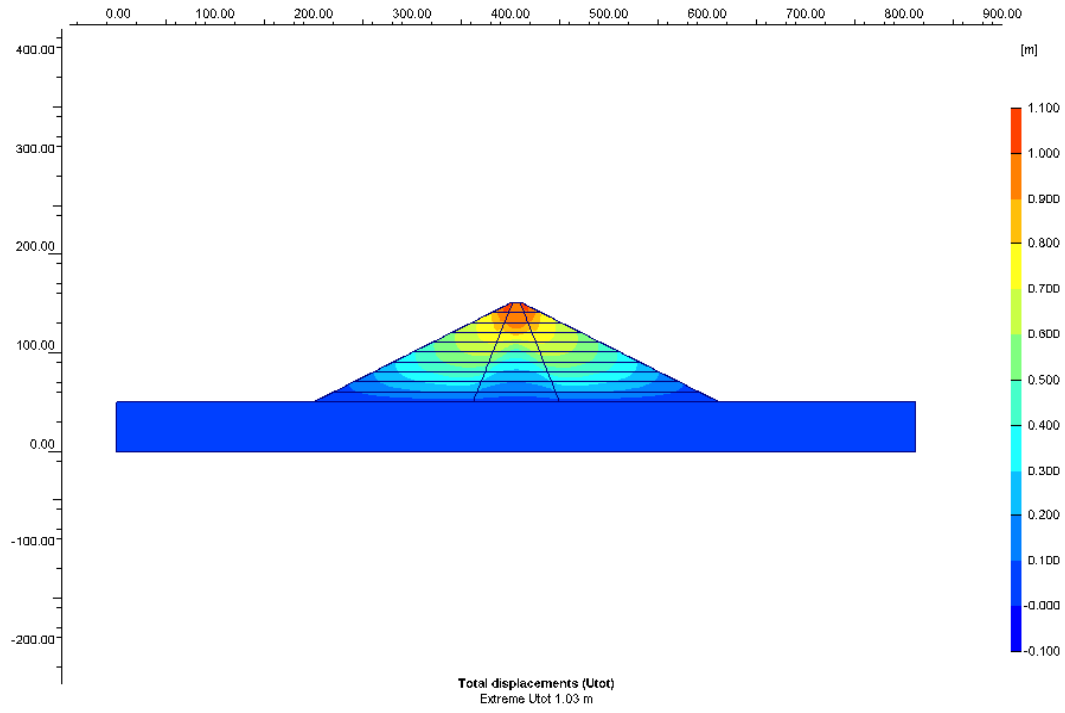
5.2.6. Tip 6 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.57'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

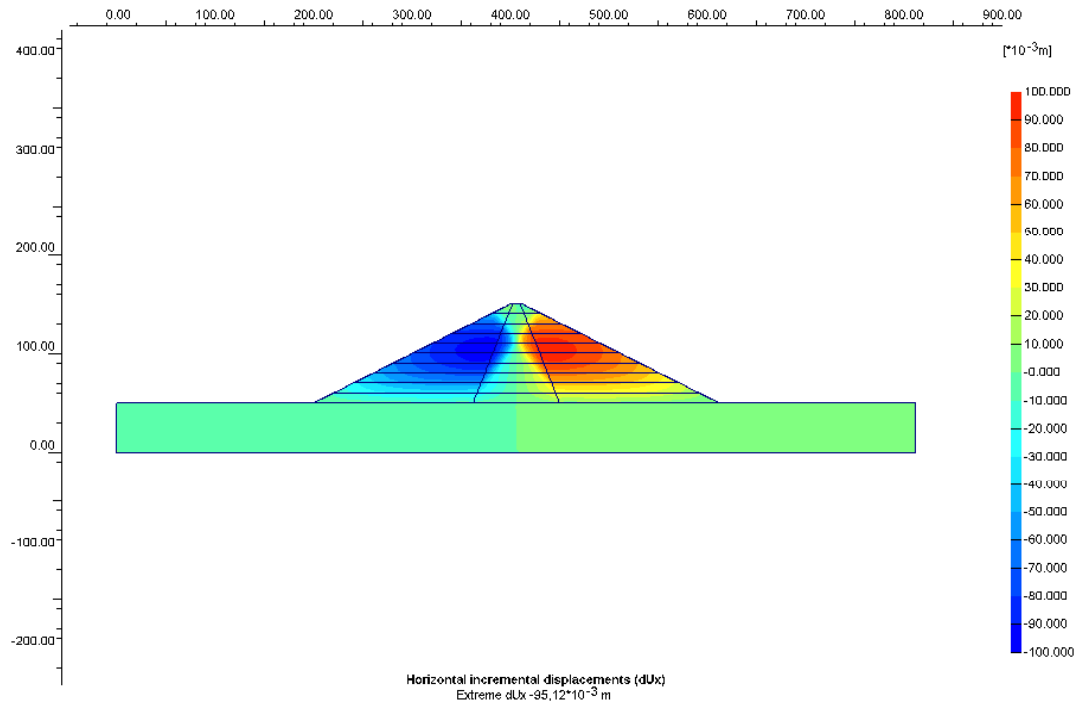
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme grubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1'de verilmiştir.



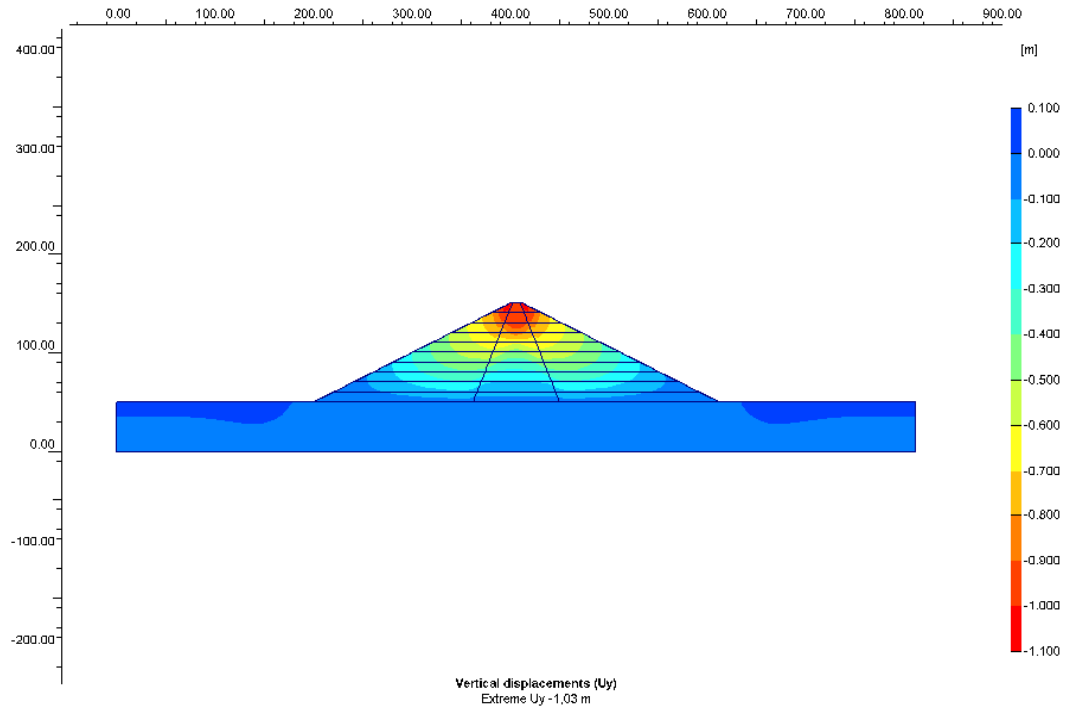
Şekil 5.57 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



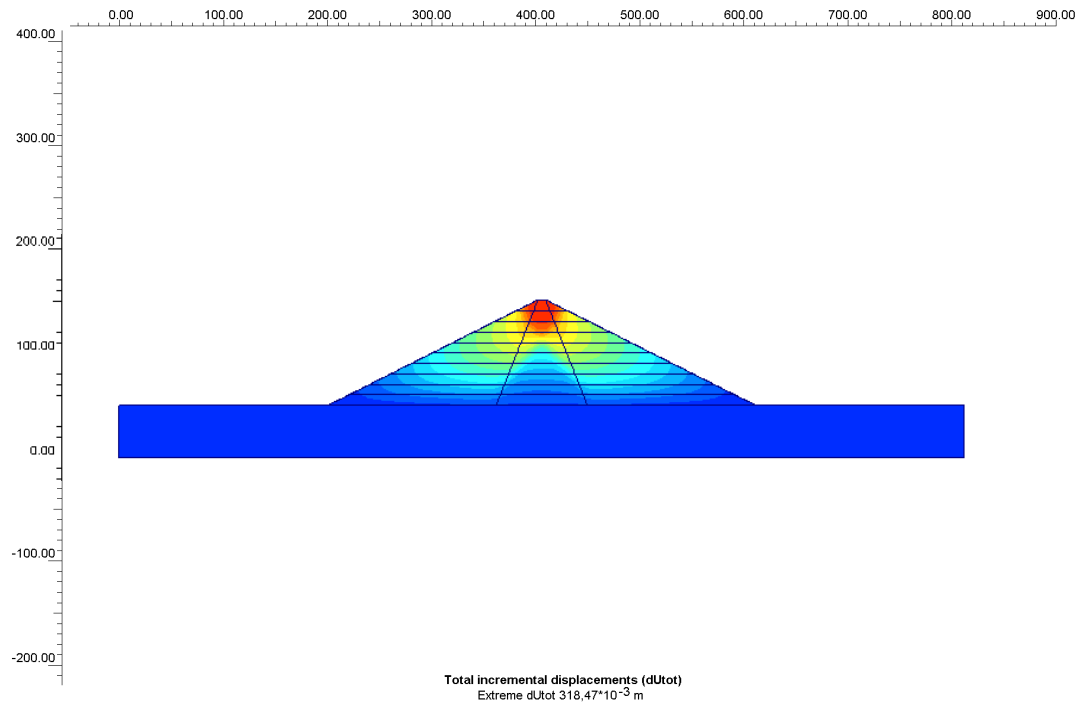
Şekil 5.58 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



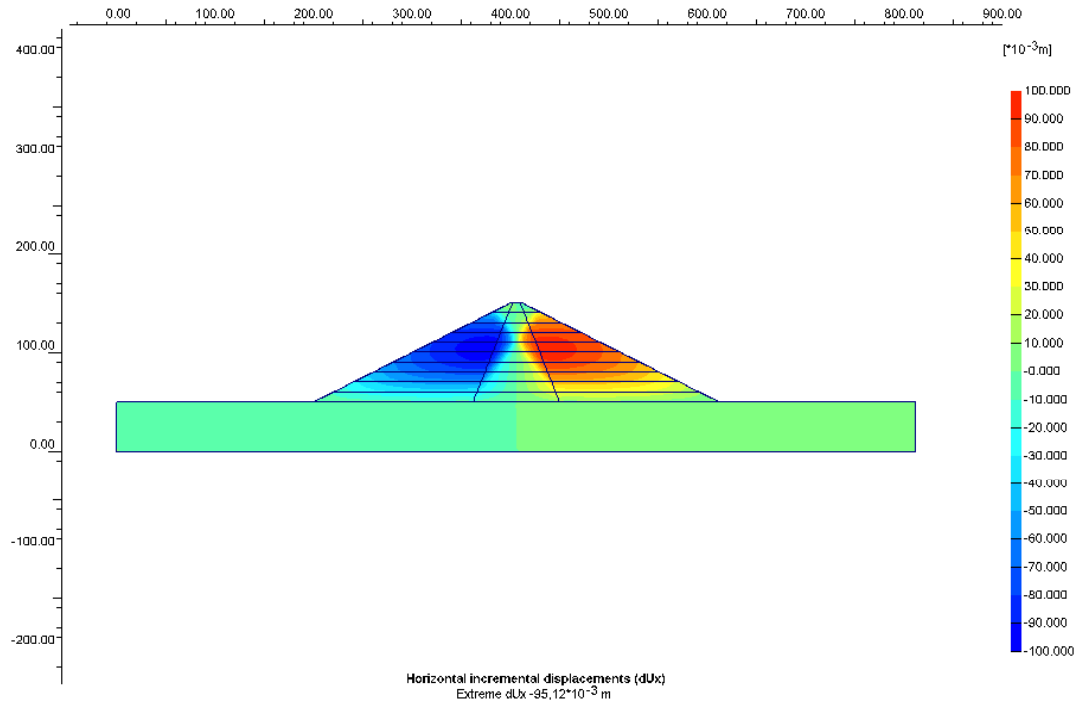
Şekil 5.59 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



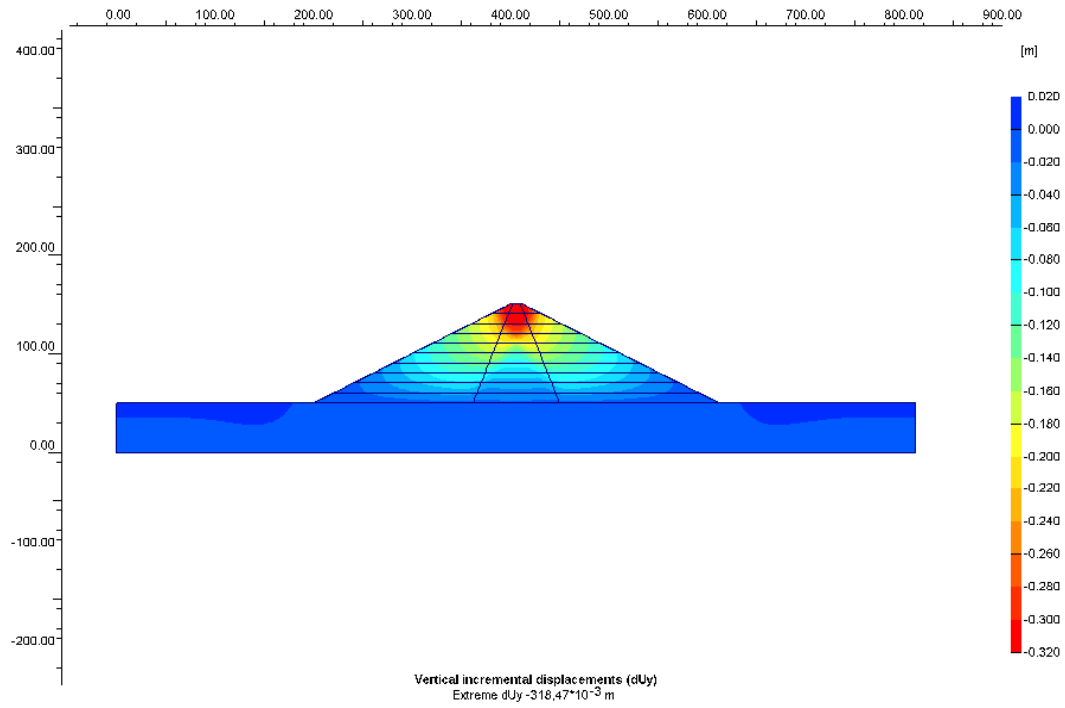
Şekil 5.60 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



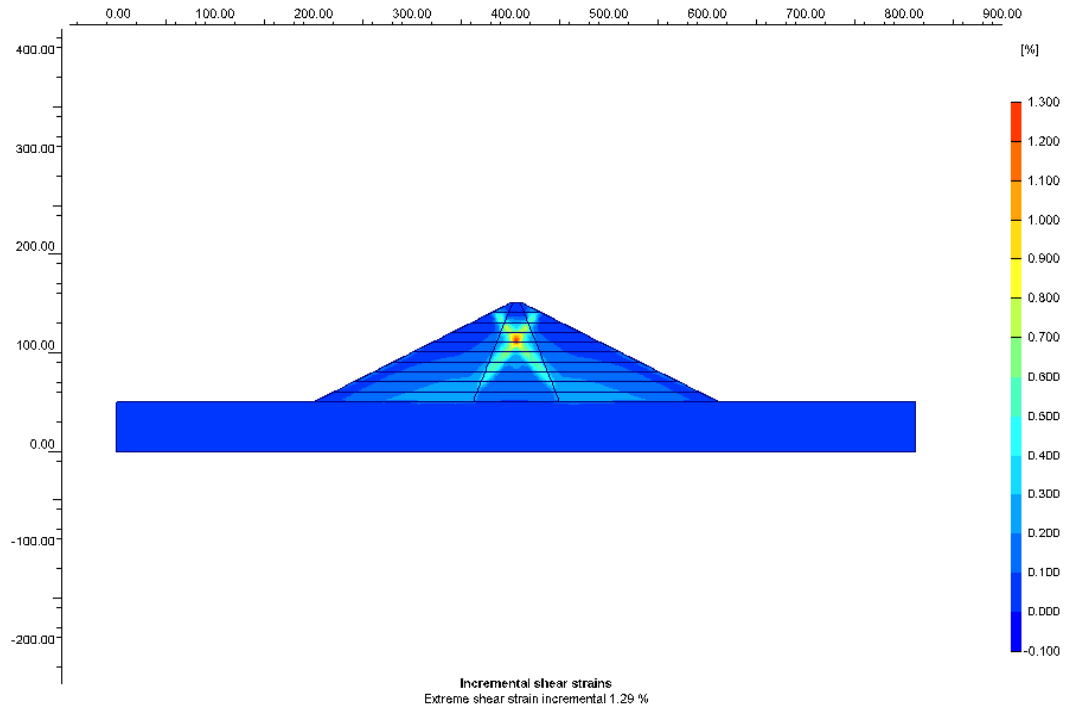
Şekil 5.61 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



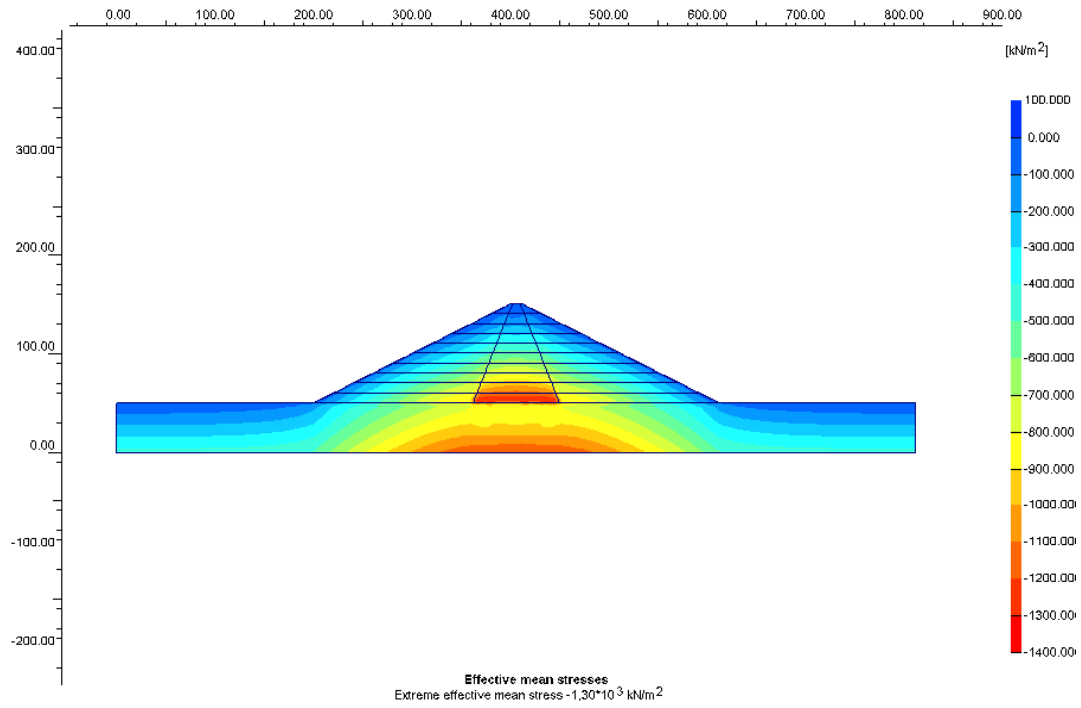
Şekil 5.62 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



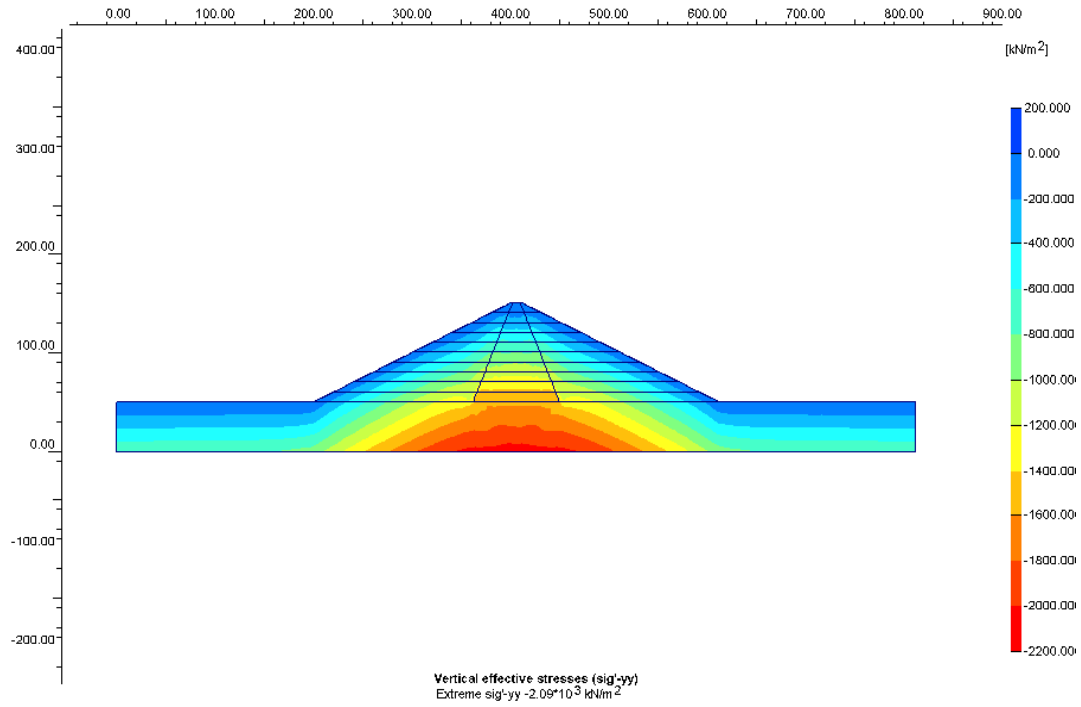
Şekil 5.63 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



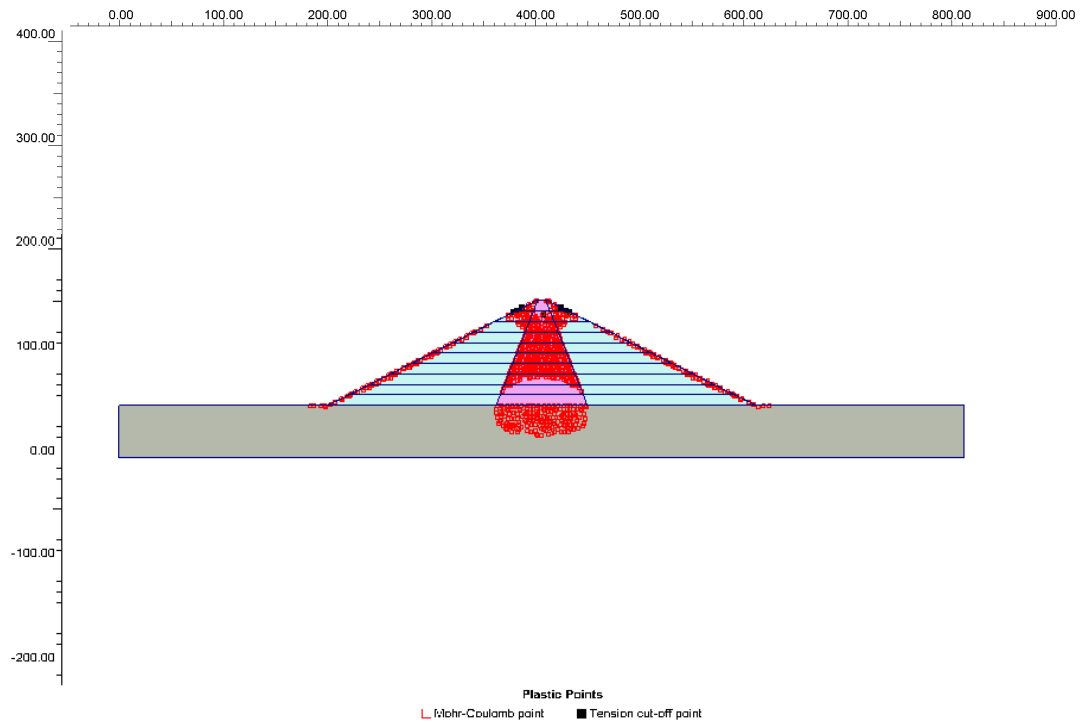
Şekil 5.64 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.65 Etkili gerilmeler



Şekil 5.66 Etkili gerilmeler

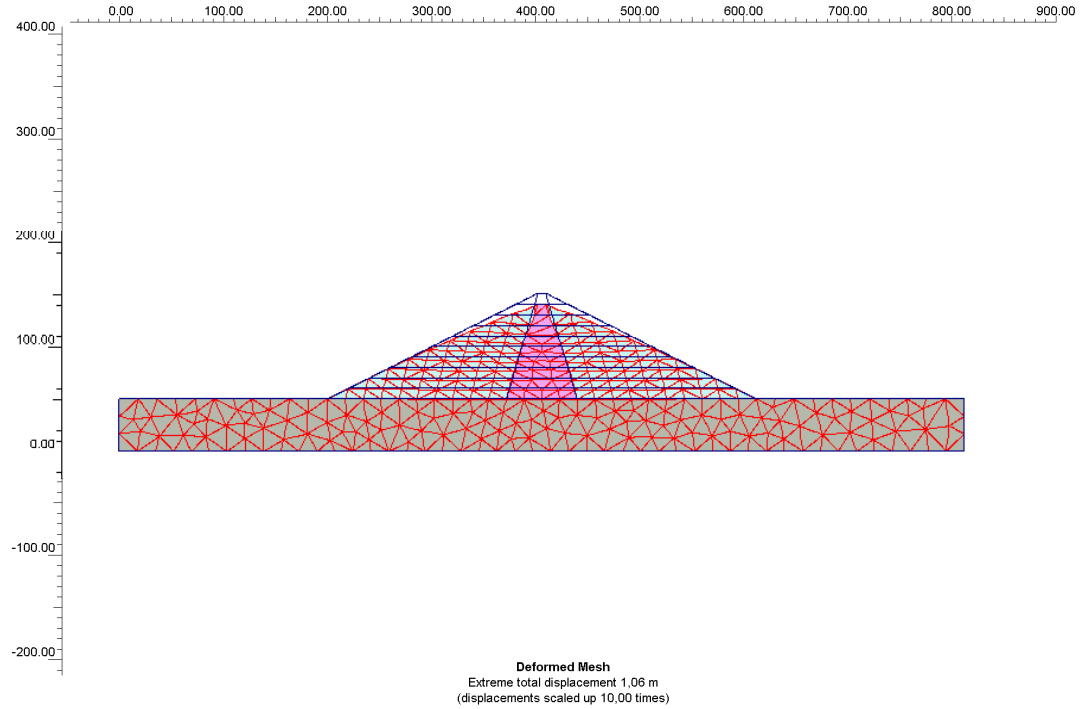


Şekil 5.67 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

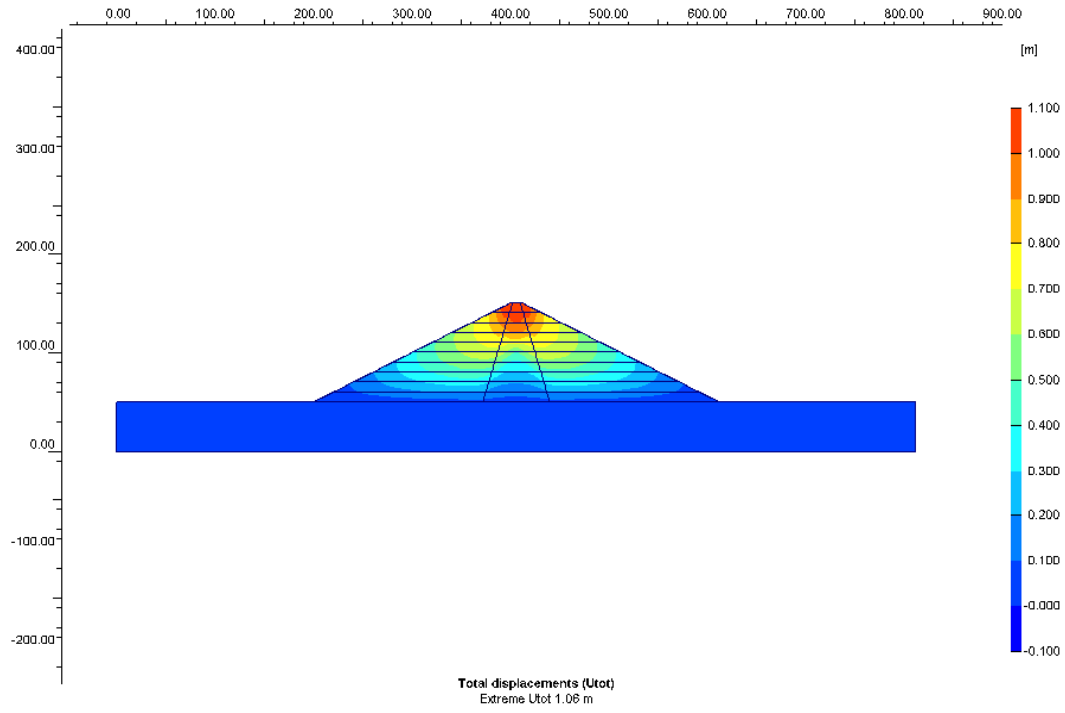
5.2.7. Tip 7 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.68'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

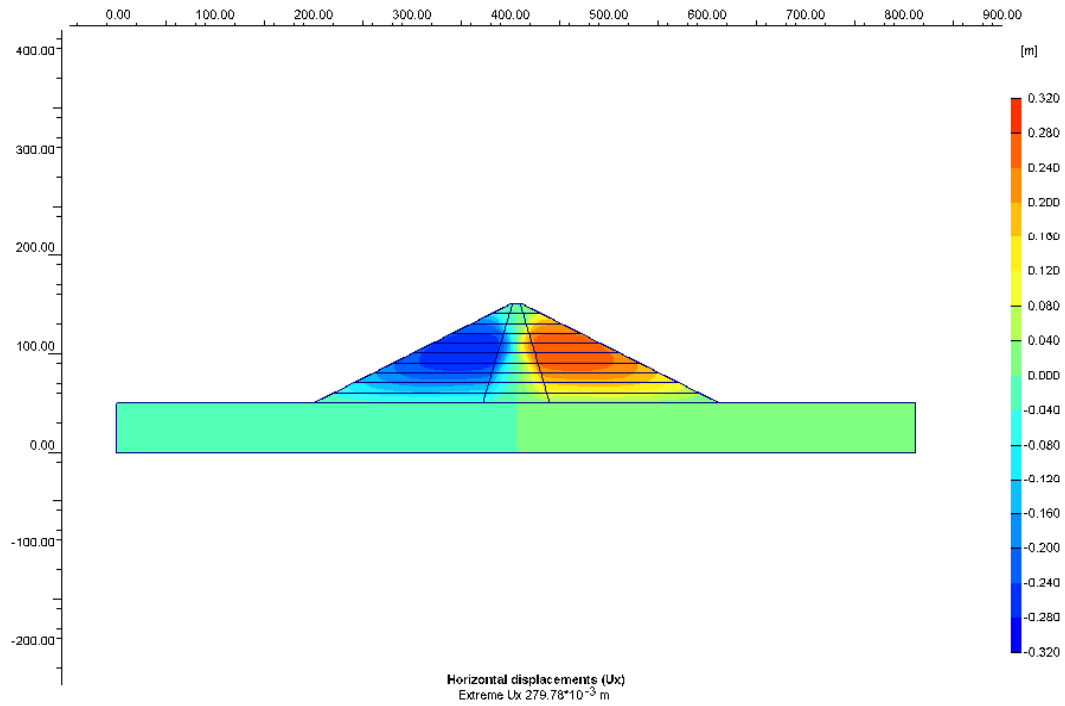
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir.



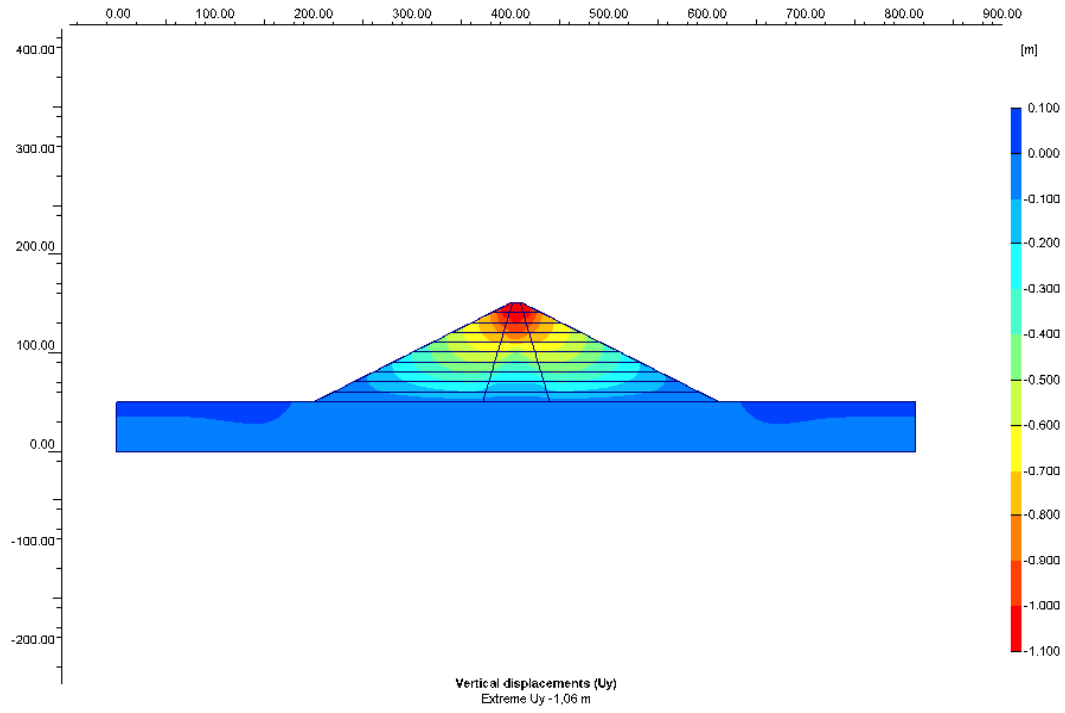
Şekil 5.68 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



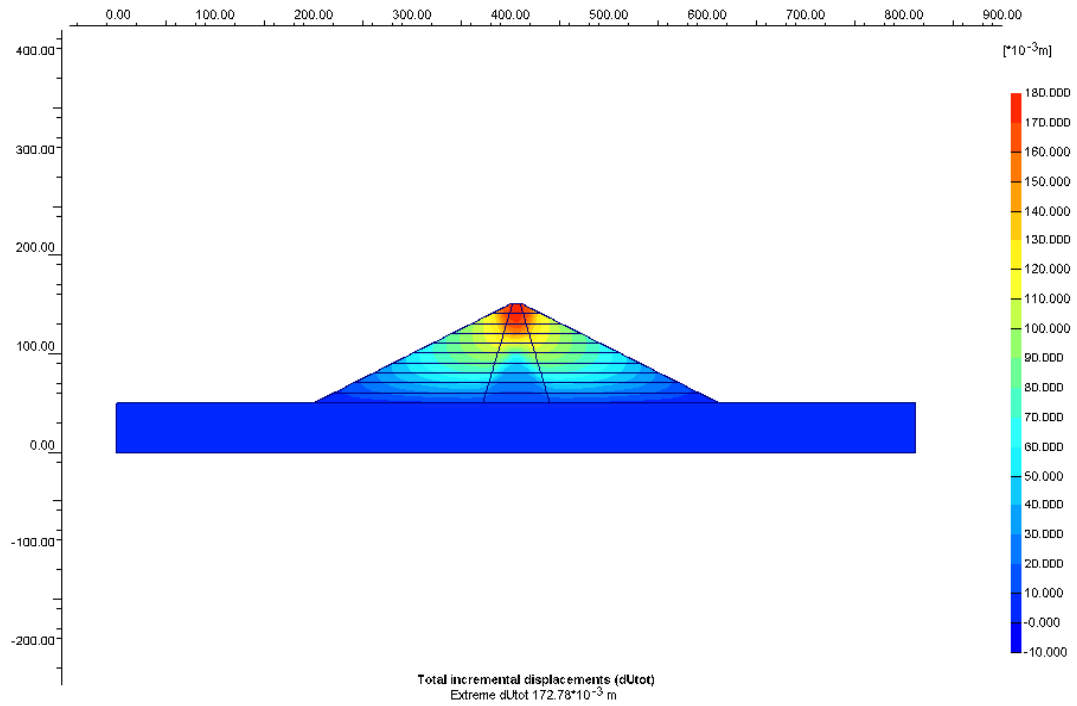
Şekil 5.69 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



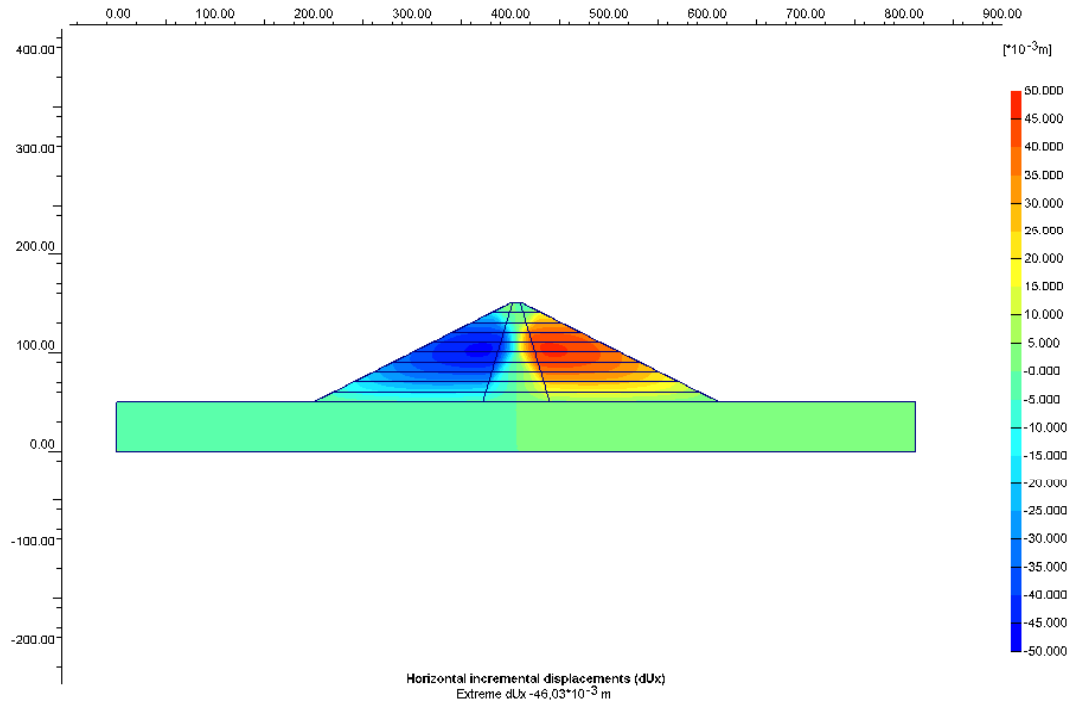
Şekil 5.70 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



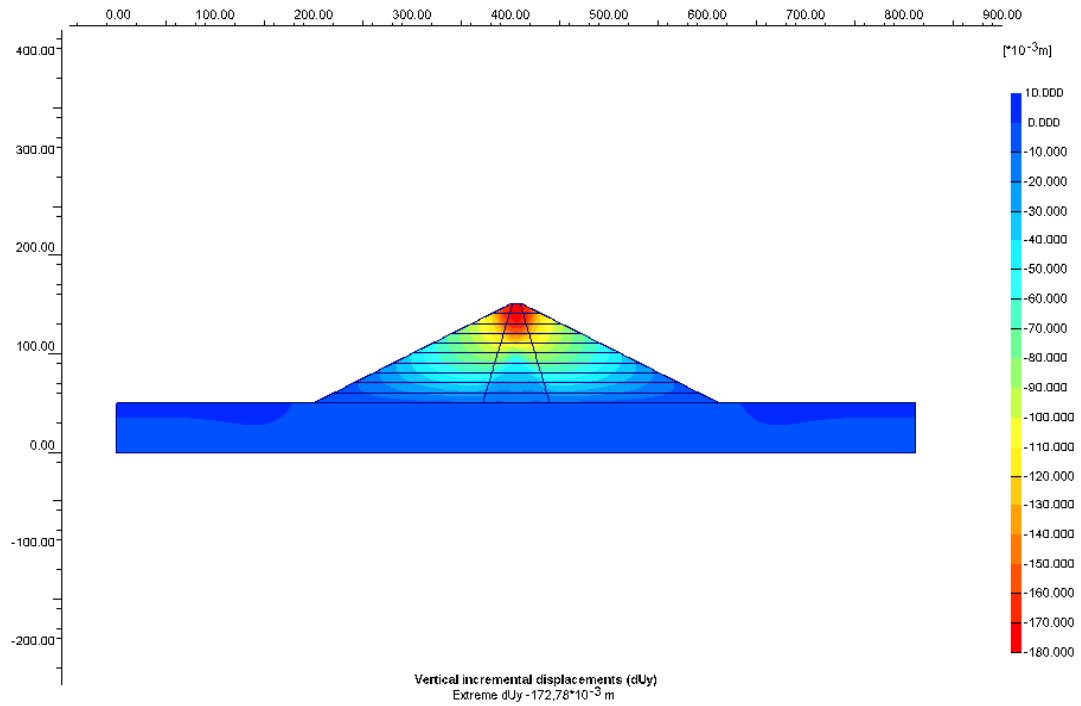
Şekil 5.71 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



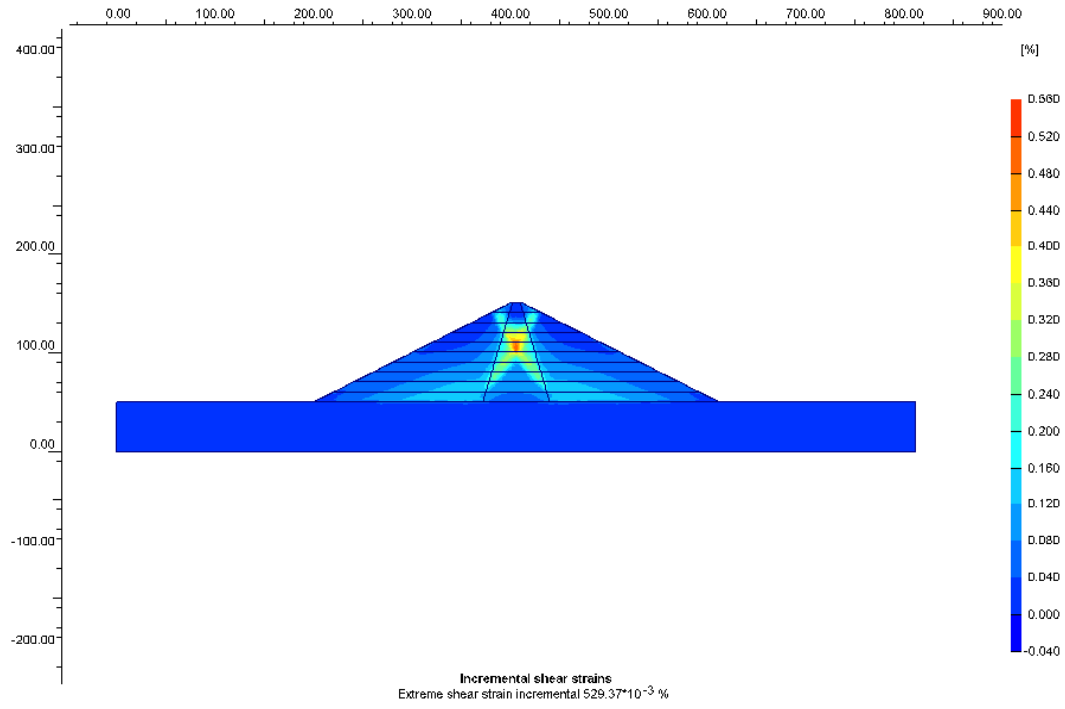
Şekil 5.72 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



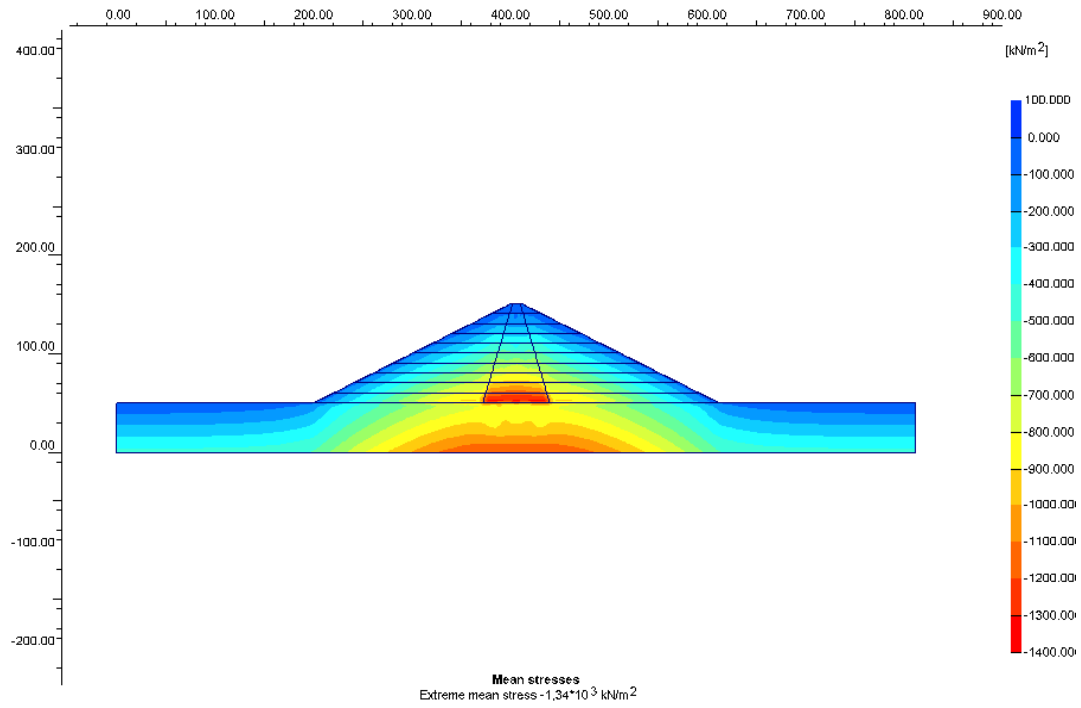
Şekil 5.73 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



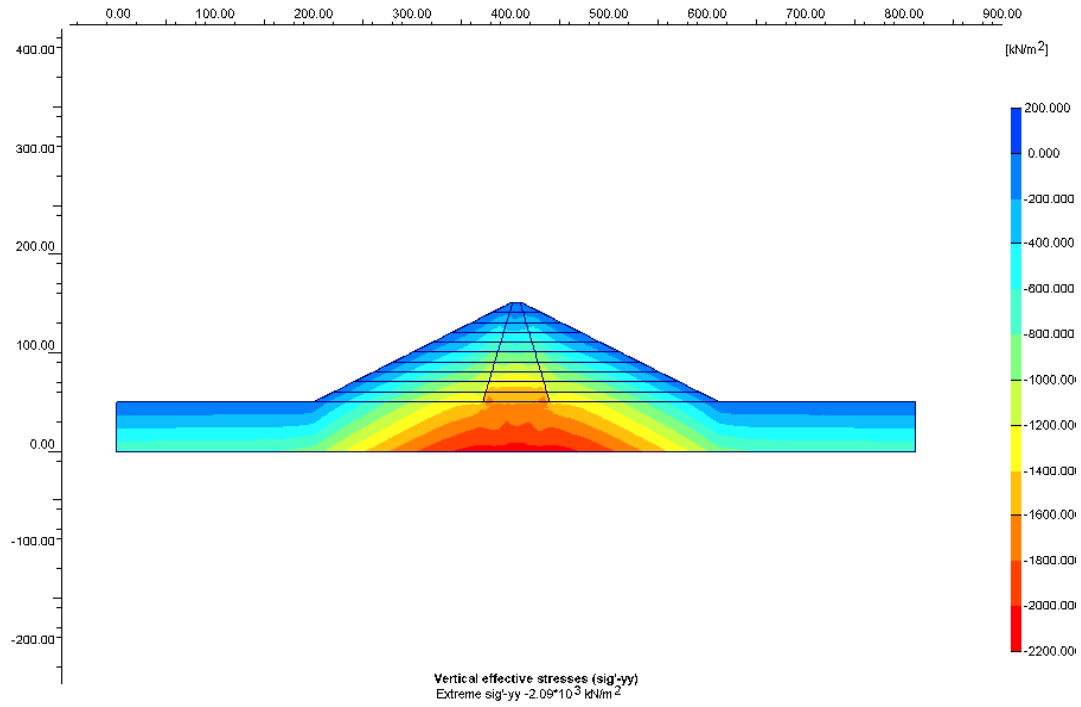
Şekil 5.74 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



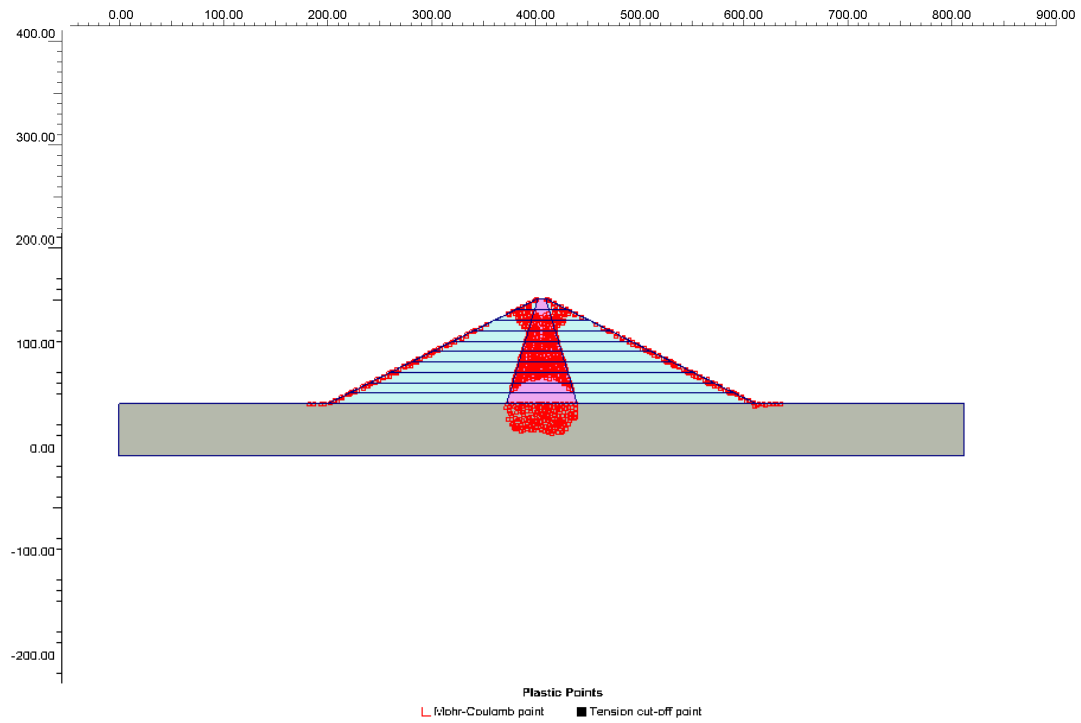
Şekil 5.75 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.76 Etkili gerilmeler



Şekil 5.77 Etkili gerilmeler

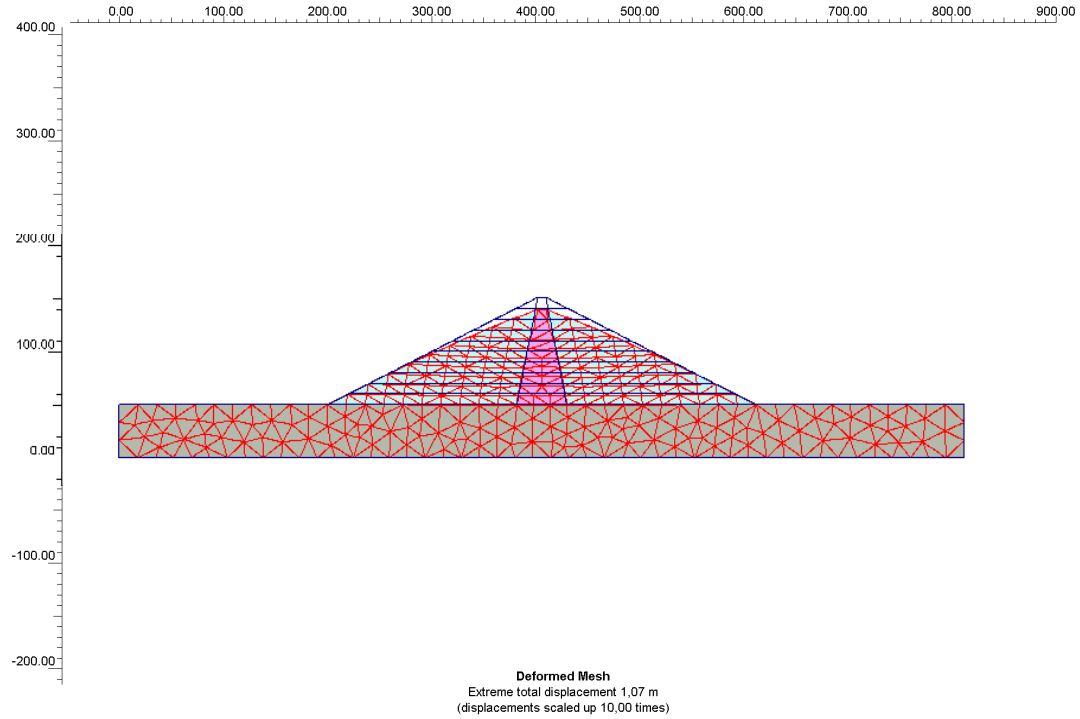


Şekil 5.78 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

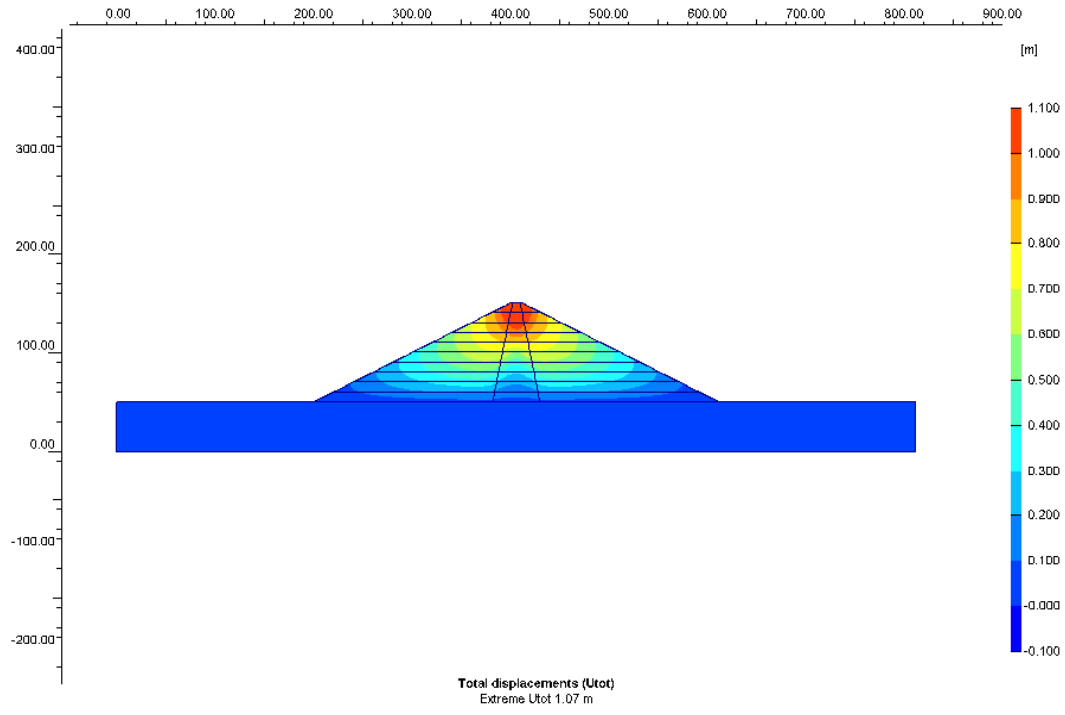
5.2.8. Tip 8 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.79'da görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

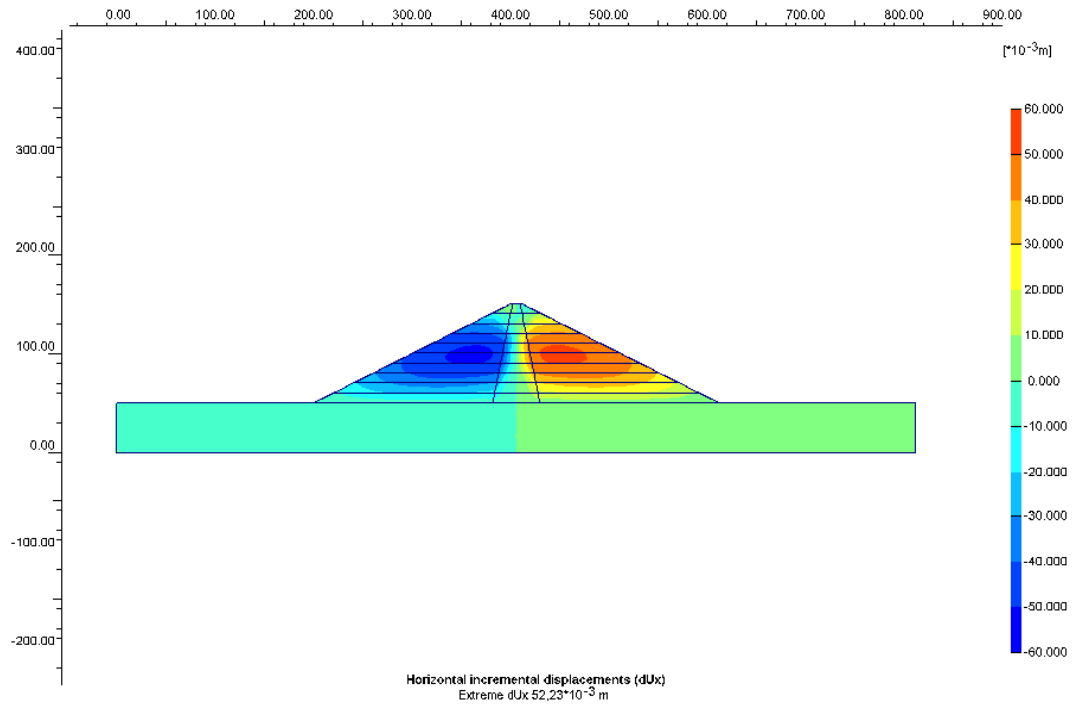
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir.



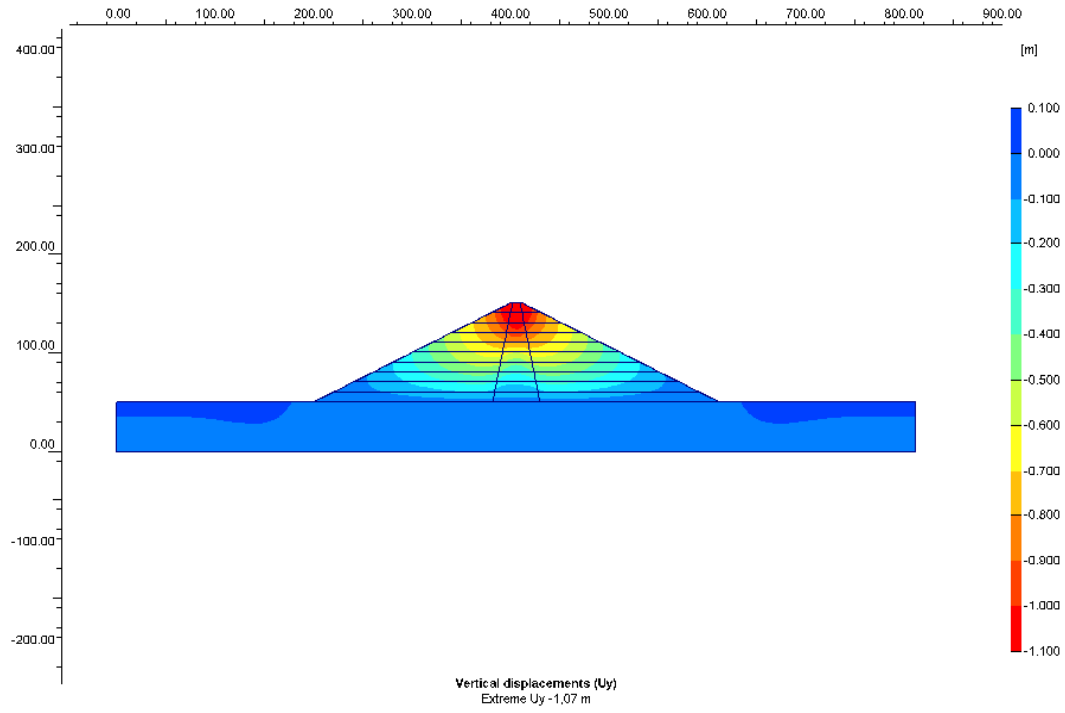
Şekil 5.79 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



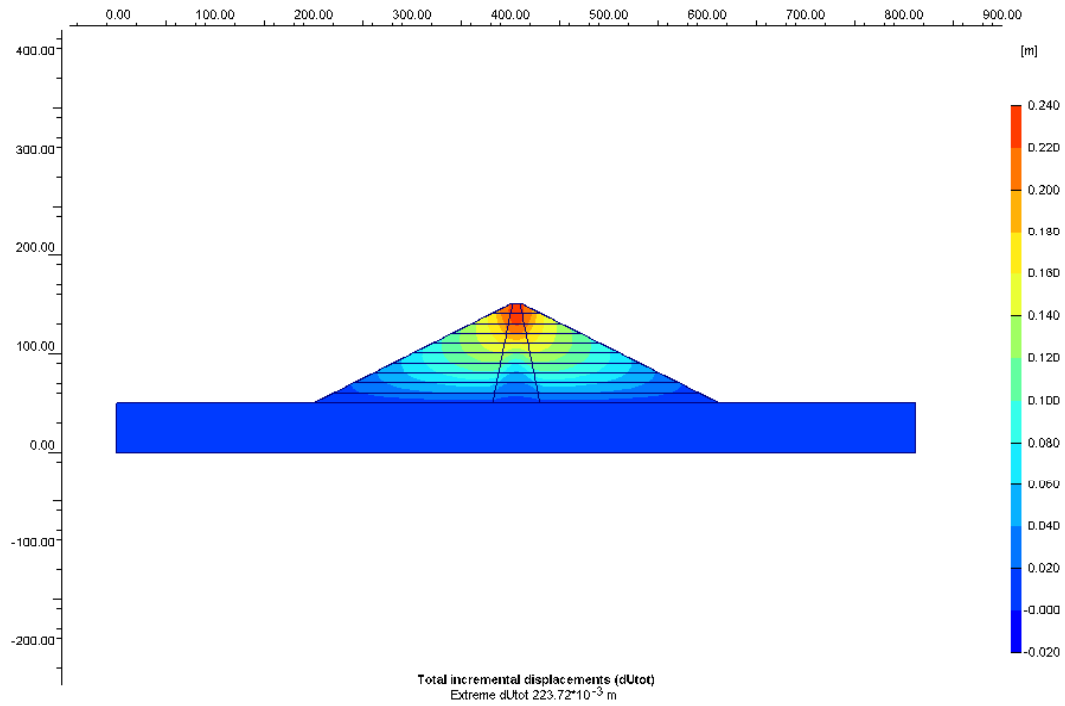
Şekil 5.80 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



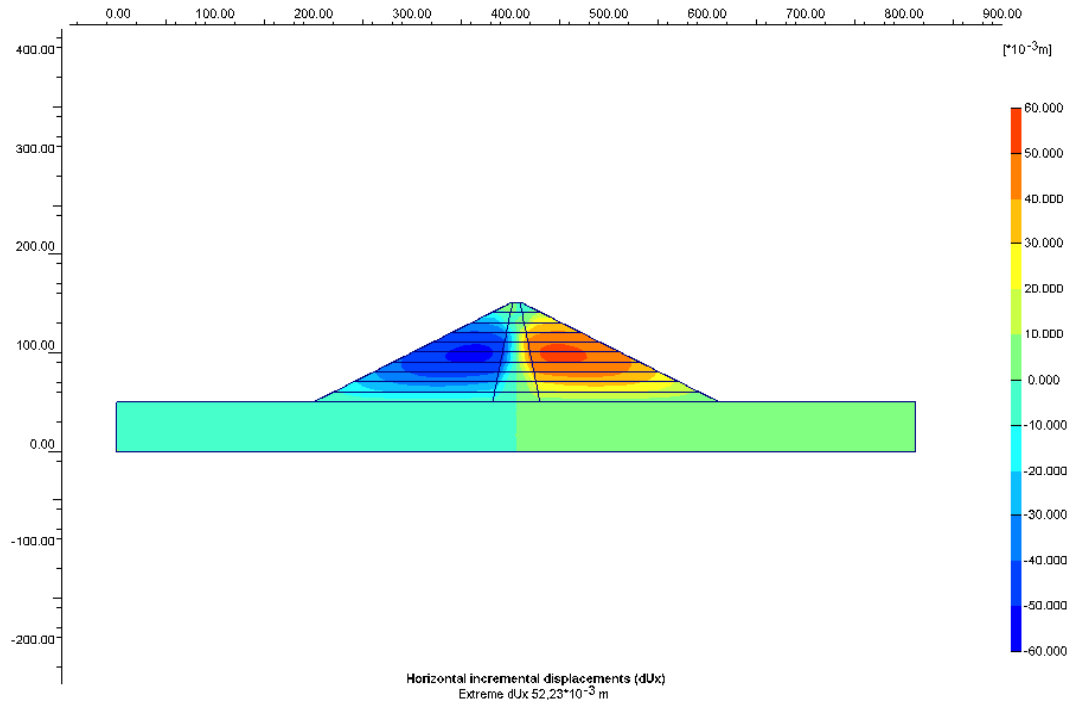
Şekil 5.81 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



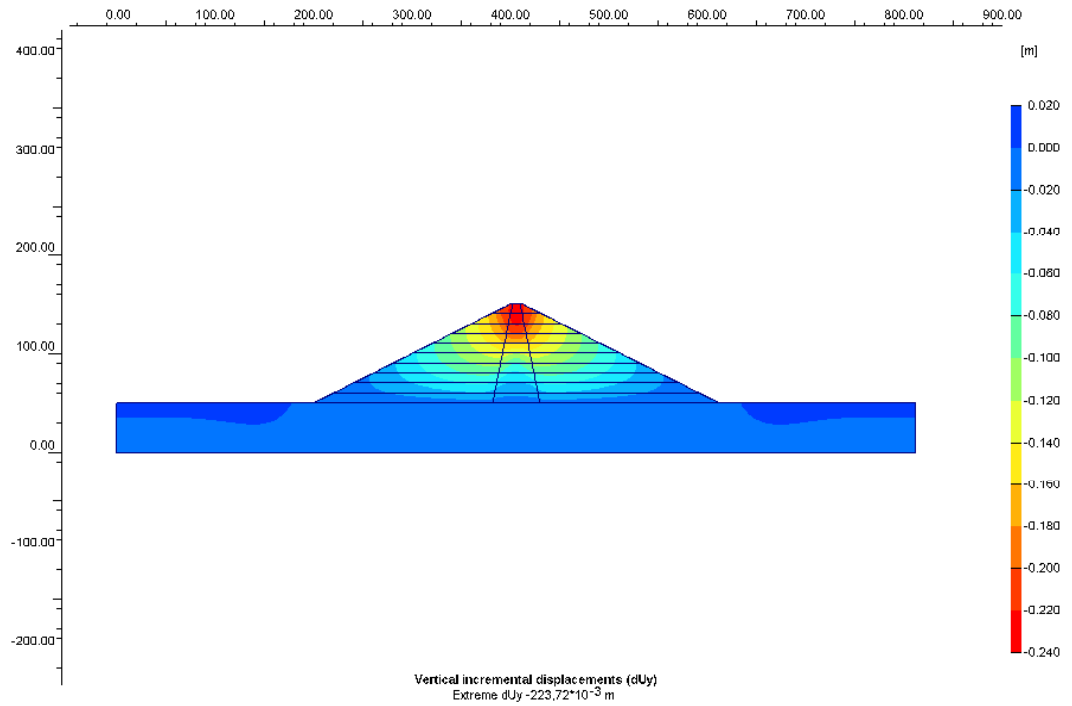
Şekil 5.82 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



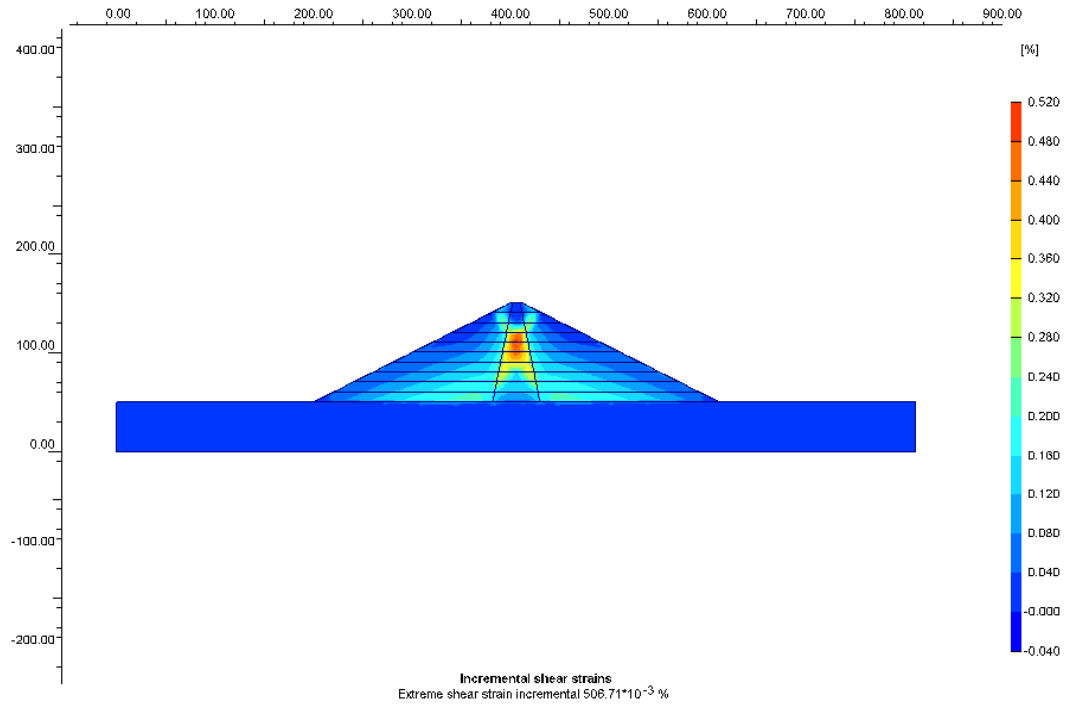
Şekil 5.83 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



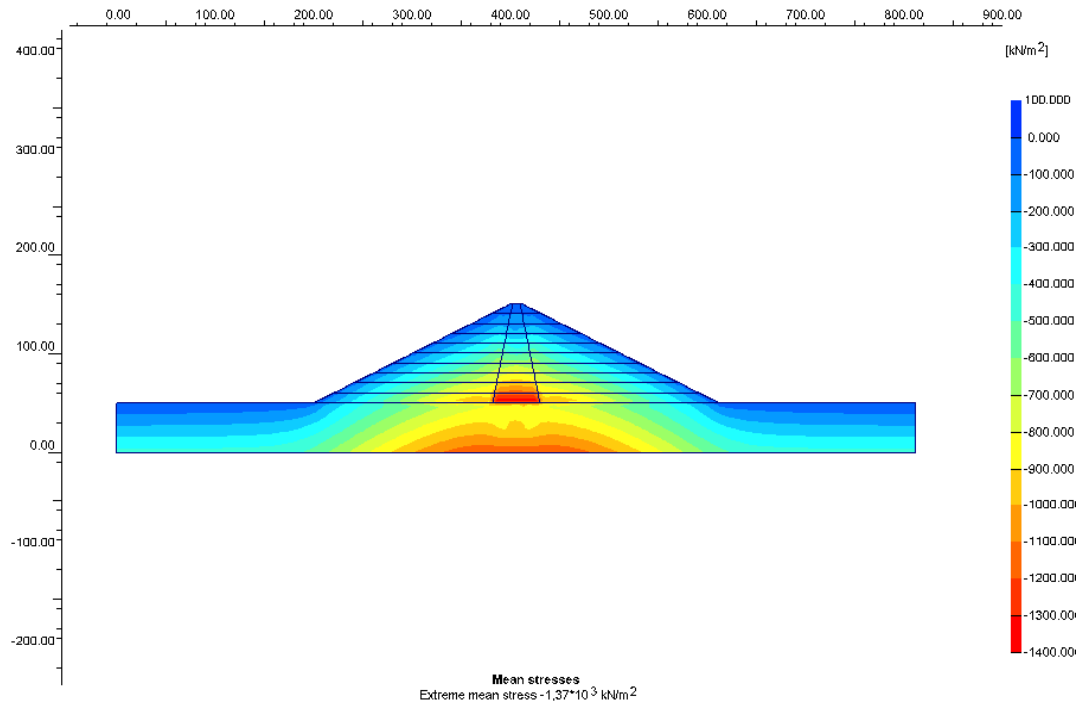
Şekil 5.84 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



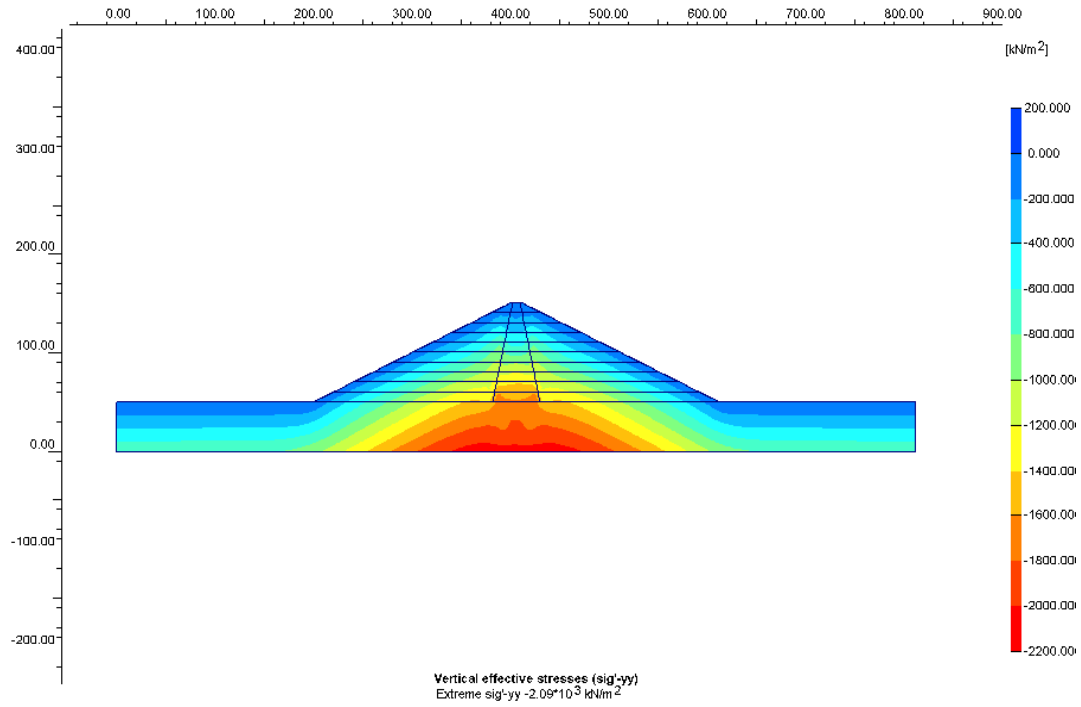
Şekil 5.85 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



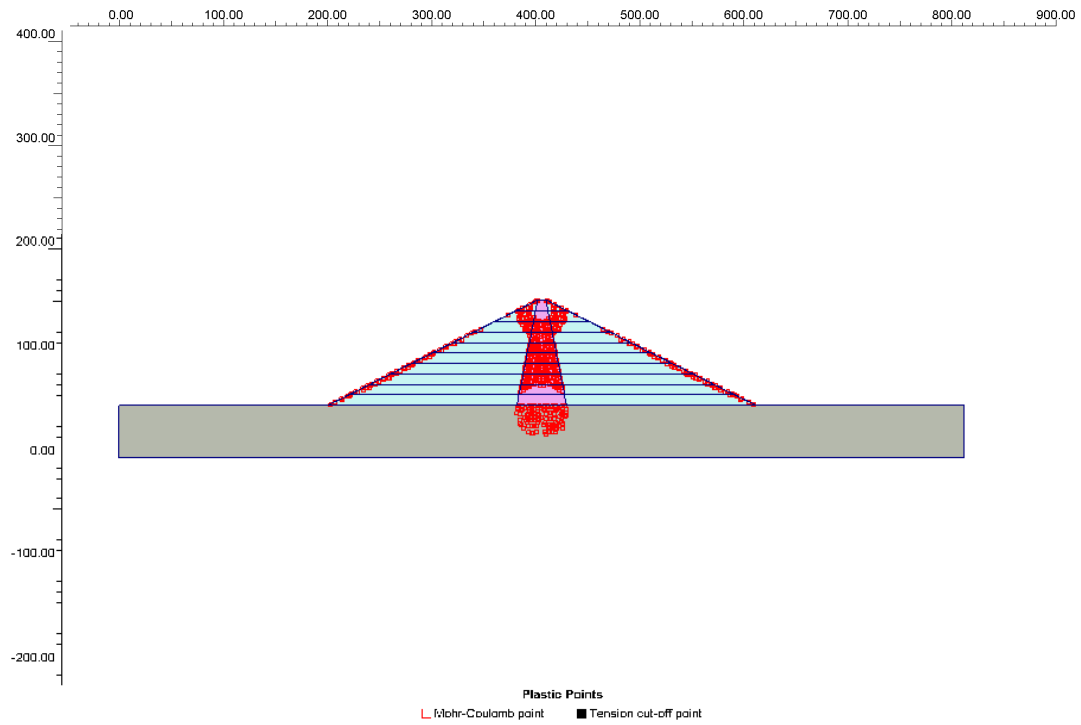
Şekil 5.86 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.87. Etkili gerilmeler



Şekil 5.88 Etkili gerilmeler

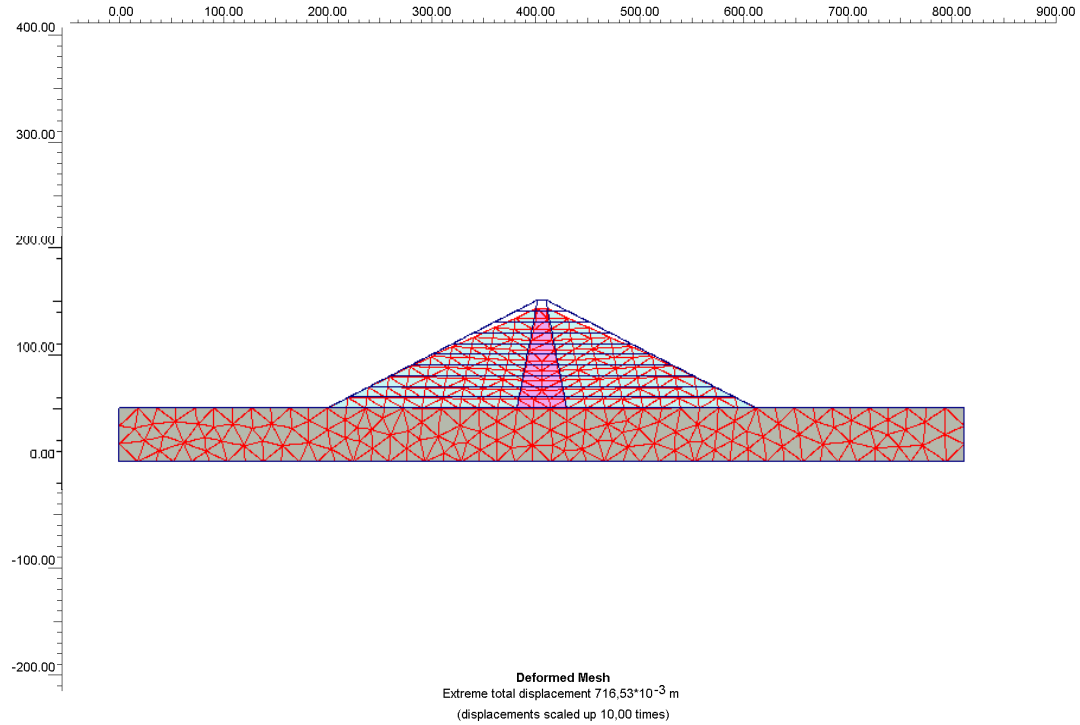


Şekil 5.89 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

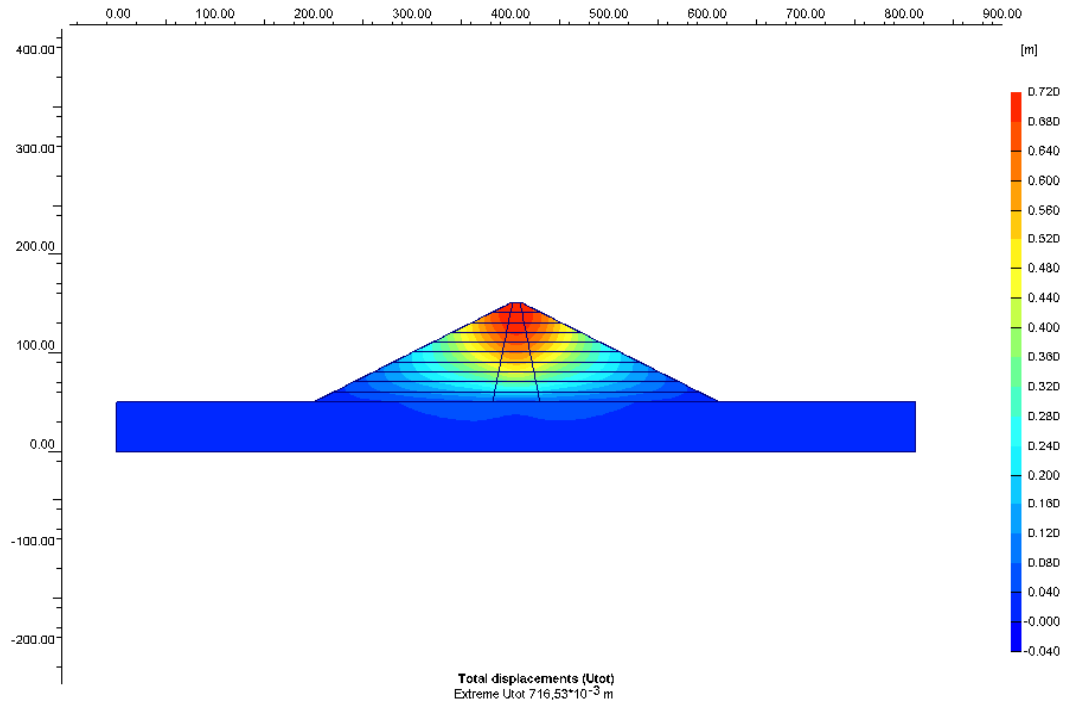
5.2.9. Tip 9 ve 2. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.90'da görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

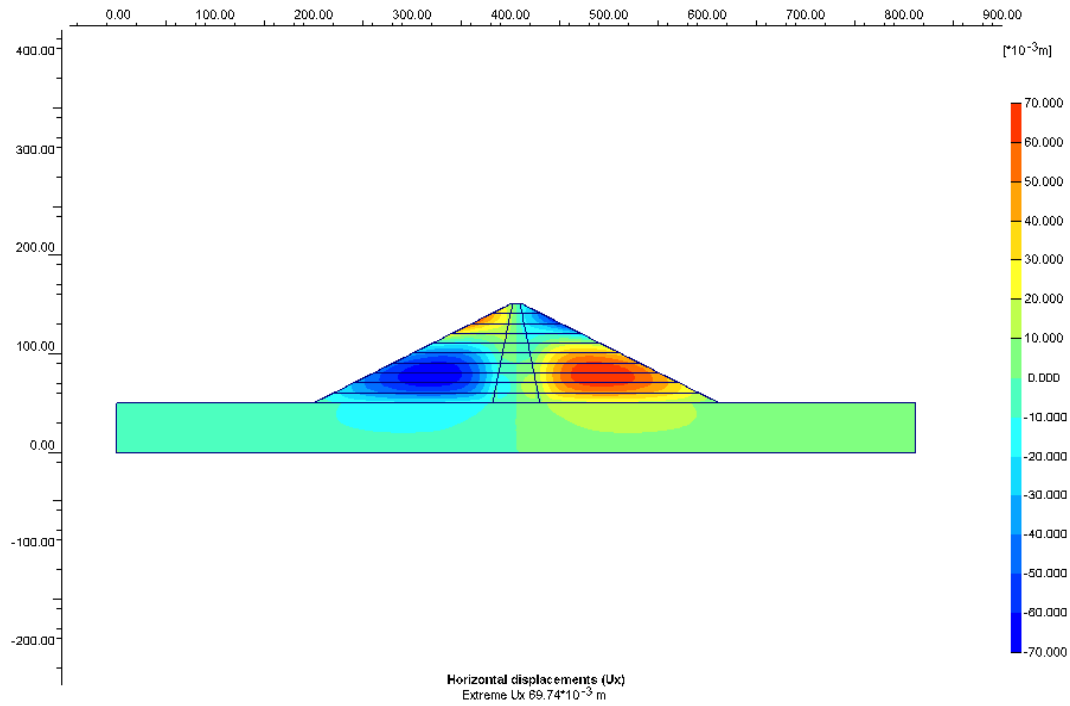
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 2. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir.



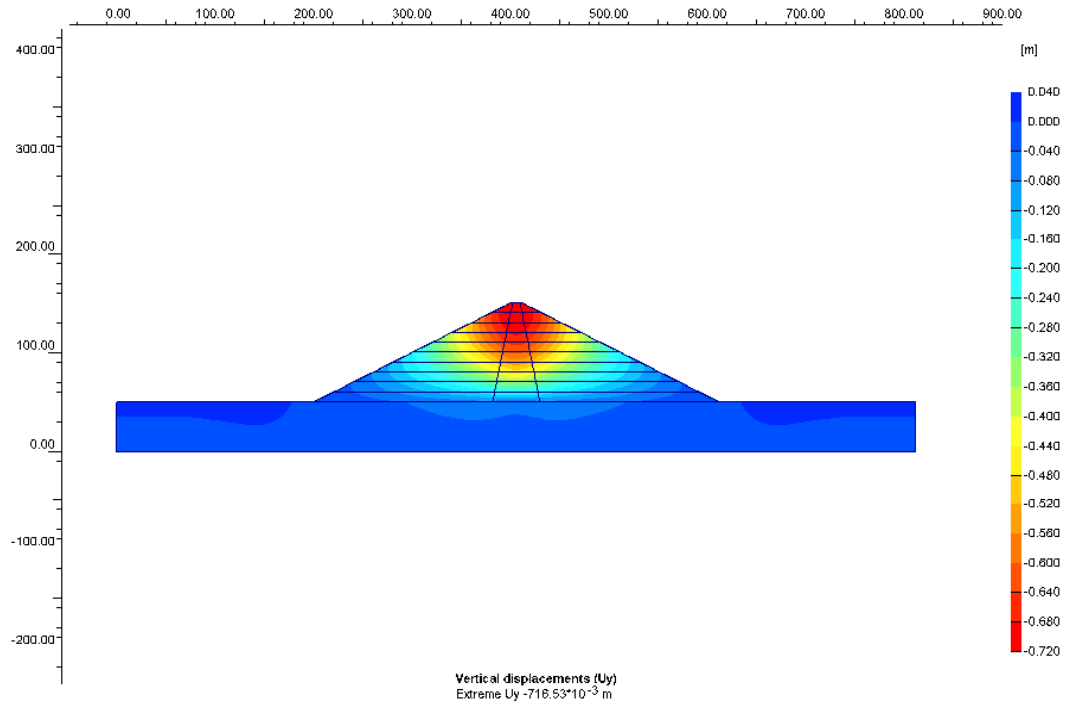
Şekil 5.90 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



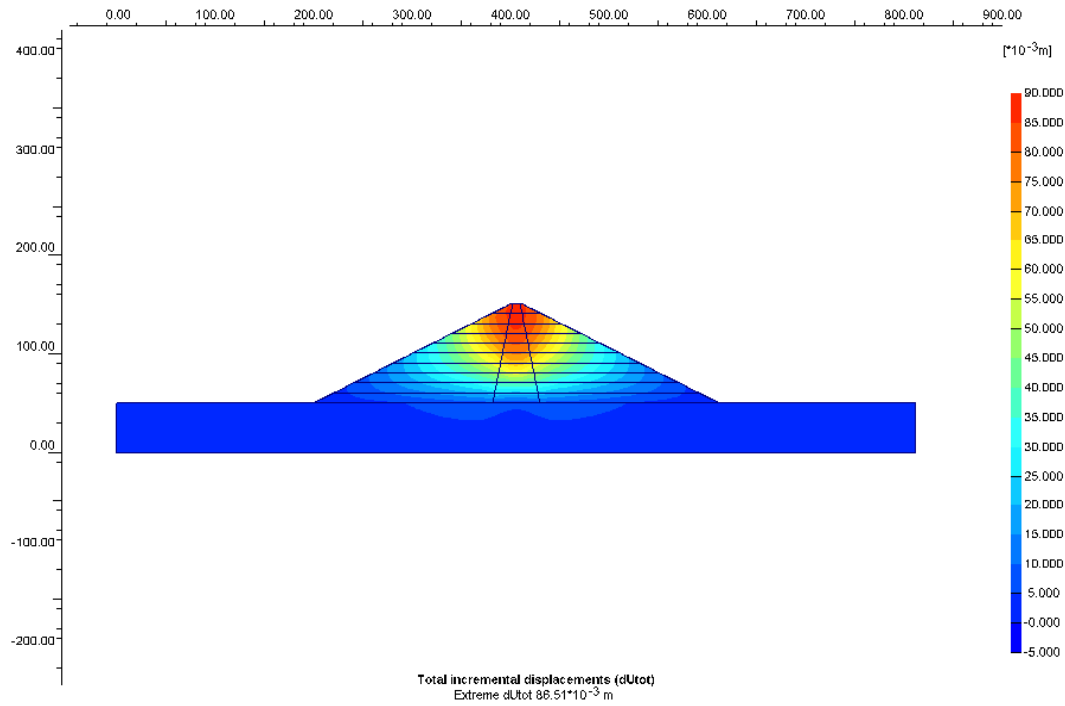
Şekil 5.91 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



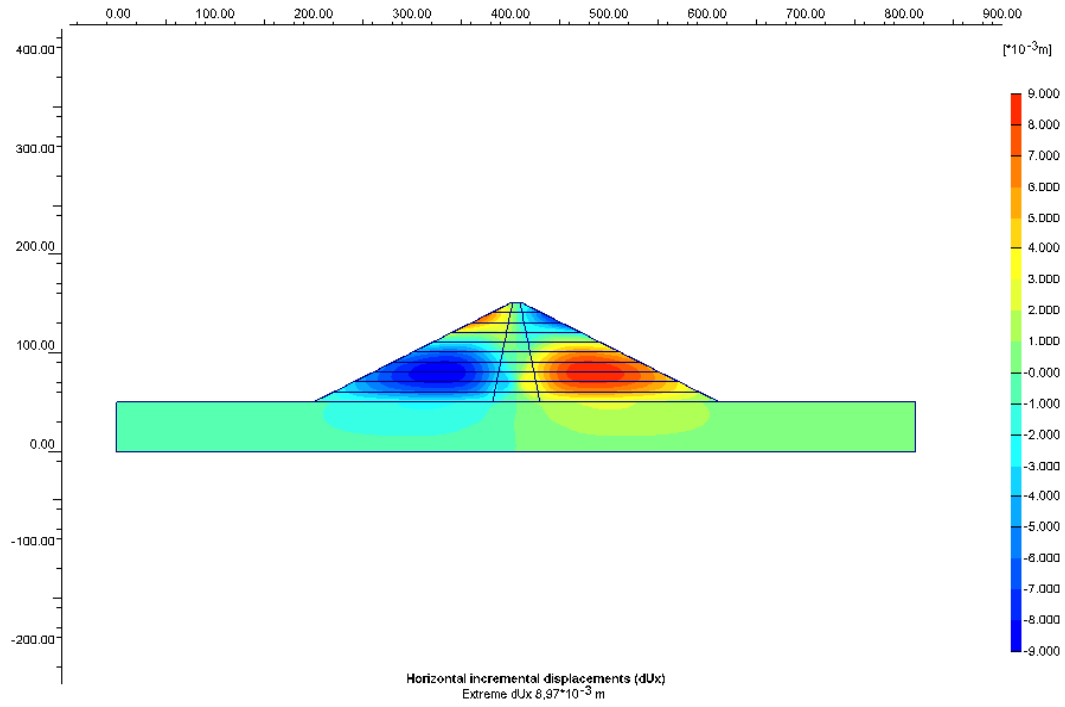
Şekil 5.92 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



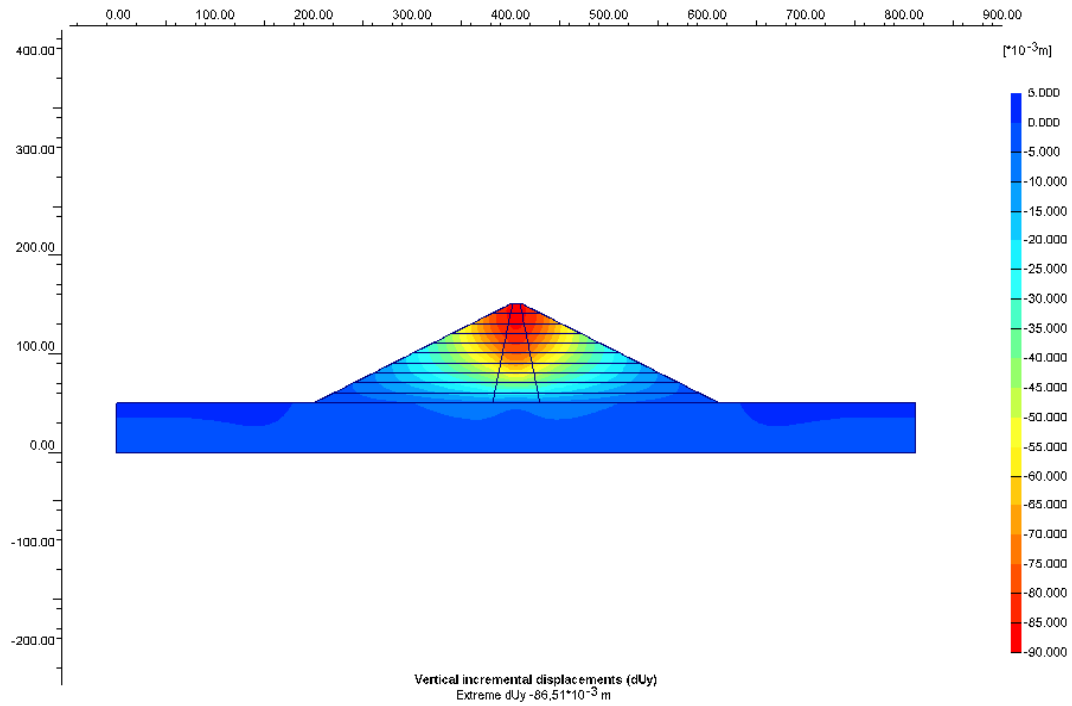
Şekil 5.93 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



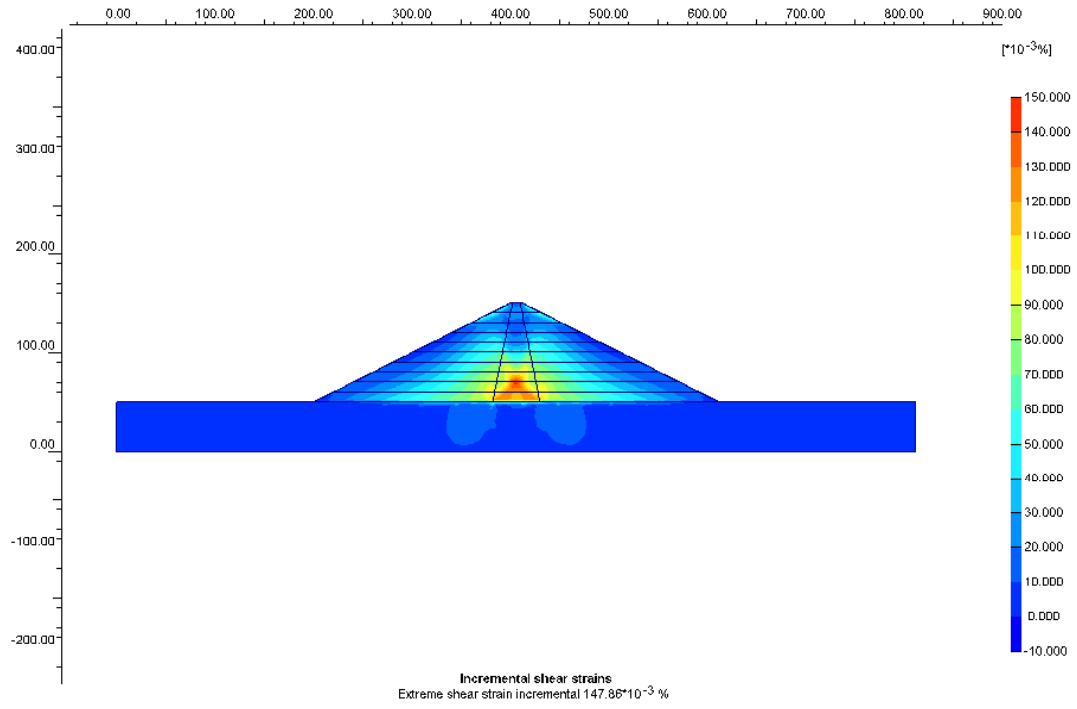
Şekil 5.94 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



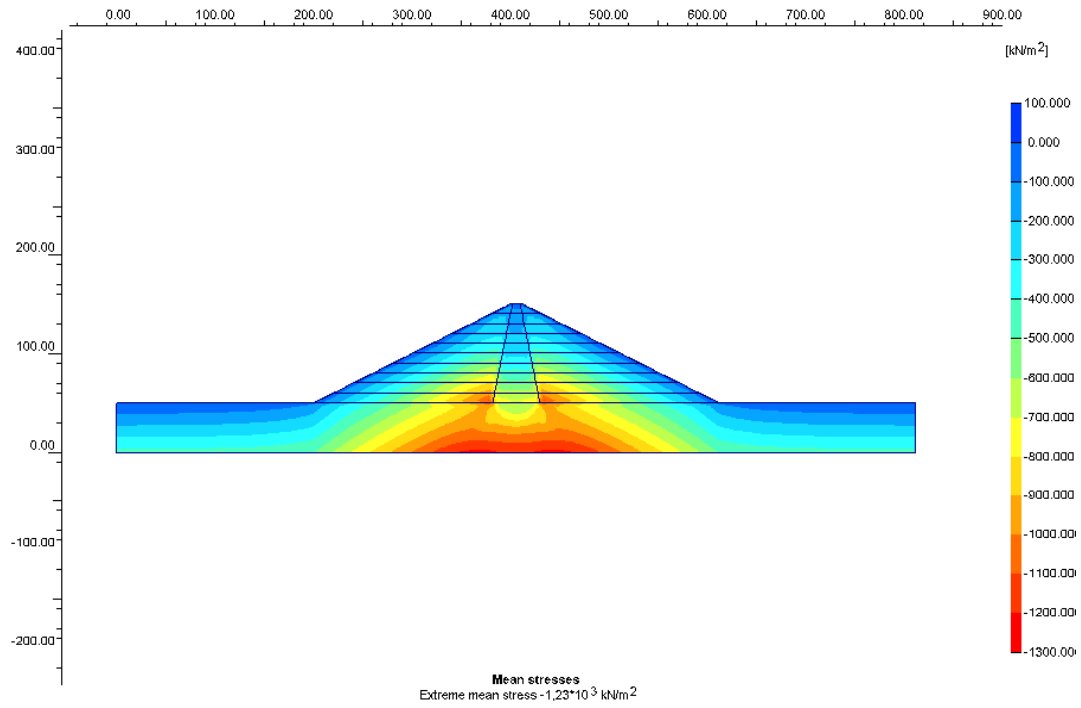
Şekil 5.95 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



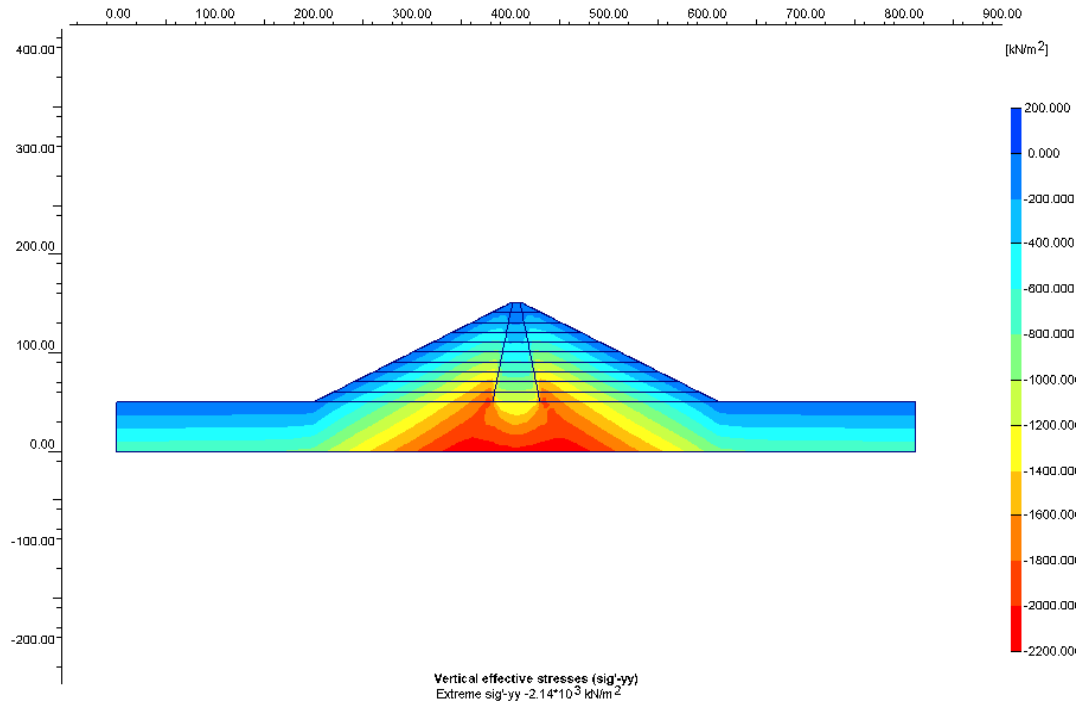
Şekil 5.96 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



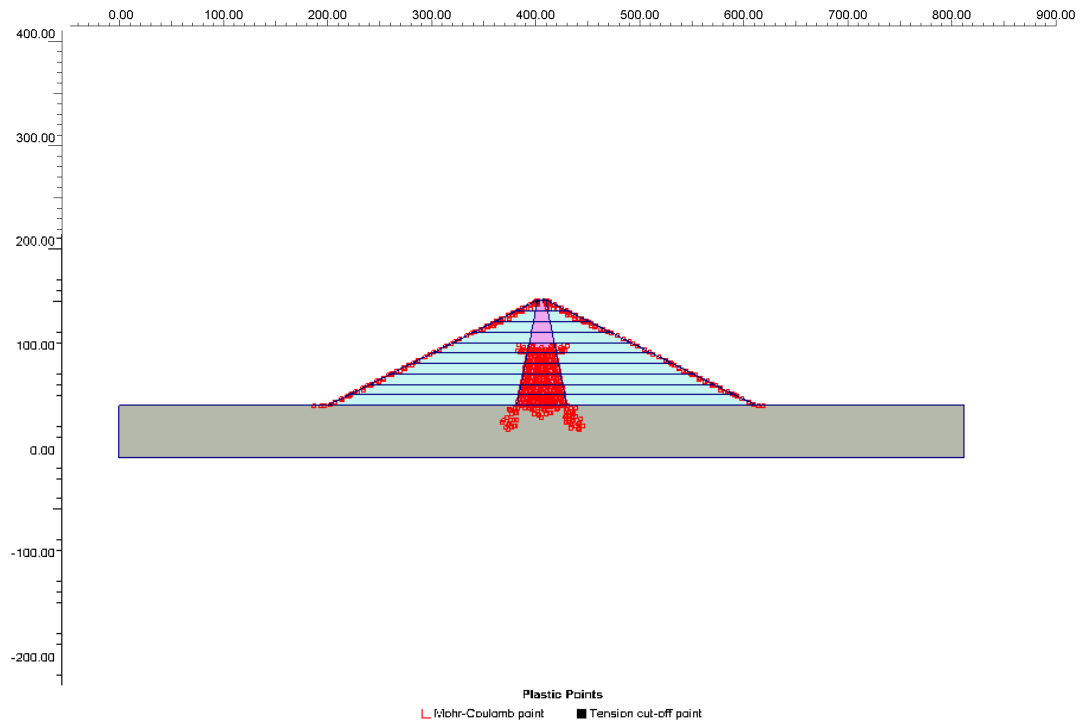
Şekil 5.97 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.98 Etkili gerilmeler



Şekil 5.99 Etkili gerilmeler

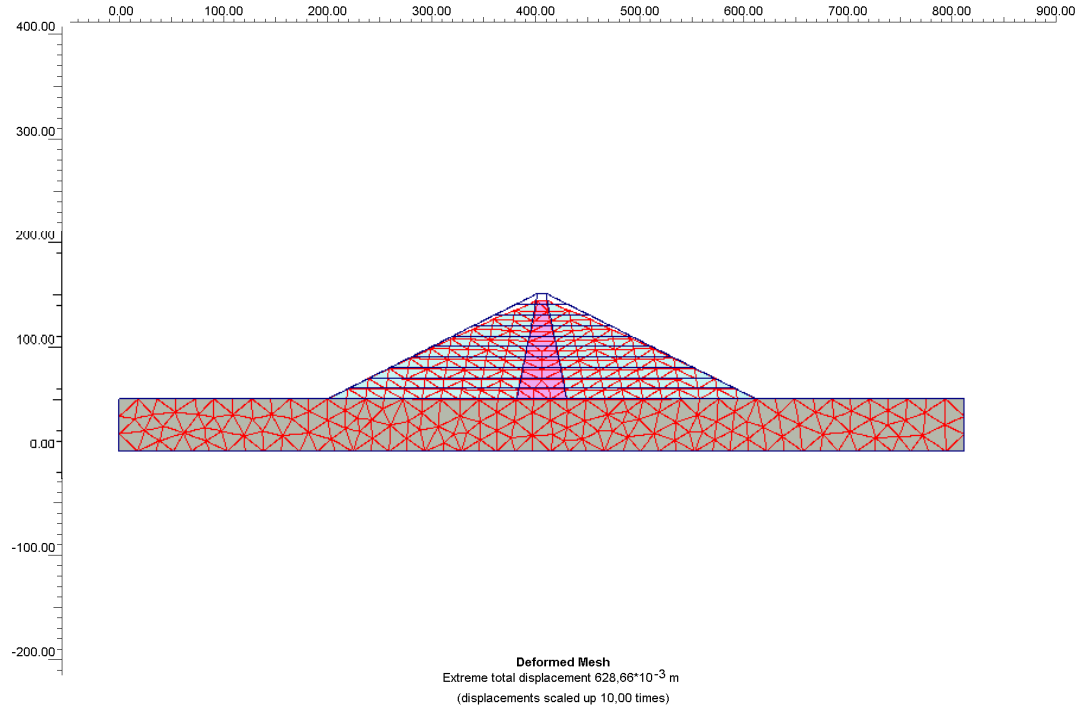


Şekil 5.100 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

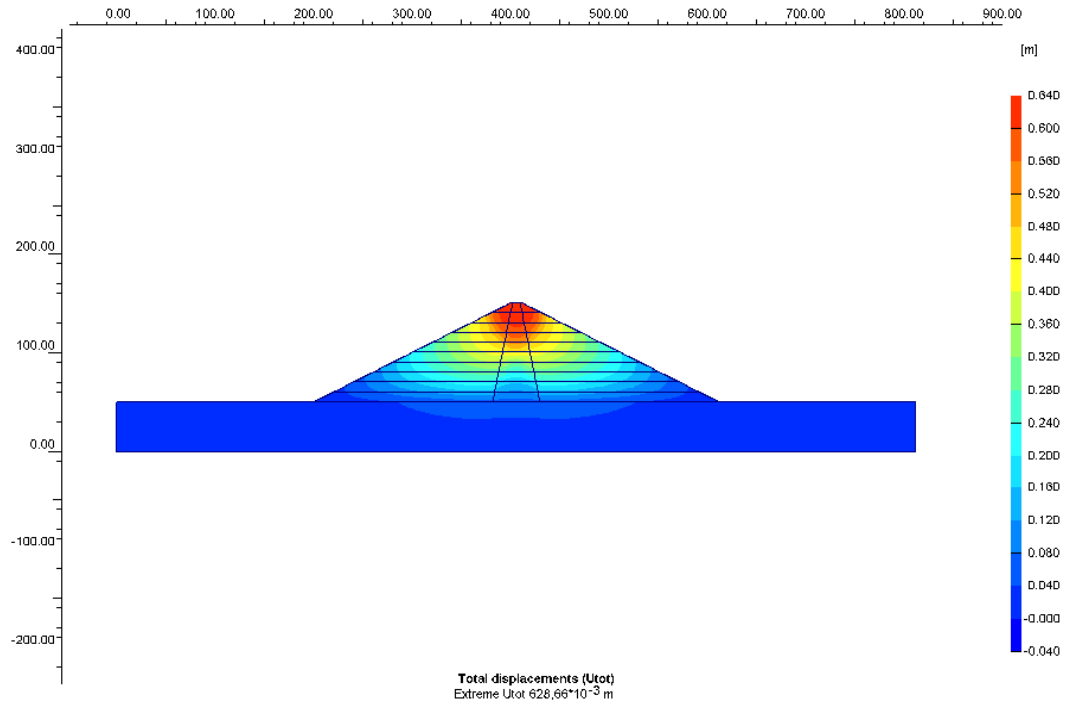
5.2.10. Tip 10 ve 3. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.101'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

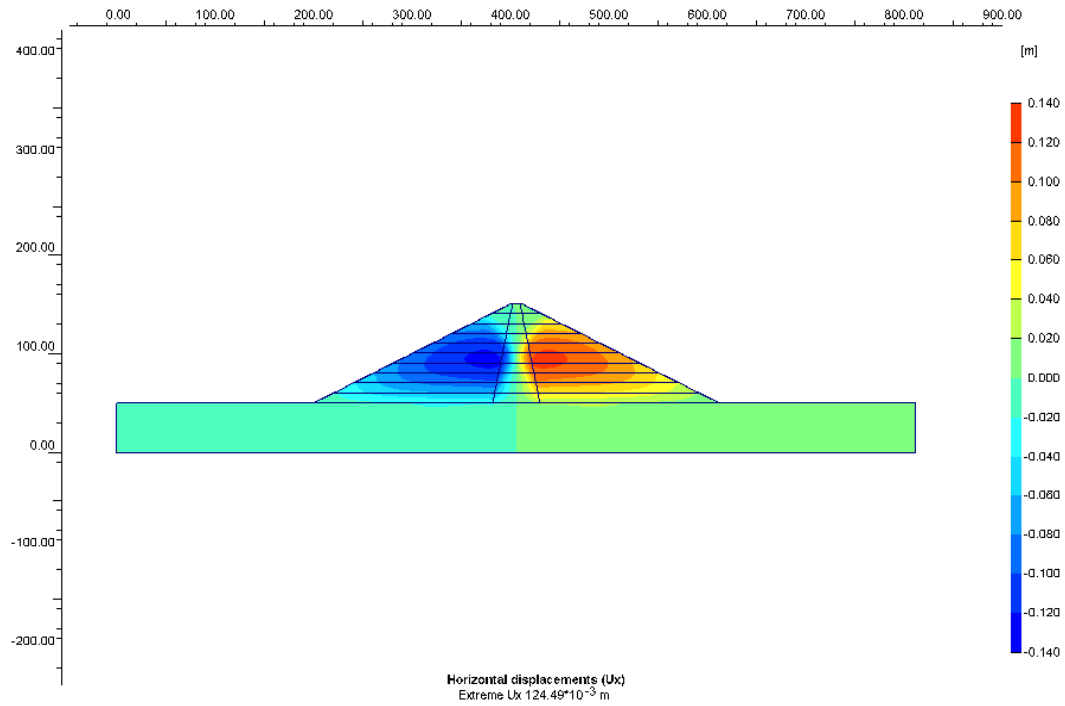
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 3. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir.



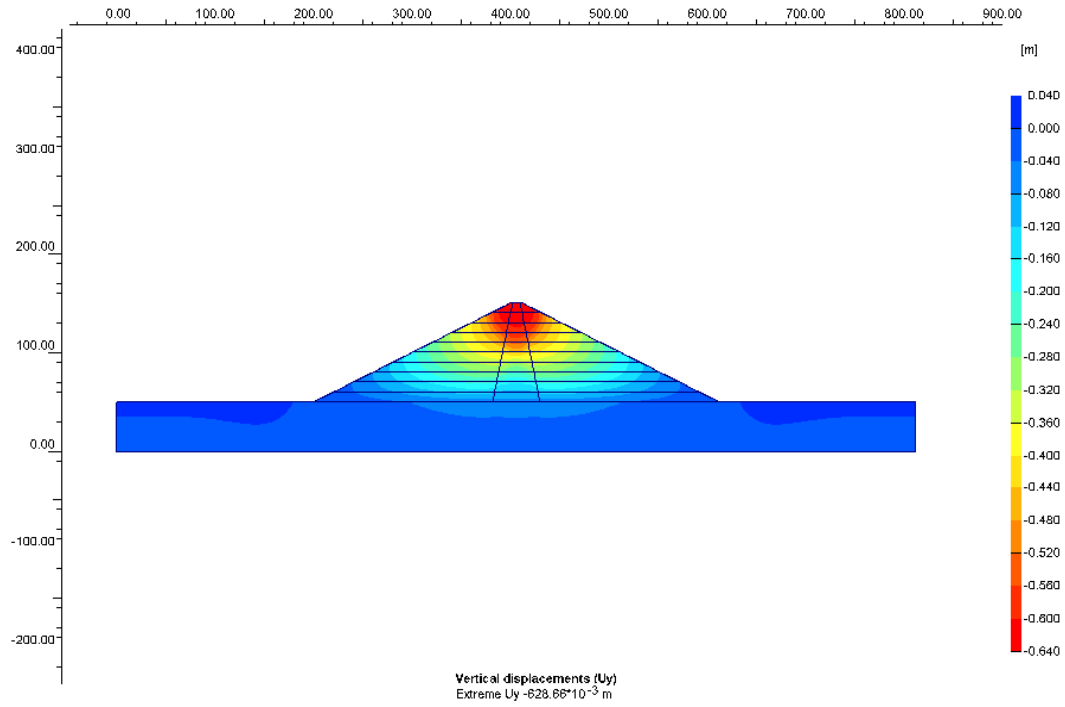
Şekil 5.101 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



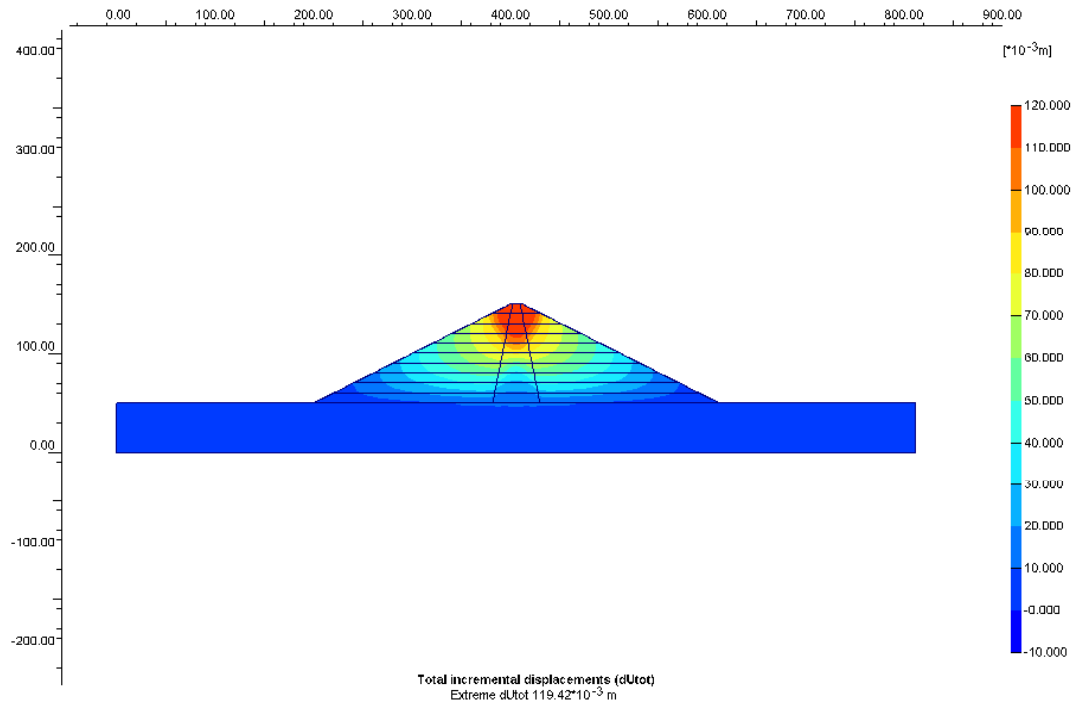
Şekil 5.102.Toplam deplasmanın görüntülenmesi



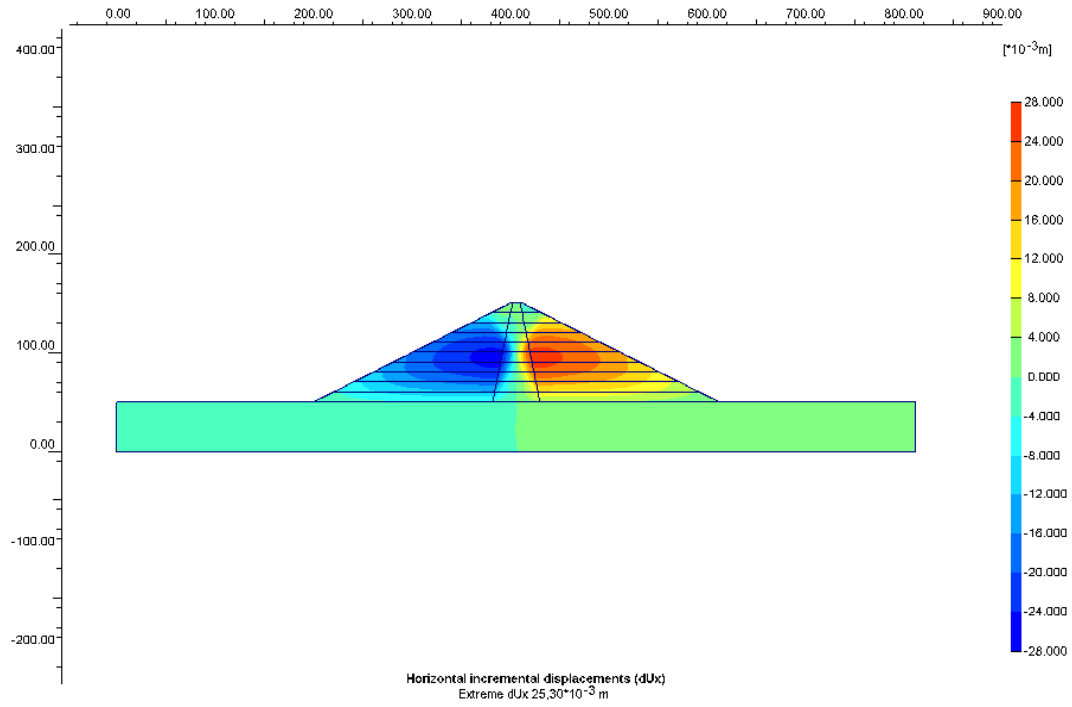
Şekil 5.103 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



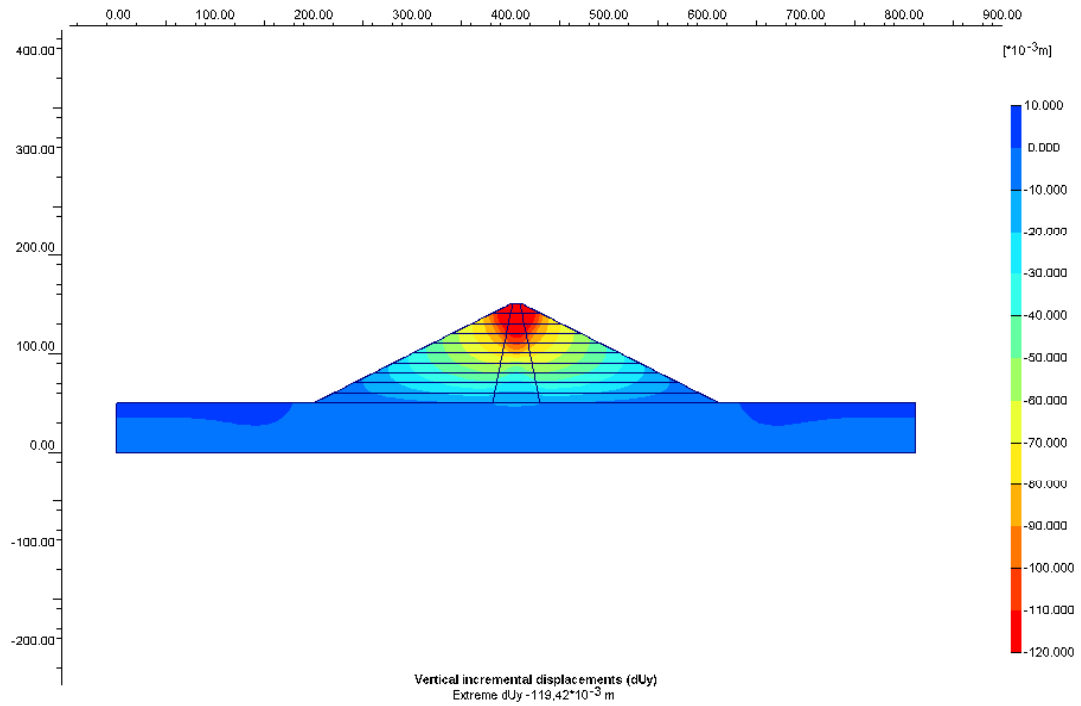
Şekil 5.104 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



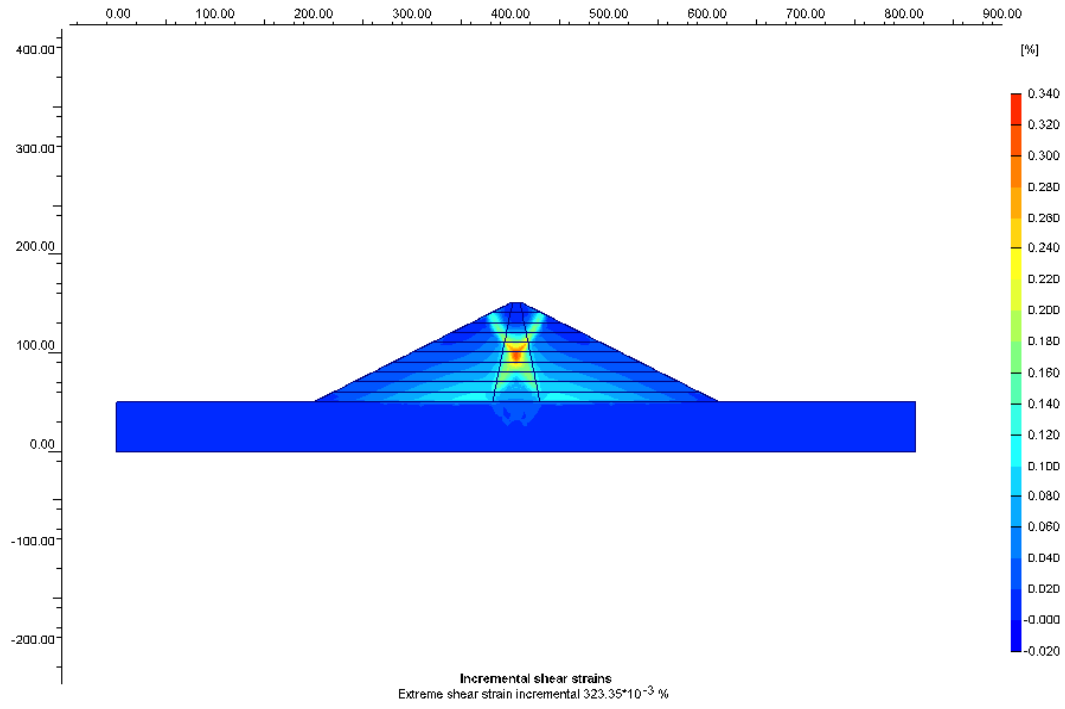
Şekil 5.105 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



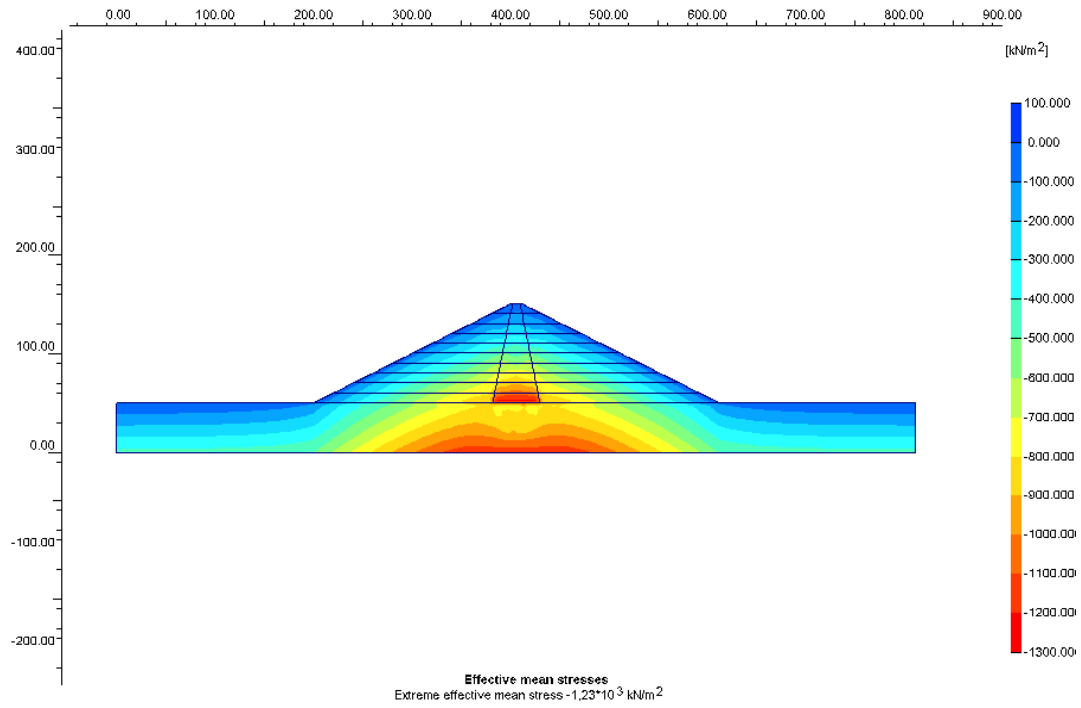
Şekil 5.106 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



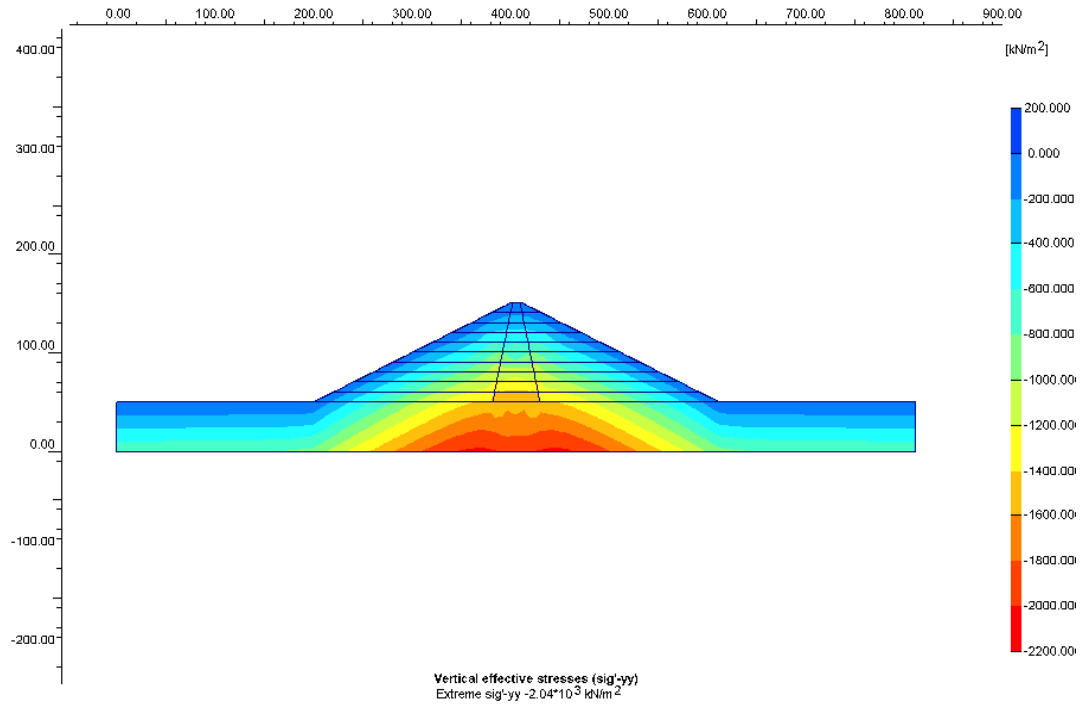
Şekil 5.107 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



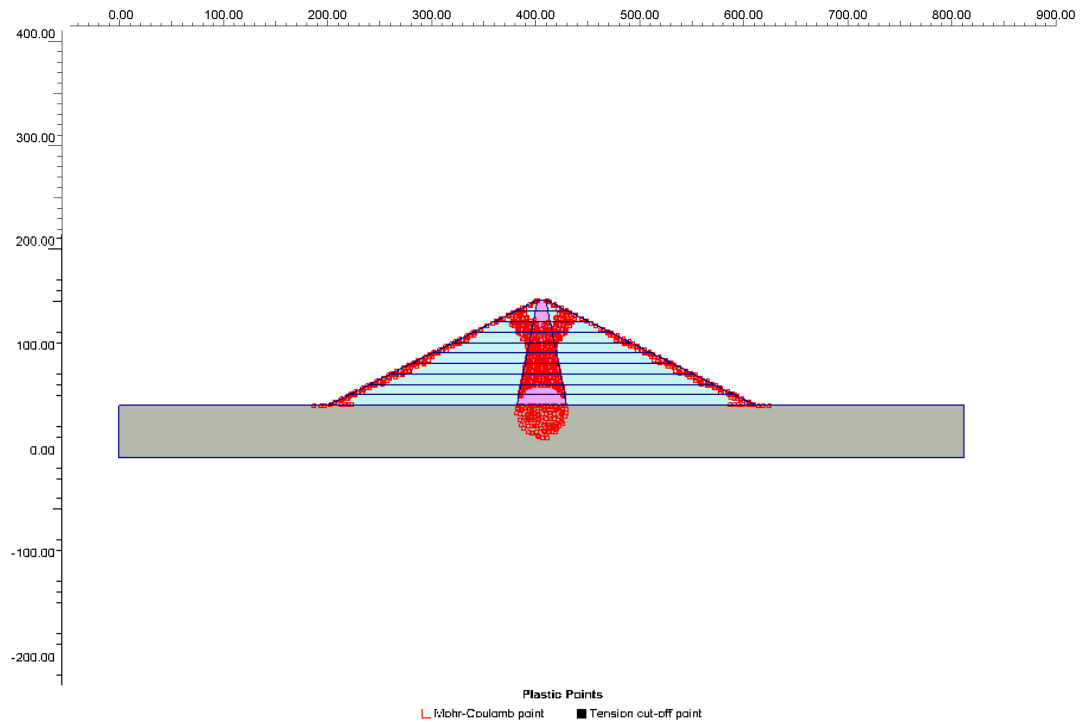
Şekil 5.108 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.109 Etkili gerilmeler



Şekil 5.110 Etkili gerilmeler

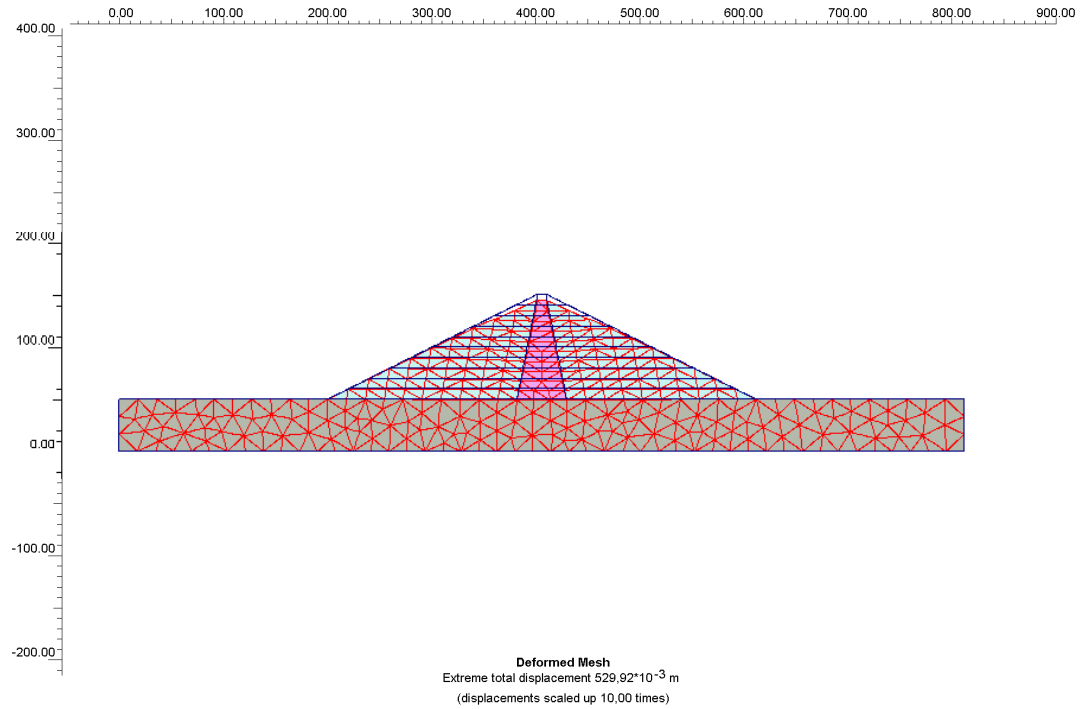


Şekil 5.111 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

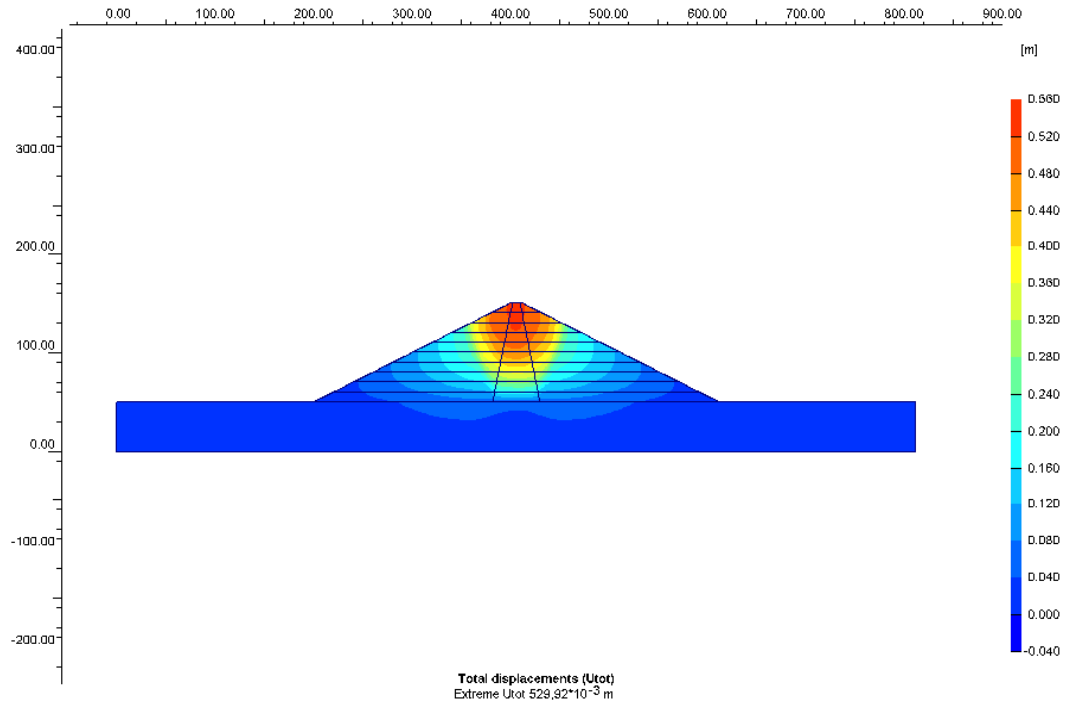
5.2.11. Tip 11 ve 4. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.112'de görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

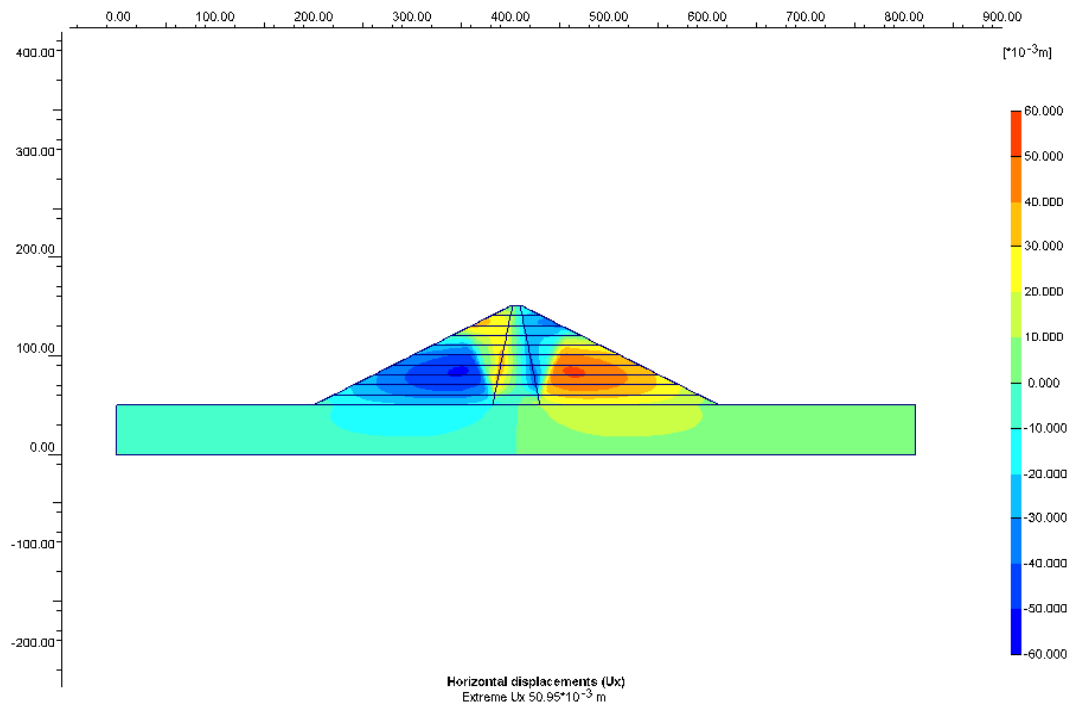
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 4. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir



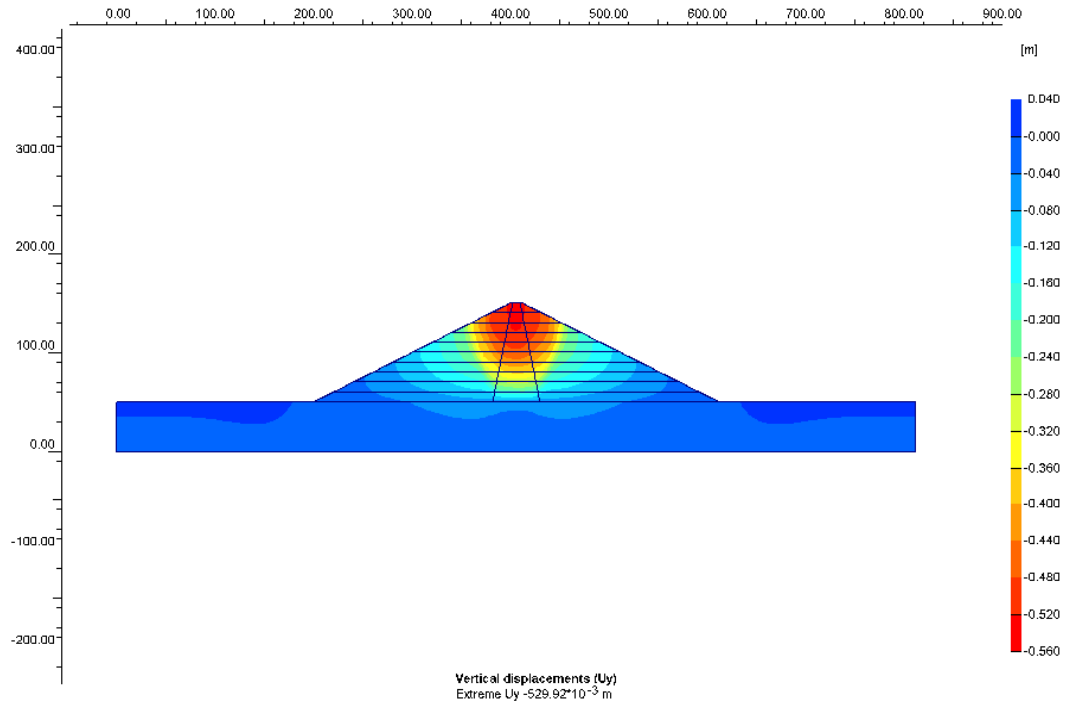
Şekil 5.112 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



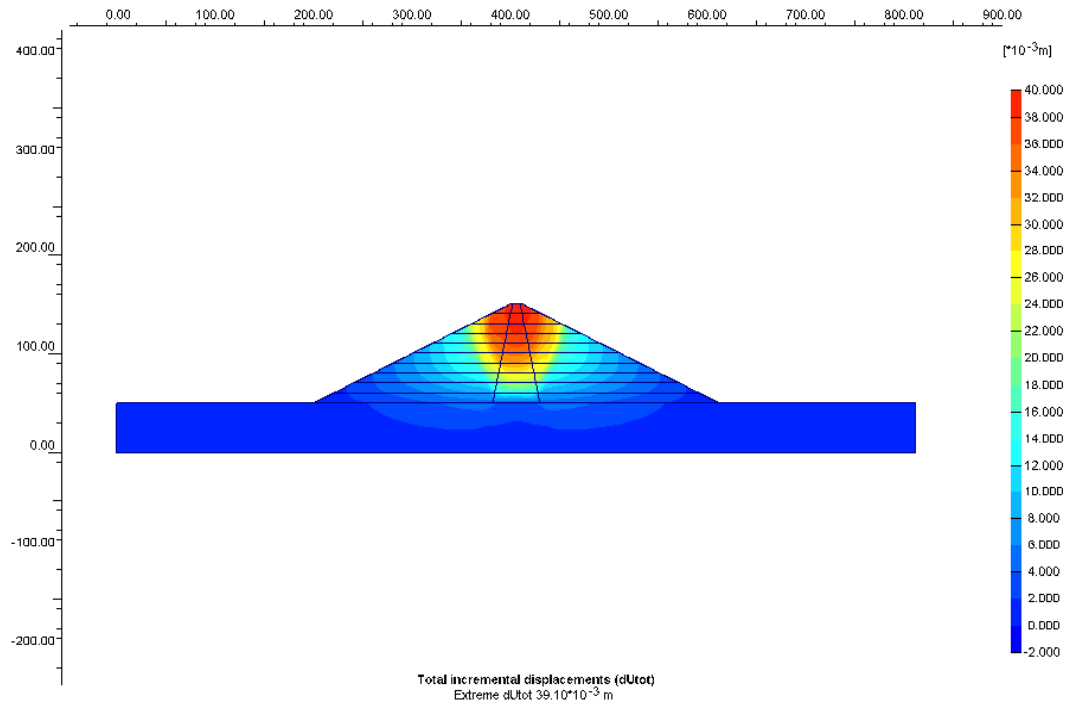
Şekil 5.113 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



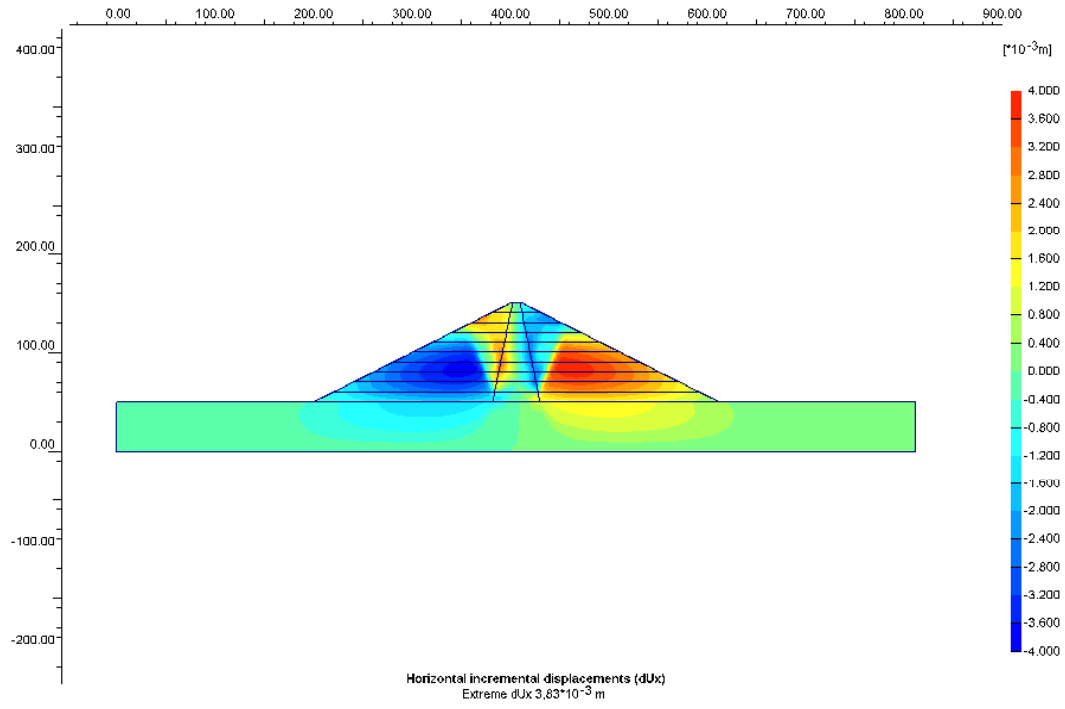
Şekil 5.114 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



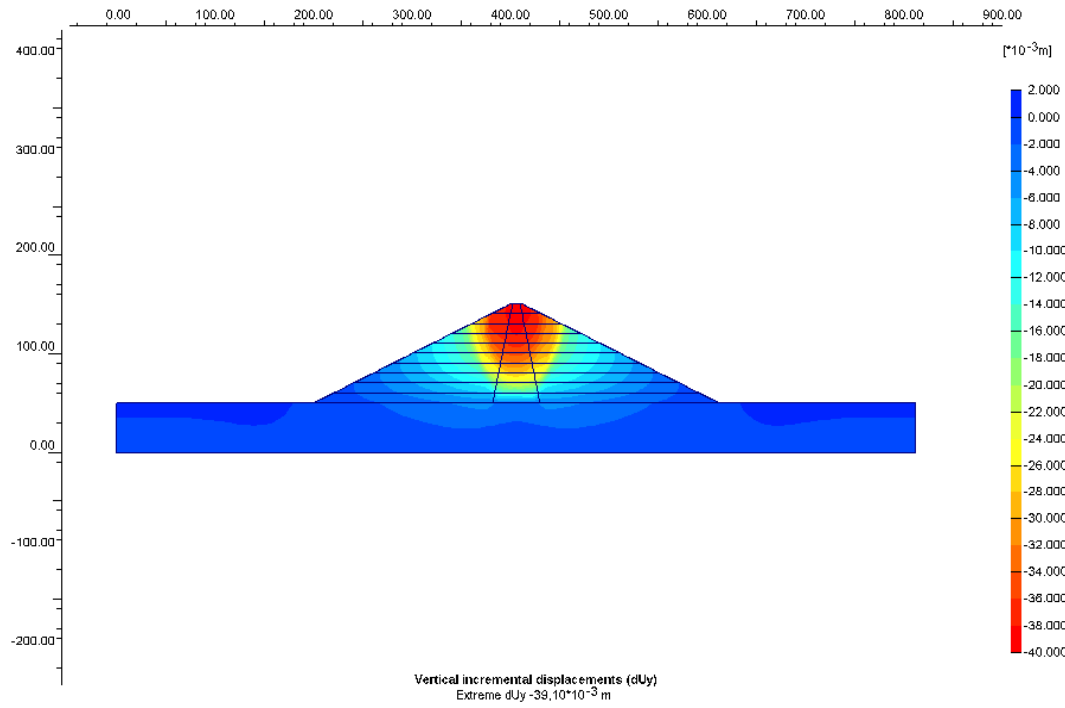
Şekil 5.115 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



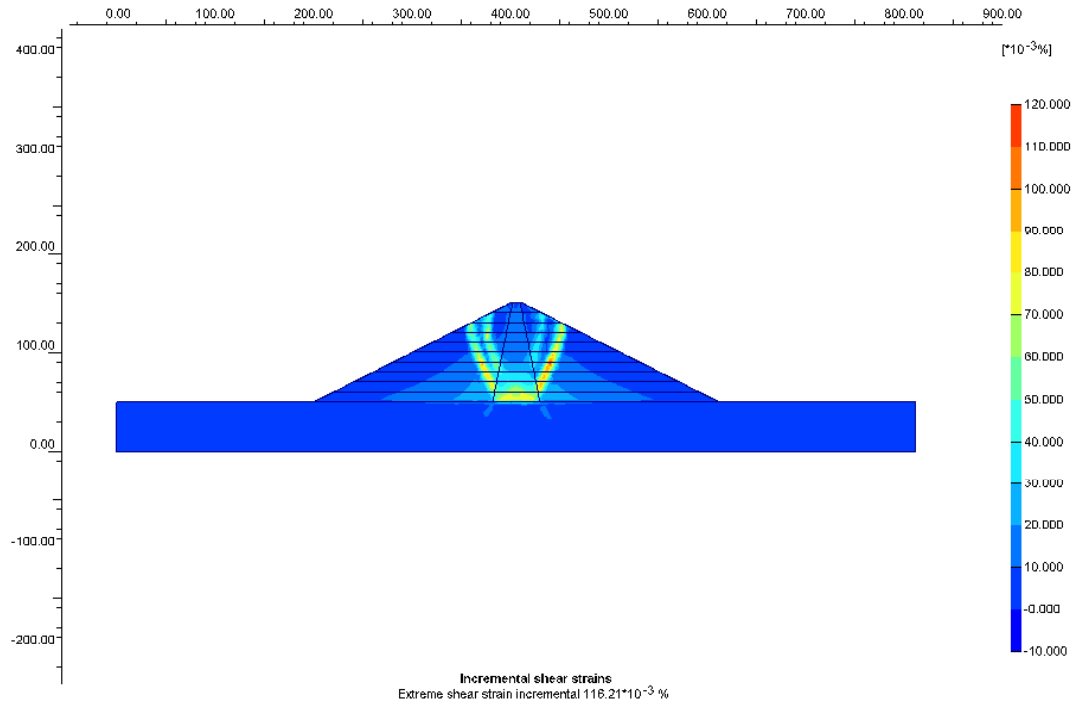
Şekil 5.116 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



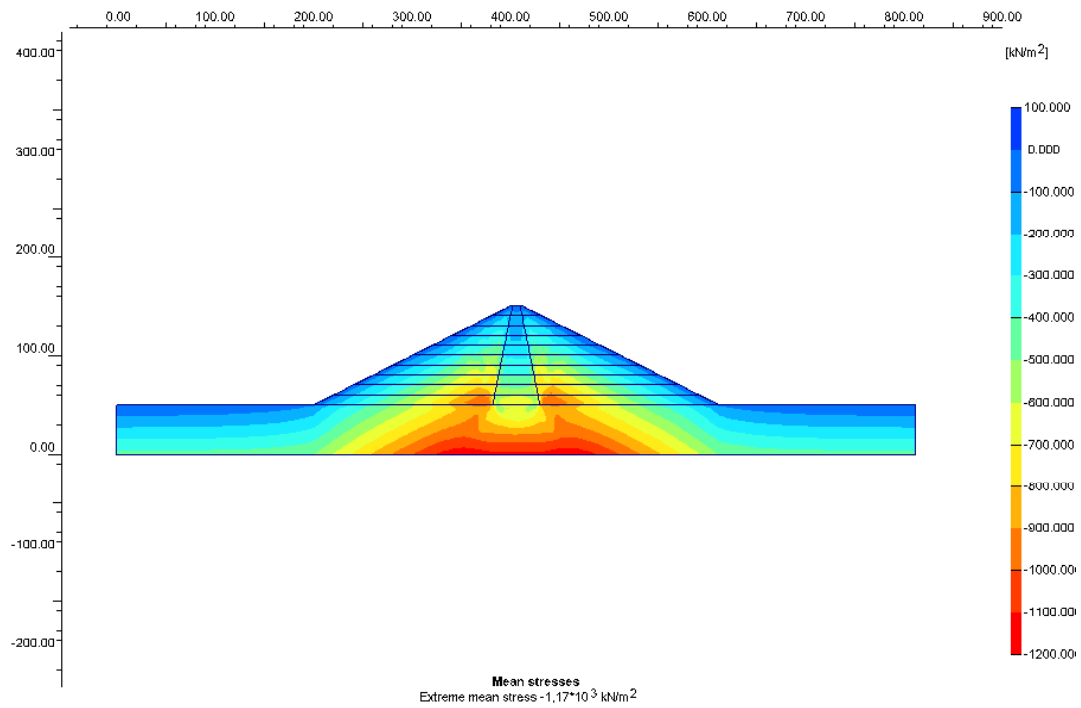
Şekil 5.117 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



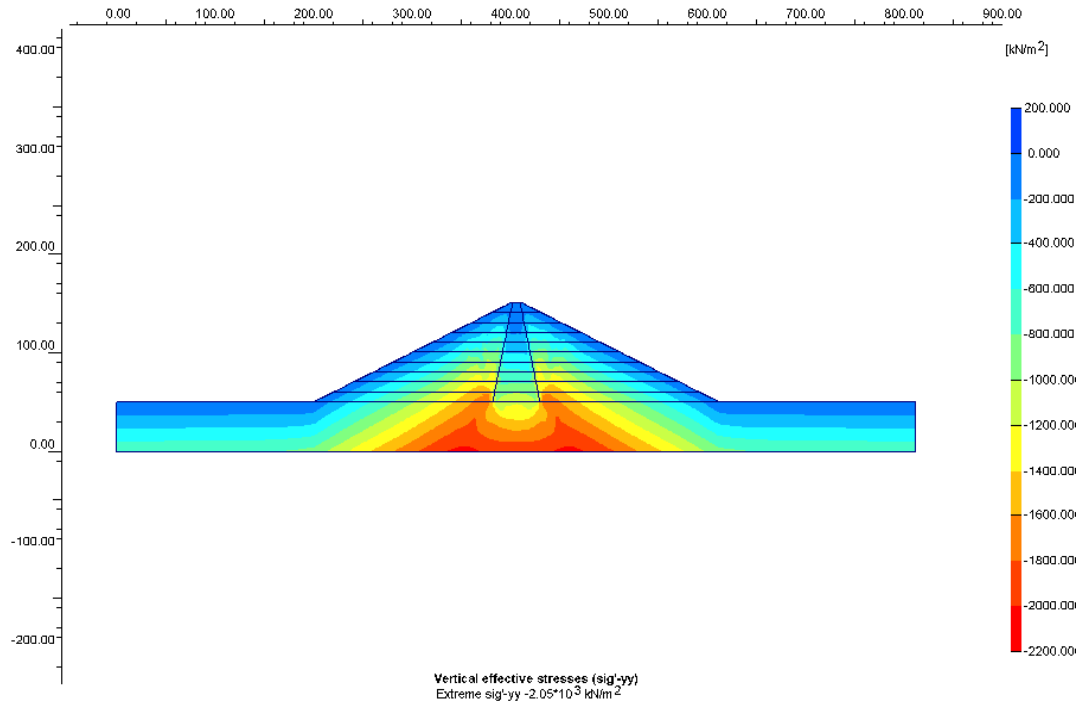
Şekil 5.118 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



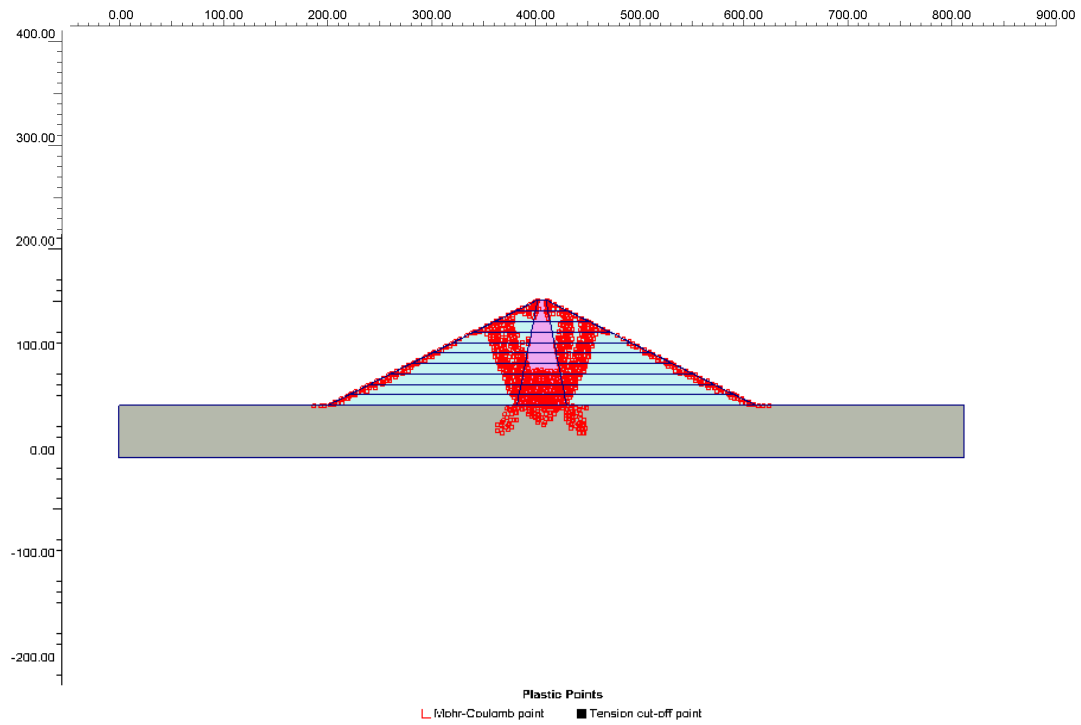
Şekil 5.119 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.120 Etkili gerilmeler



Şekil 5.121 Etkili gerilmeler

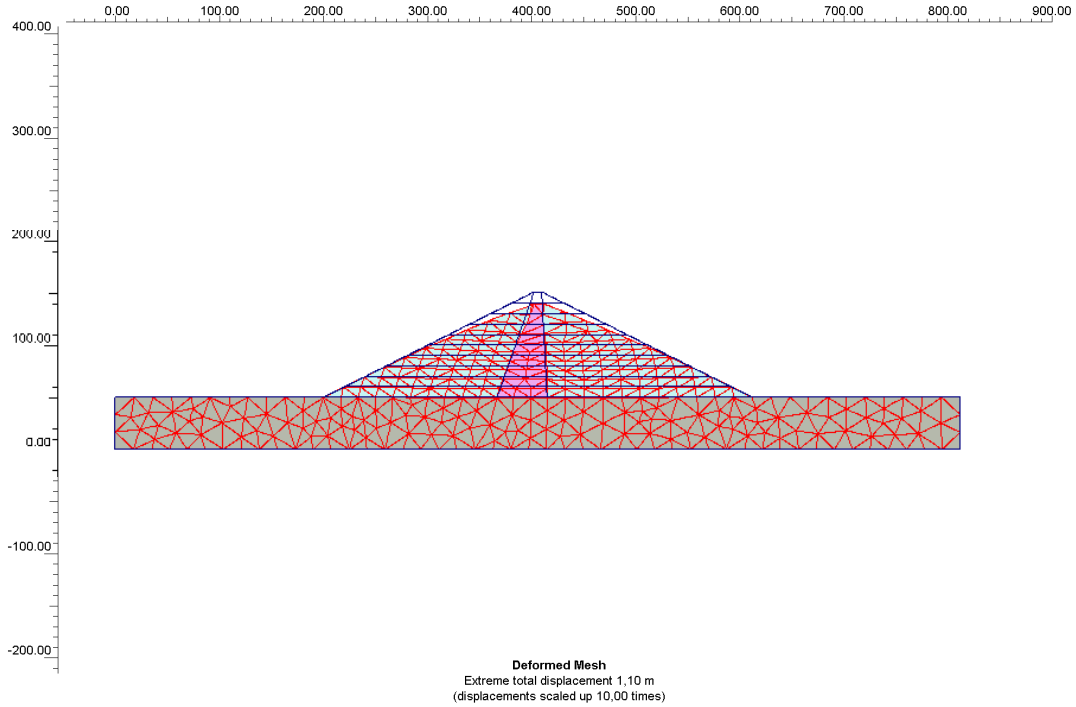


Şekil 5.122 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

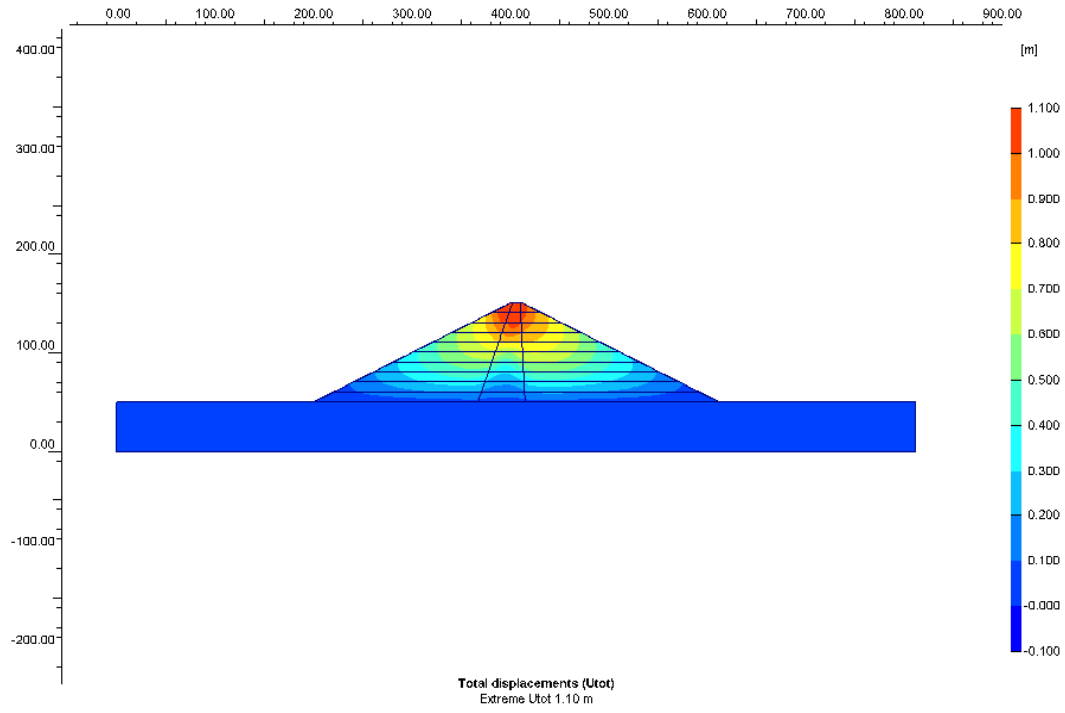
5.2.12. Tip 12 ve 1. grup malzeme analizleri

Bu kesit Plaxis'te düzlem gerilme (*plain strain*) olarak modellenmiştir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunabilmektedir. Analizler için Plaxis'te onbeş düğüm noktalı (nod'lu) sonlu elemanlar kullanılmış. Yüklemeler (*Loads*) seçeneğindeki Standart sabitlemeler (*Standart fixities*) sınır koşulları tanımlamak için kullanılır. Temel sınırlarını otomatik olarak atmaktadır. Barajın Plaxis'teki modeli ve sonlu elemanlara ayrılmış modeli şekil 5.123'te görülmektedir. Analizlerde inşaat sonu için, gövde malzemesi kuru ve tam drenajlı kabul edilmiştir.

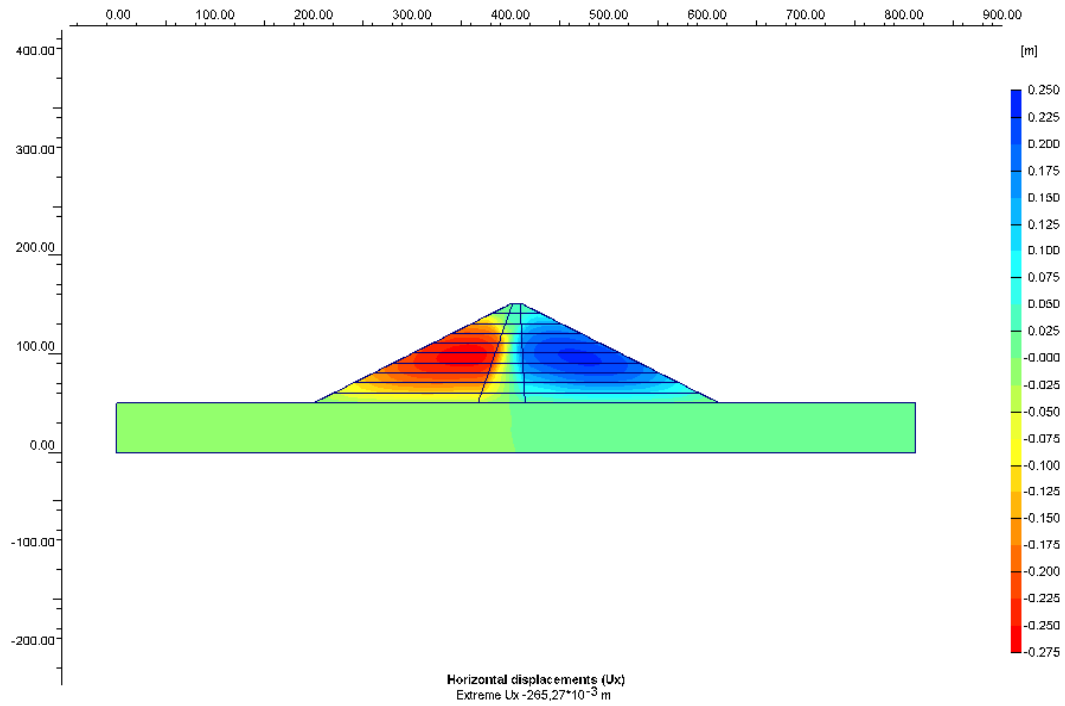
Malzeme modeli için Mohr-Coulomb seçilmiştir. Malzeme gurubu olarak 1. grup malzeme seçilmiştir. Malzeme özellikleri tablo 5.1' de verilmiştir.



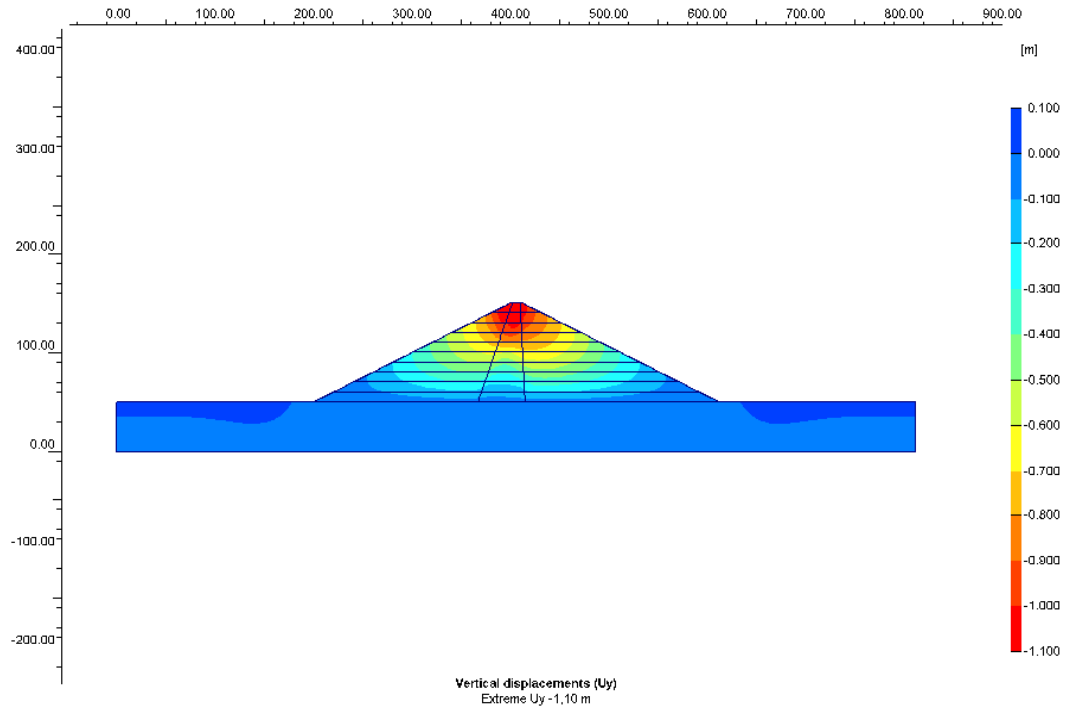
Şekil 5.123 Barajın sonlu elemanlara ayrılmış geometrisi



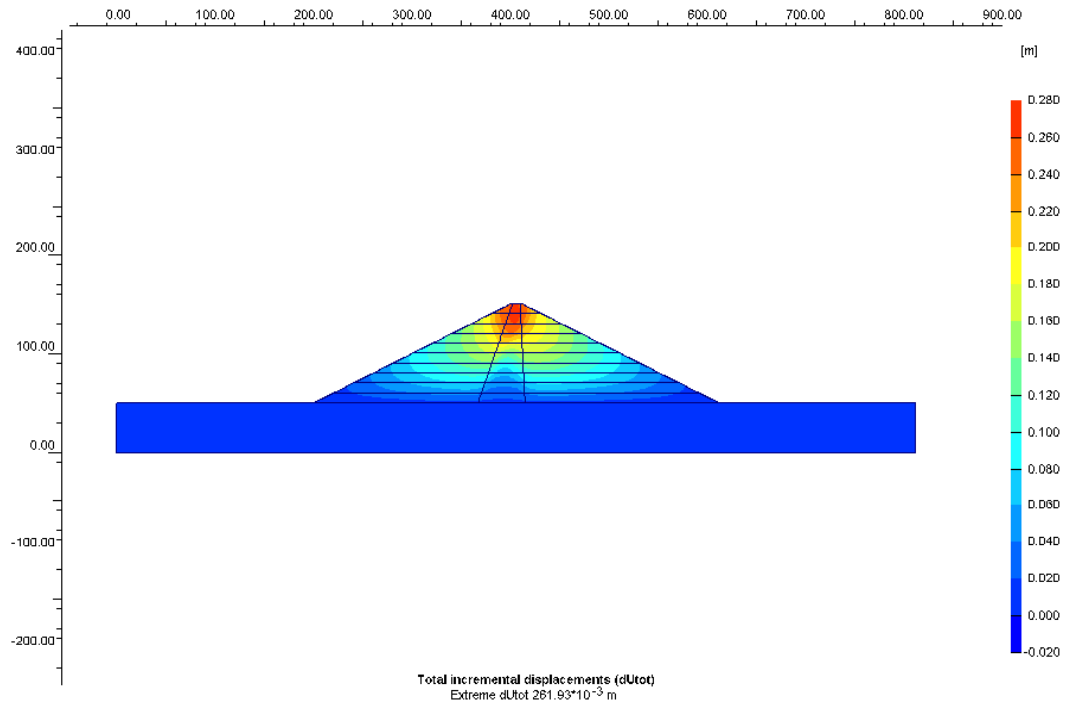
Şekil 5.124 Toplam deplasmanın görüntülenmesi



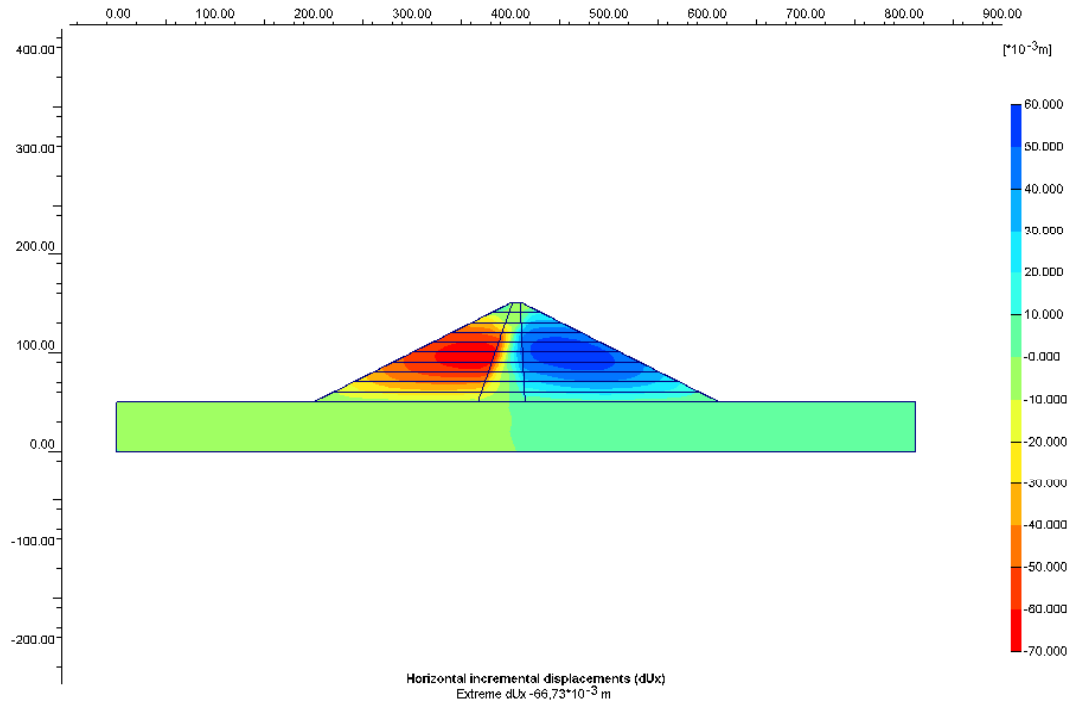
Şekil 5.125 Yatay deplasmanın görüntülenmesi



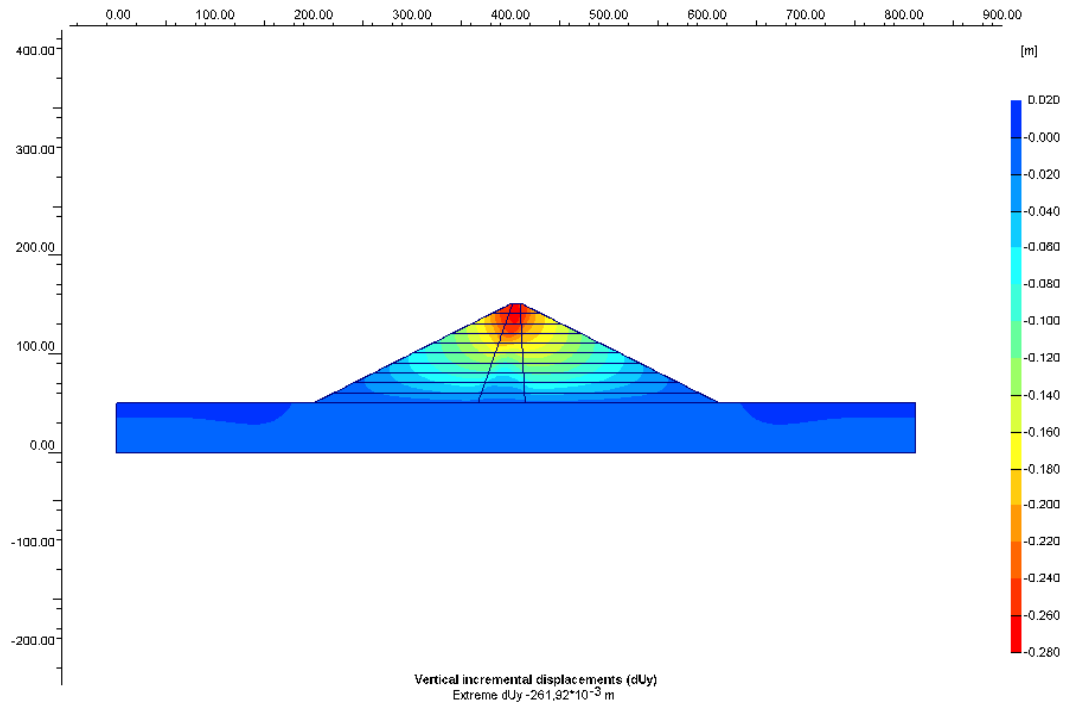
Şekil 5.126 Dikey deplasmanın görüntülenmesi



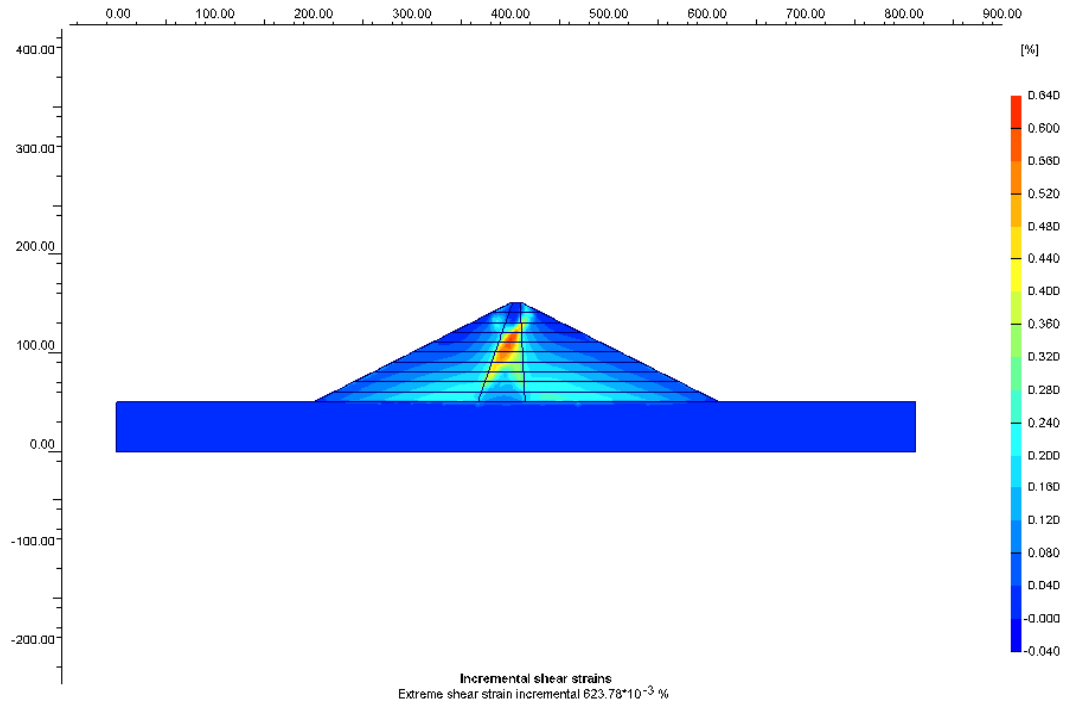
Şekil 5.127 Toplam artımsal deplasmanın görüntülenmesi



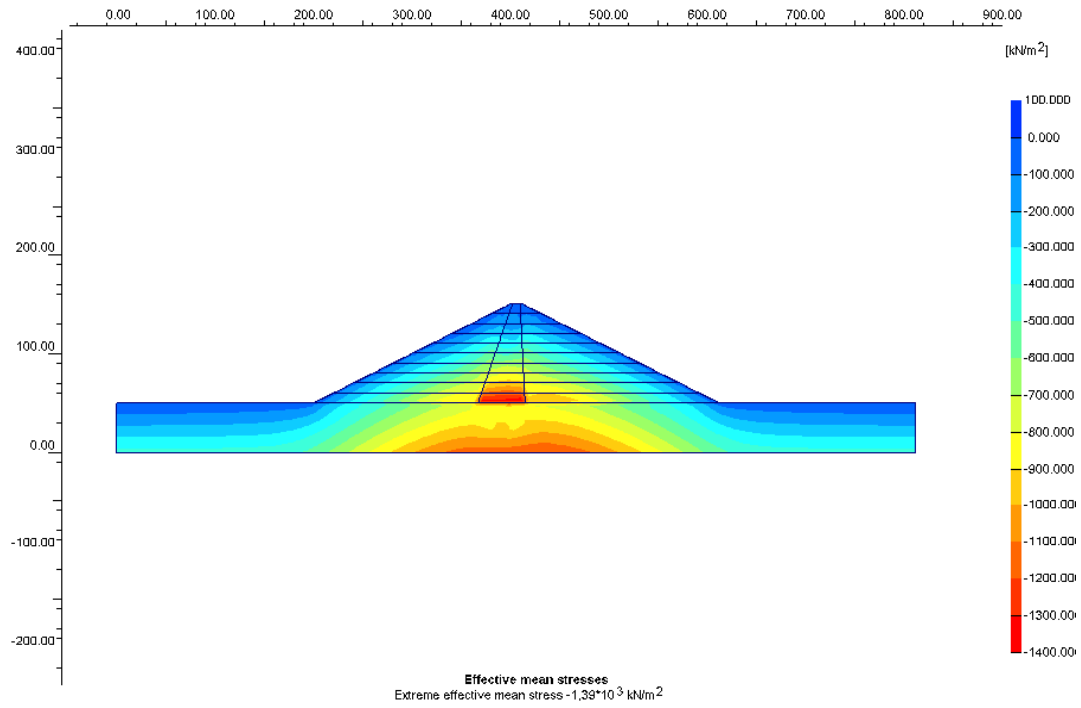
Şekil 5.128 Yatay artımsal deplasmanın görüntülenmesi



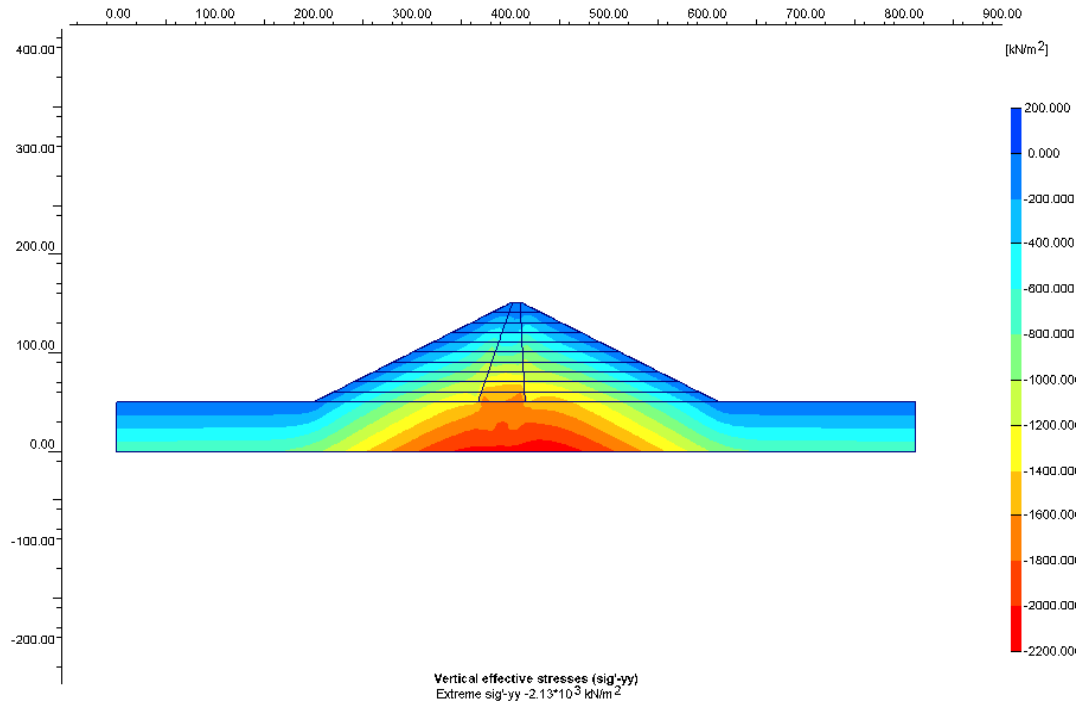
Şekil 5.129 Dikey artımsal deplasmanın görüntülenmesi



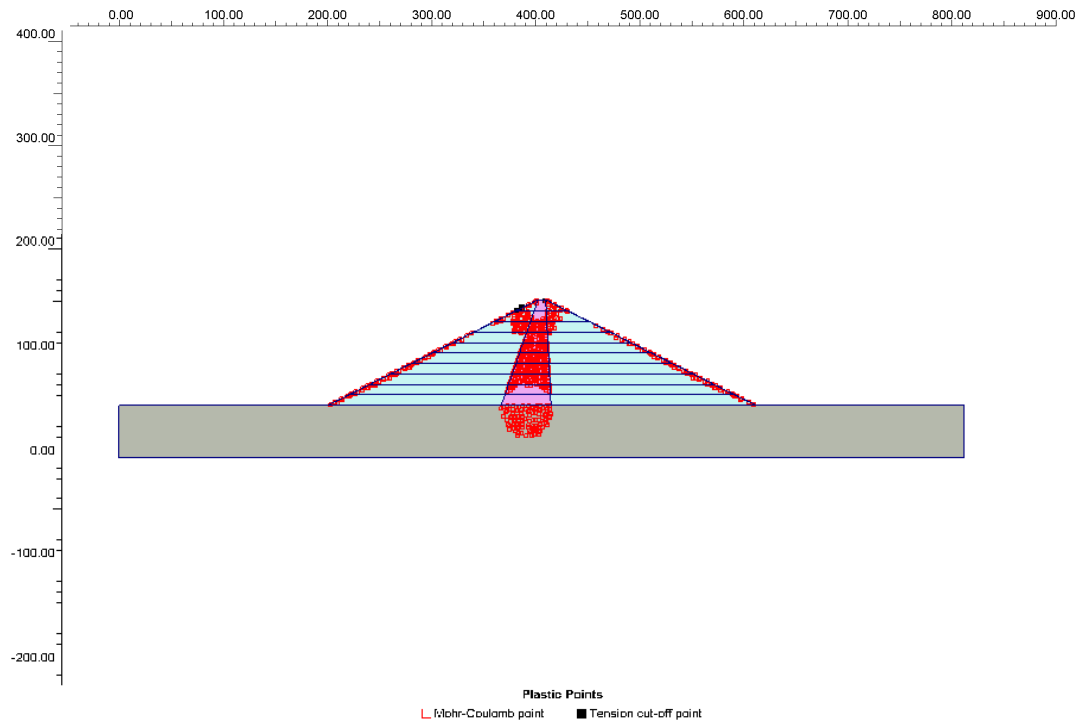
Şekil 5.130 Artımsal kayma gerilmeleri



Şekil 5.131 Etkili gerilmeler



Şekil 5.132 Etkili gerilmeler



Şekil 5.133 Plastik noktalar: akma noktasına ulaşmış noktalar

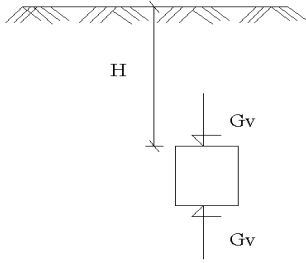
6. BARAJ GÖVDESİNDEKİ GERİLMELERİN HESAPLANMASI

Şekil 6.1’de görüldüğü gibi, zemin mekaniğinde H derinliğinde bir noktadan ele alınan bir zemin elemanın düşey gerilmesi $G_{vertical}$ 6.1 eşitliği kullanılarak belirlenebilir.

$$G_v = k \cdot \gamma \cdot H \quad (6.1)$$

Burada k zemin cinsine göre değişen bir katsayıdır. Düşey gerilme oranı olarak adlandırılır. 6.1 eşitliğinden k değeri çekilirse,

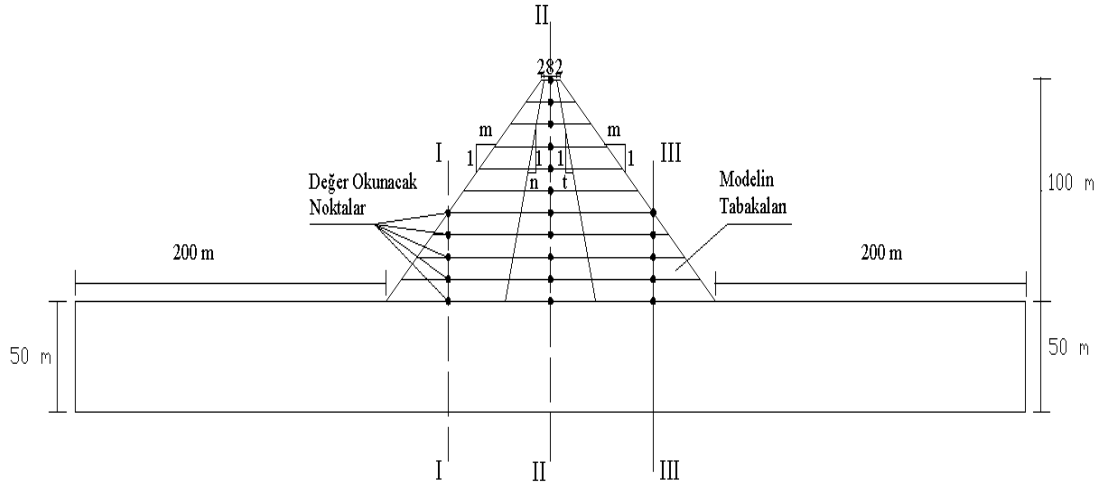
$$k = \frac{G_v}{\gamma H_1} \quad (6.2)$$



Şekil 6.1 Zemin mekaniğinde H derinliğinde bir noktadan ele alınan bir zemin elemanın düşey gerilmesi

Aynı düşünce ile baraj dolgusu içerisindeki herhangi bir nokta üzerindeki G_v düşey gerilme değeri bilinirse k değerleri elde edilerek genel bir değişimi inceleyebiliriz.

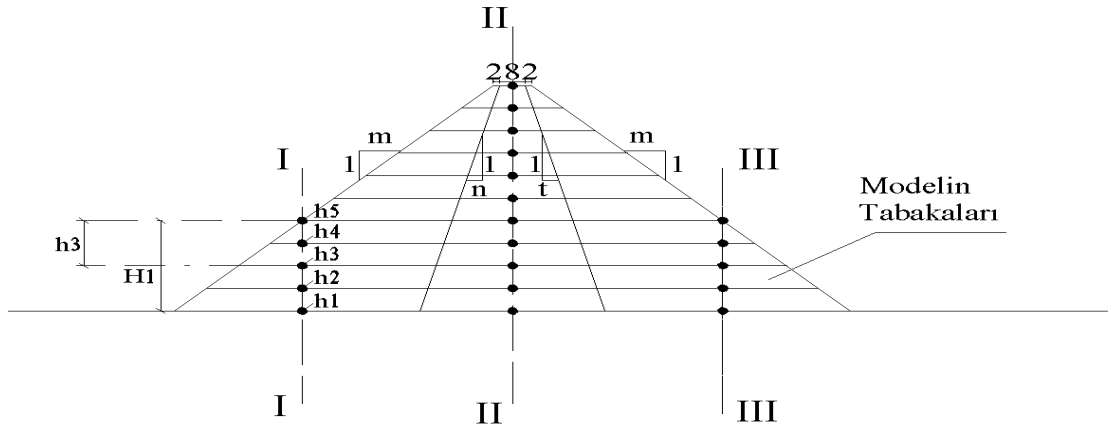
Analizler 12 farklı baraj enkesiti için gerçekleştirilmiştir. Her bir enkesit tipi üzerinde I-I , II-II , III-III kesitleri çizilmiştir. Sonra her kesit üzerindeki noktalardaki düşey gerilme (*vertical stress*) değerleri okunmuştur (Şekil 6.2). Düşey gerilme değerleri okunurken o notadaki h/H değerleri de dikkate alınmıştır.



Şekil 6.2 Analizi yapılan baraj üzerinden G_v değerlerinin okunduğu noktalar

Şekil 6.3'te I-I ekseninde 3 numaralı noktanın h/H değerinin hesaplanmasına ait bir örnek verilmiştir. Böylece h/H oranı,

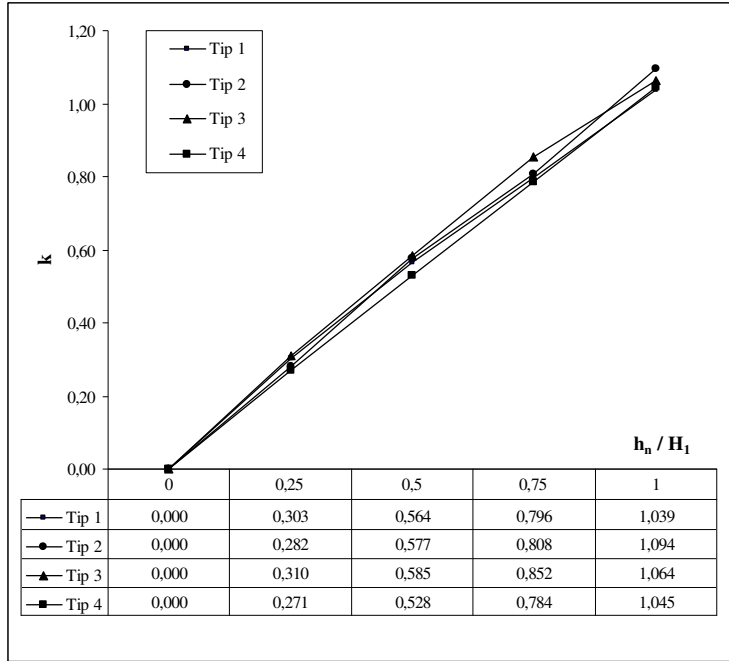
$h/H = h_3 / H_1$ şeklinde hesaplanabilir.



Şekil 6.3 h/H oranının bulunması

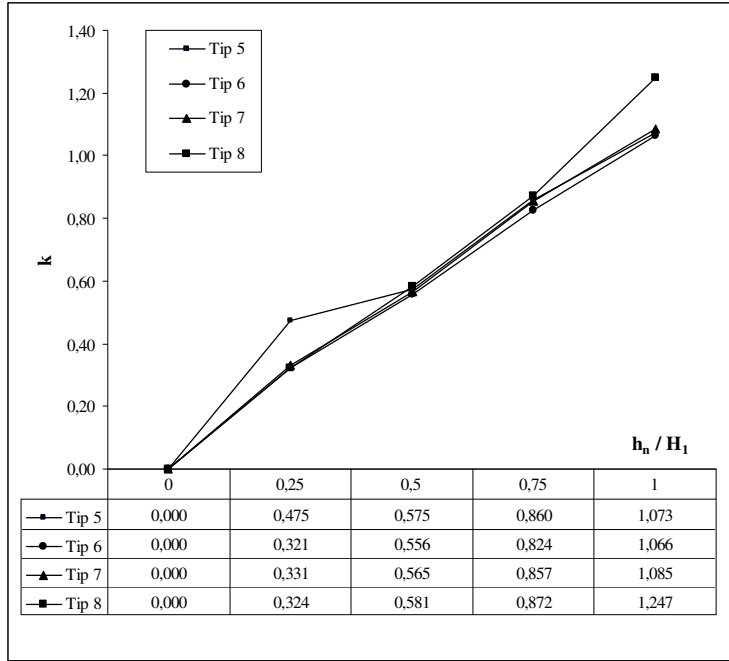
Bu şekilde okunan ve hesaplanan değerlere göre üç eksen için k ve h/H değerleri ile grafikler çizilir. Simetrik olduğundan I-I ile III-III eksenini aynıdır.

Bu çalışmada baraj temelinin rijitlik modülü oldukça yüksek alınarak temelin etkisi minimize edilmiştir.



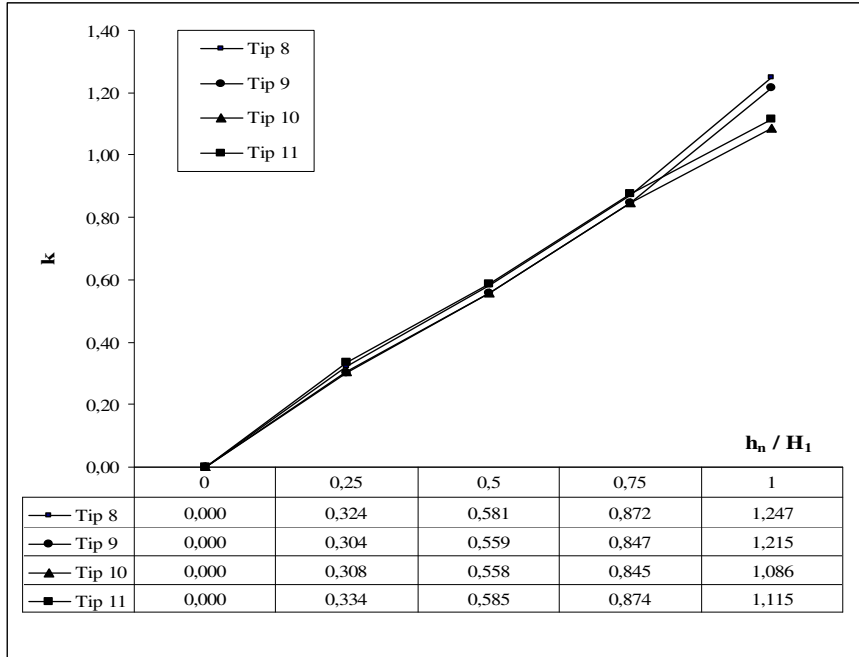
Şekil 6.4 Tip1- Tip 2- Tip 3- Tip 4 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

Gövde üzerinde alınan I-I ve III-III kesitlerinde 10 metre' de bir yapılan düşey gerilme değerlerine ait okumalarla gövde kabuk dolgusu şevlerinin gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. 1. grup malzeme kabuk dolgusu ile yaklaşık olarak aynı rijitlik değerine sahip bir dolgu baraj üzerinde, Tip1 ($n = t = 0,25$ iken $m = 1,8$), Tip 2 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,0$),-Tip 3 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,5$), Tip 4 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,75$) analizlerinde yatay ve düşey gerilme ve deplasman dağılımlarında kabuk dolgusu şevinin önemli bir parametre olmadığı görülmüştür. Bu durum gövde üzerinden alınan I-I kesitinden elde edilen düşey gerilme oranı değişiminin değişik kabuk şevleri için birbirine çok yakın olduğu şekil 6.4'te ve Plaxis çıktılarında (Şekil 5.11, 5.22, 5.33, 5.44) görülmektedir.



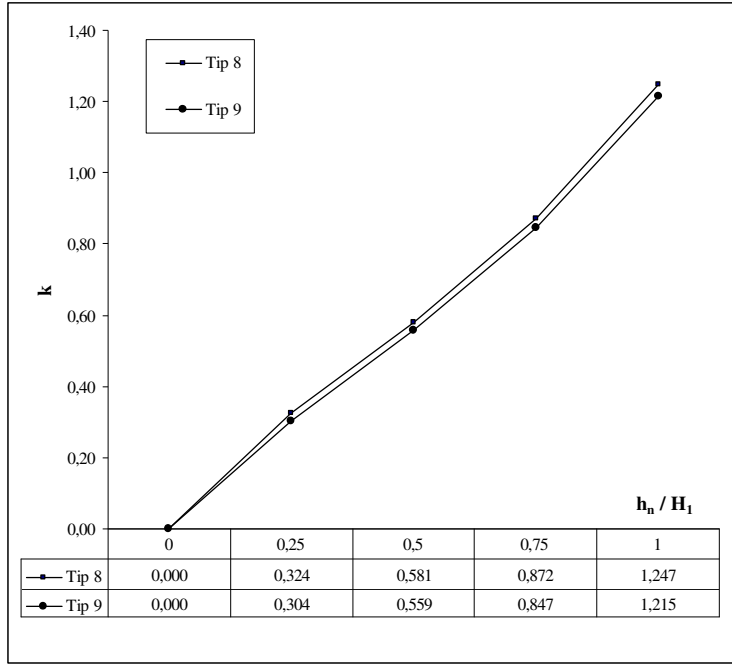
Şekil 6.5 Tip 5- Tip 6- Tip 7- Tip 8 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

Gövde üzerinde alınan I-I ve III-III kesitlerinde 10 m de bir yapılan düşey gerilme değerlerine ait okumalarla gövde kabuk dolgusu şevlerinin gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. 1. grup malzeme değerine sahip bir dolgu baraj üzerinde, Tip 5 ($m = 2$ iken $t = n = 0,5$), Tip 6 ($m = 2$ iken $t = n = 0,4$), Tip 7 ($m = 2$ iken $t = n = 0,3$), Tip 8 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) analizlerinde kil çekirdeğin memba ve mansap şevlerinin değişiminin kabuk dolgusu üzerindeki gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmektedir. Bu durum şekil 6.5'te ve plaxis çıktılarında (Şekil 5.55, 5.66, 5.77, 5.88) açıkça görülmektedir

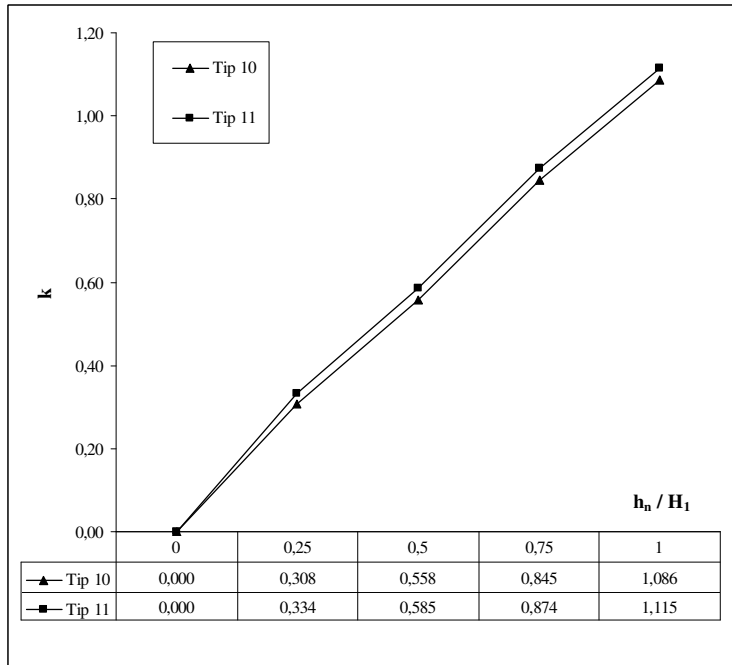


Şekil 6.6 Tip 8- Tip 9- Tip 10- Tip 11 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

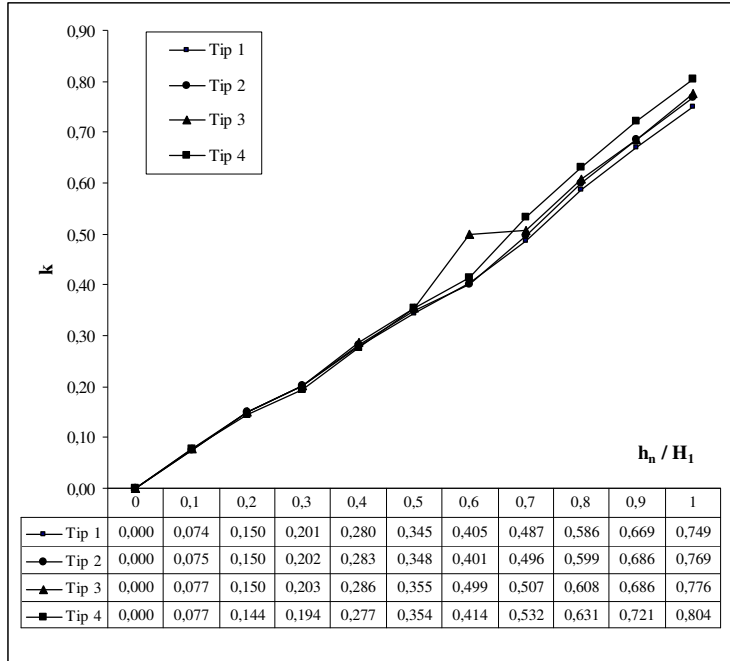
1. grup malzeme değerine sahip Tip 8 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$), 2. grup malzeme değerine sahip Tip 9 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$), 3. grup malzeme değerine sahip Tip 10 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) ve 4. grup malzeme değerine sahip Tip 11 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) enkesit tipleri üzerinden okunan değerler ile çizilen şekil 6.6 incelendiğinde ise aynı geometriye sahip gövde üzerinde farklı malzeme grupları kullanılarak yapılan analizler sonucunda I-I kesitinde düşey gerilme oranının değişimi görülmektedir. Değişimin daha iyi görünmesi için şekil 6.7 incelendiğinde Tip 8 ve Tip 9 eğrilerinden 1. grup malzeme ve 2. grup malzeme arasındaki rijitlik farkı kolayca görülmektedir. Gene aynı Şekilde şekil 6.8. incelendiğinde Tip 10 ve Tip 11 eğrilerinden 3. grup malzeme ve 4. grup malzeme arasındaki rijitlik farkı kolayca görülmektedir.



Şekil 6.7 Tip 8- Tip 9 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

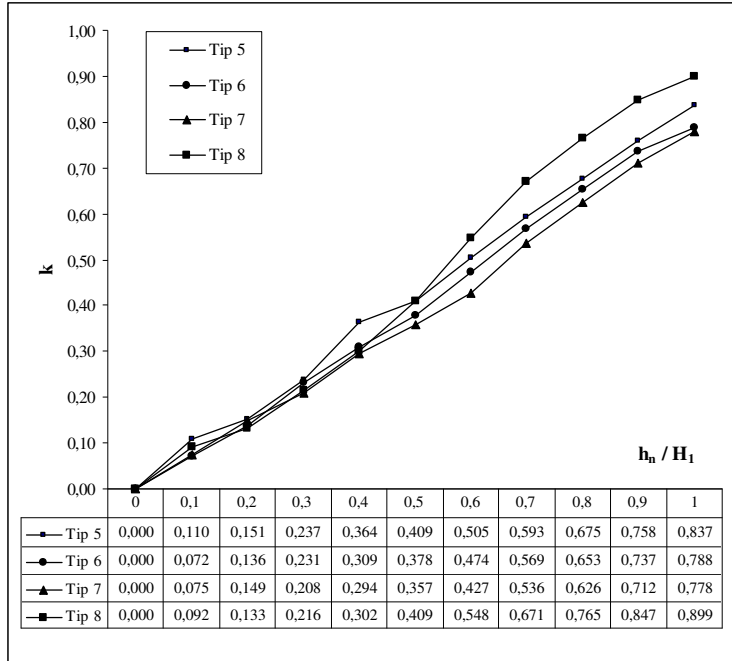


Şekil 6.8 Tip 10 - Tip 11 analizleri için I-I kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



Şekil 6.9 Tip1- Tip 2- Tip 3- Tip 4 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

1. grup malzeme ile Tip1 ($n = t = 0,25$ iken $m = 1,8$), Tip 2 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,0$), Tip 3 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,5$), Tip 4 ($n = t = 0,25$ iken $m = 2,75$) değerleri için II-II kesiti üzerinden okunan değerler ile çizilen şekil 6.9 ve Plaxis çıktıları (Şekil 5.11, 5.22, 5.33, 5.44) incelendiğinde ise kabuk şev eğimlerinin değişiminin çekirdek üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülecektir.

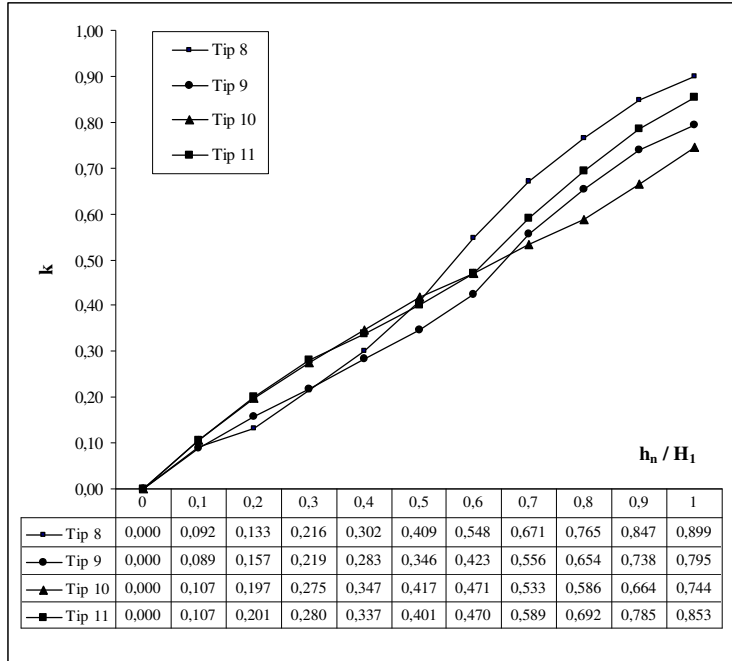


Şekil 6.10. Tip 5- Tip 6- Tip 7- Tip 8 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

1. grup malzeme ile Tip 5 ($m = 2$ iken $t = n = 0,5$), Tip 6 ($m = 2$ iken $t = n = 0,4$), Tip 7 ($m = 2$ iken $t = n = 0,3$), Tip 8 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) değerleri için II-II kesiti üzerinden okunan değerler ile çizilen Şekil 6.10 ve Plaxis çıktıları (Şekil 5.55, 5.66, 5.77, 5.88) incelendiğinde kil çekirdek eğiminin oldukça önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir.

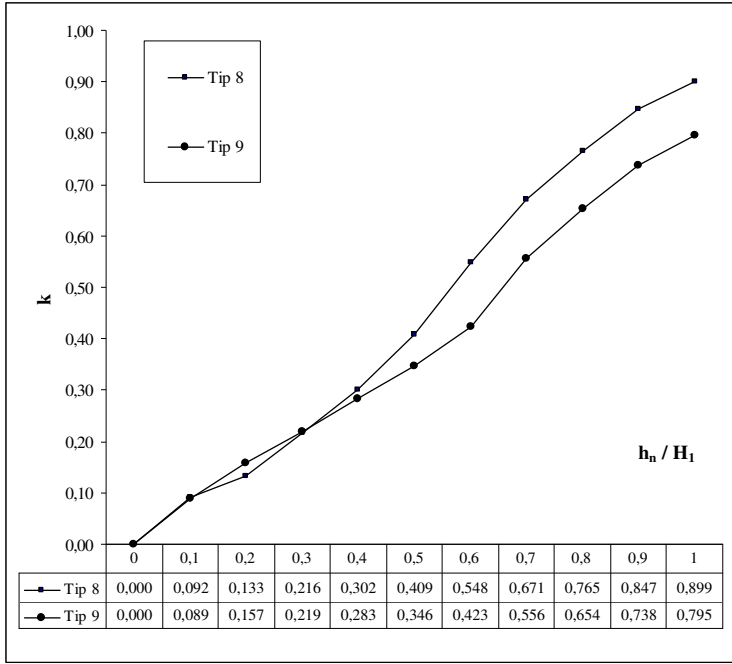
Şekil 6.10'da çekirdek eğiminin çekirdek içerisindeki gerilme dağılımına rijitlik kadar olmasa da ihmal edilemeyecek oranda etki ettiği düşey gerilme oranındaki değişimle görülür.

Yapılan analizlerde Plaxis (Şekil 5.55, 5.66, 5.77, 5.88) çıktılarında görüldüğü üzere çekirdeğin eğimi, kayma dairelerinin oluşabileceği bölgelere 1.dereceden etki etmektedir.

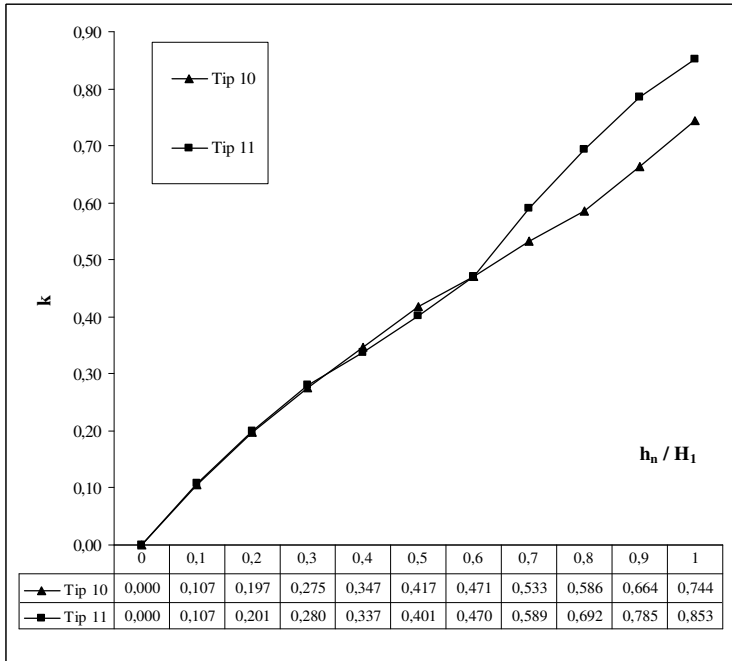


Şekil 6.11 Tip 8- Tip 9- Tip 10- Tip 11 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

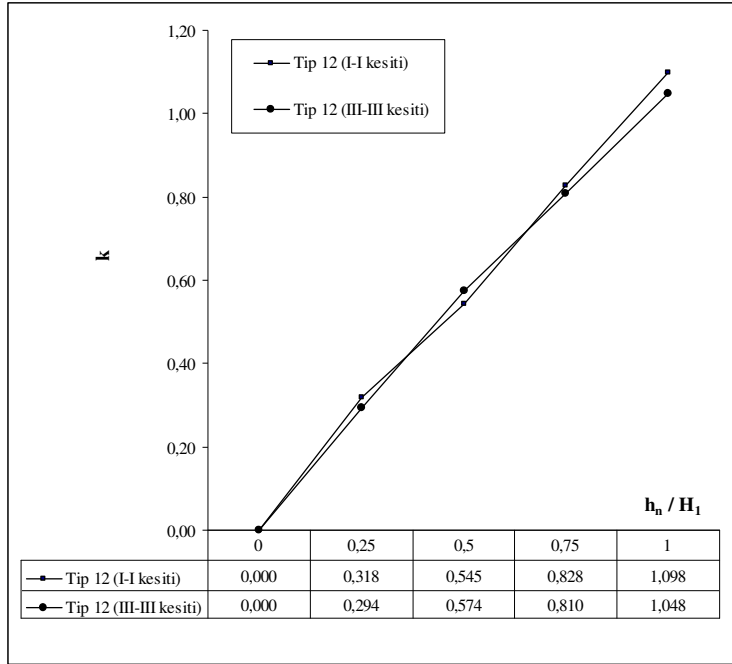
1. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 8 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$), 2. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 9 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$), 3. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 10 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) ve 4. grup malzeme değeri ile çizilen Tip 11 ($m = 2$ iken $t = n = 0,2$) enkesitleri üzerinden okunan değerler ile çizilen şekil 6.11 incelendiğinde ise aynı geometriye sahip gövde üzerinde farklı malzeme grupları kullanılarak yapılan analizler sonucunda II-II kesitinde düşey gerilme oranının değişimi görülmektedir. Değişimin daha iyi görünmesi için şekil 6.12 incelendiğinde 1. grup malzeme ve 2. grup malzeme arasındaki rijitlik farkı kolayca görülmektedir. Tip 8 ve Tip 9 eğrilerinden kolayca görülmektedir. Gene aynı şekilde şekil 6.13. incelendiğinde farklı rijitlik özelliklerine sahip Tip 10 ve Tip 11 eğrilerinde bu farkı göstermektedir.



Şekil 6.12 Tip 8- Tip 9 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



Şekil 6.13 Tip 10- Tip 11 analizleri için II-II kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi



Şekil 6.14 Tip 12 için I-I ve III-III kesiti üzerindeki düşey gerilme oranının değişimi

Tip 12 ($m = 2$ iken $t = 0,05$ $n = 0,35$) değerleri için 1. grup malzemeye göre I-I ve III-III kesiti üzerinden okunan değerler ile çizilen grafik ile kil çekirdeğin memba ve mansap şevlerinin değişiminin kabuk dolgusu üzerindeki gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı plaxis çıktılarından (Şekil 132) ve şekil 6.14'te görülmektedir.

Sonuç olarak; yapılan analizlerdeki Plaxis çıktılarından (Şekil 5.55, 5.66, 5.77, 5.88) görüldüğü üzere çekirdeğin eğimi, kayma dairelerinin oluşabileceği bölgelere 1. derecede etki etmektedir. Bu durum şekil 6.10'da görülmektedir. Geniş bir çekirdek daha düşük içsel sürtünme açısı olan bölge anlamına geldiği için bu bölgeler analizlerde görüldüğü üzere daha fazla plastik noktalar barındırmaktadır.

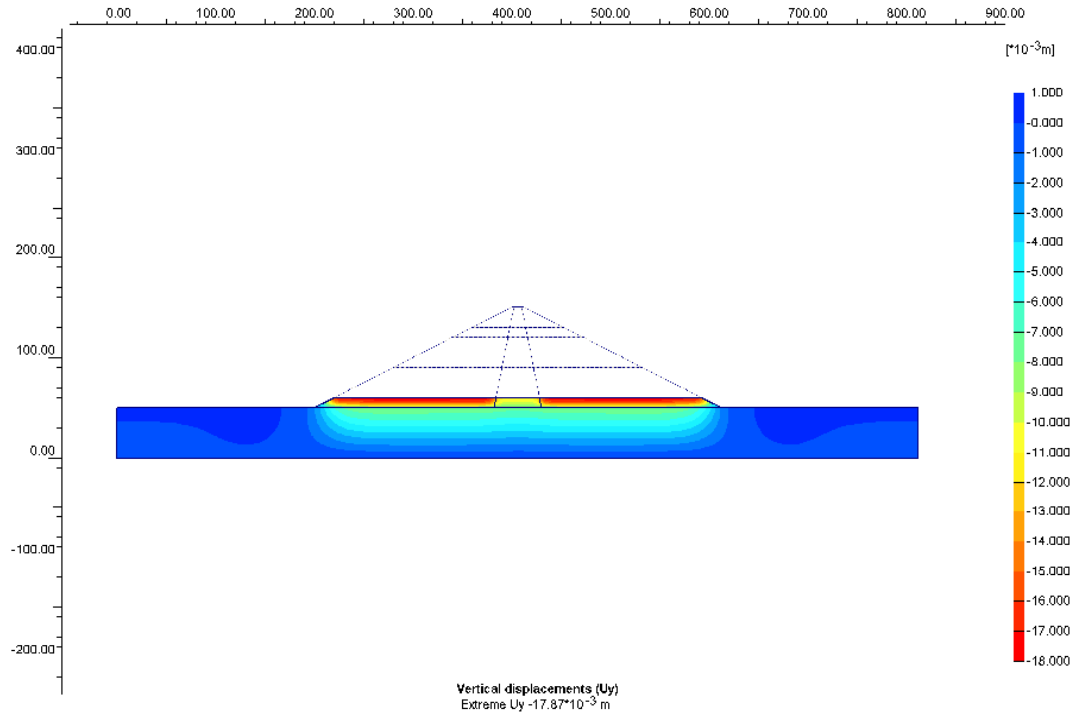
Yapılan analizlerdeki plaxis çıktıları (Şekil 5.88, 5.99, 5.110, 5.121), şekil 6.6 ve şekil 6.11 incelenirse malzemenin rijitlik değerlerinin baraj gövdesi üzerinde olabilecek etkilerde diğer parametrelere göre daha çok etkili olduğu görülmektedir. Kil çekirdek ile kabuk malzemesinin rijitliklerinin farklı olması durumunda eğer kil çekirdeğin rijitliği kabuk malzemesine göre düşükse yani çekirdek fazla deformasyon yapabilme özelliğine sahipse çekirdek malzemesi kabuğa göre fazla deformasyon yaparak filtreler üzerinden kabuk dolguya asılmaktadır. Tip 11 enkesiti ve 4. grup malzeme ile yapılan analizdeki şekil 5.121 incelendiğinde oldukça önemli olan bu durum görülmektedir. Bu durum

Kemerleşme olayıdır. Şekil 5.121 çıktısında çekirdek altında tabanda yaklaşık 700 kN/m^2 'lik bir basınç vardır. Oysaki aynı geometrik özelliklere sahip Tip 10 ve 4. grup malzeme ile yapılan şekil 5.110' daki efektif gerilmeler çıktısı incelendiğinde aynı çekirdek ve kabuk şev eğimine sahip barajın çekirdek tabanında 1300 kN/m^2 'lik gerilme oluşmuştur. Neredeyse yarı yarıya çekirdek tabanında fark yaratan bu kemerleşme hadisesi baraj mühendisliğinde oldukça dikkat edilmesi gereken ve istenmeyen bir olaydır. Çünkü taban üzerinde kemerleşme etkisi ile gerilmenin düştüğü bu noktada hidrostatik yük kemerleşme gerilmesinden büyük olursa bu noktada "Hydraulic Fracturing" adı verilen hidrolik kırılma olayı meydana gelecektir. Bu durum ABD' de 1976 Temmuzunda hidrolik kırılmanın tetiklediğine inanılan borulanma hadisesi ile yıkılan Teton barajında olduğu gibi riskli bir durum oluşturacaktır. Bu nedenle çekirdek dolguları her zaman kabuklardan daha iyi sıkıştırılmalıdır. Böylelikle hem kayma mukavemeti artırılır hem geçirimsizliğe faydası olur hem de rijitliği artırılır.

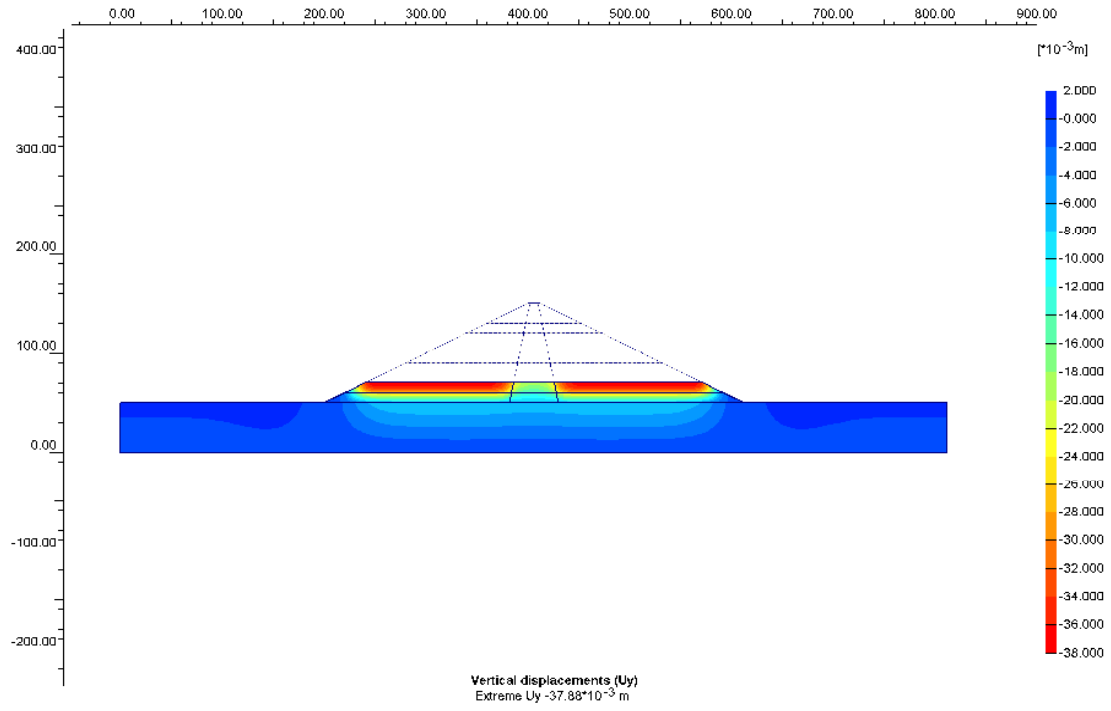
7. PLAXIS SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE BARAJIN TABAKALI ÇÖZÜMÜ

Eğer baraj gövdesini gerçekte olduğu şekilde tabakalar halinde inşaa edildiği gibi değilde sanki toptan bitmiş gibi düşünülerek analizi yapılırsa maksimum deplasman krette oluşmaktadır. (Şekil 5.36 ve Şekil 5.37 gibi). Ancak bu gerçekte böyle değildir. Gövde gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşaa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Baraj gövdesi on metre yüksekliğinde on tabakaya ayrılmıştır. Barajın Plaxis 8.x de modellenmesinden sonra her bir inşaat aşaması için program koşturulmuş ve her bir aşama için aşağıdaki deformasyon durumları elde edilmiştir.

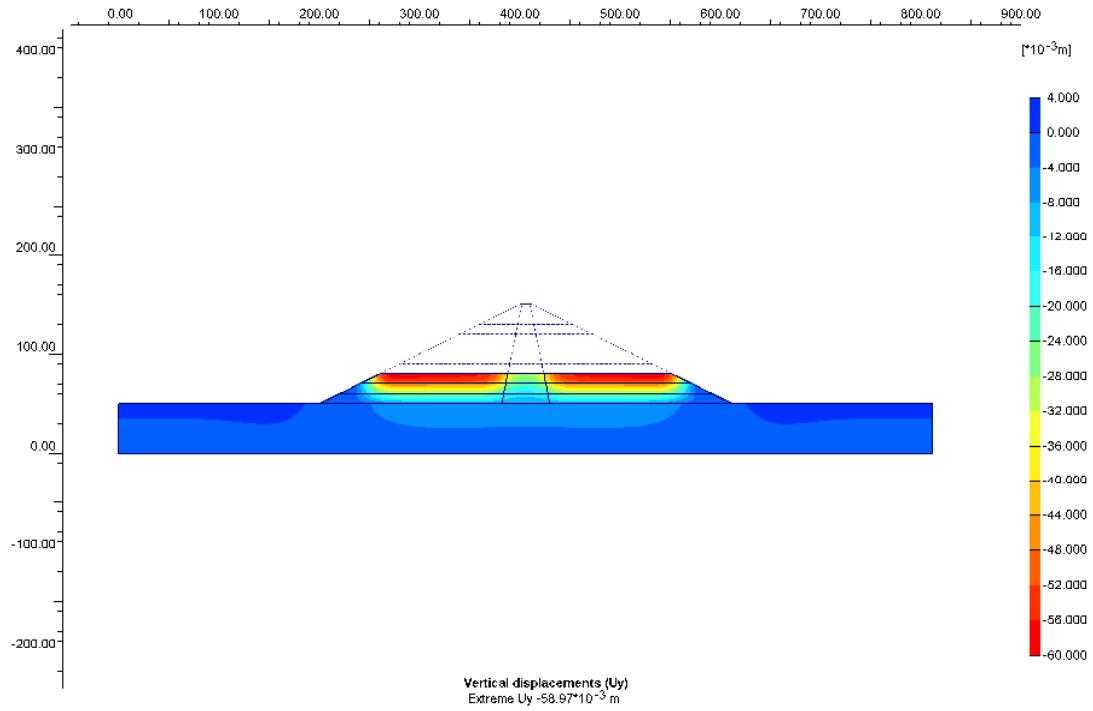
7.1. Tip 8 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (1. grup malzeme)



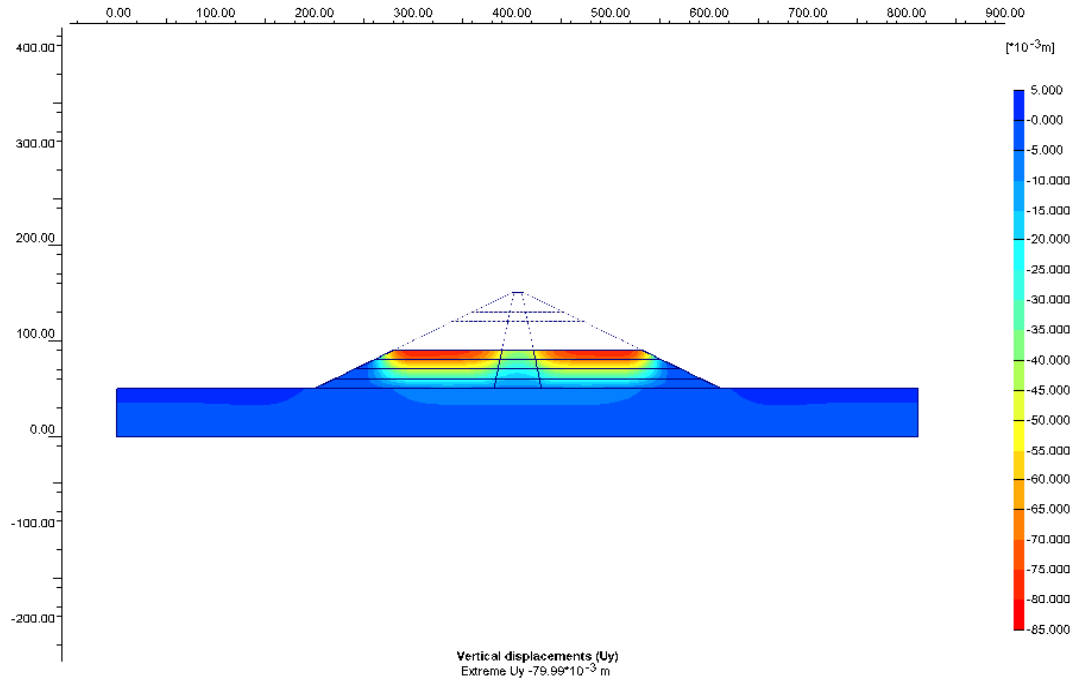
Şekil 7.1 1. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



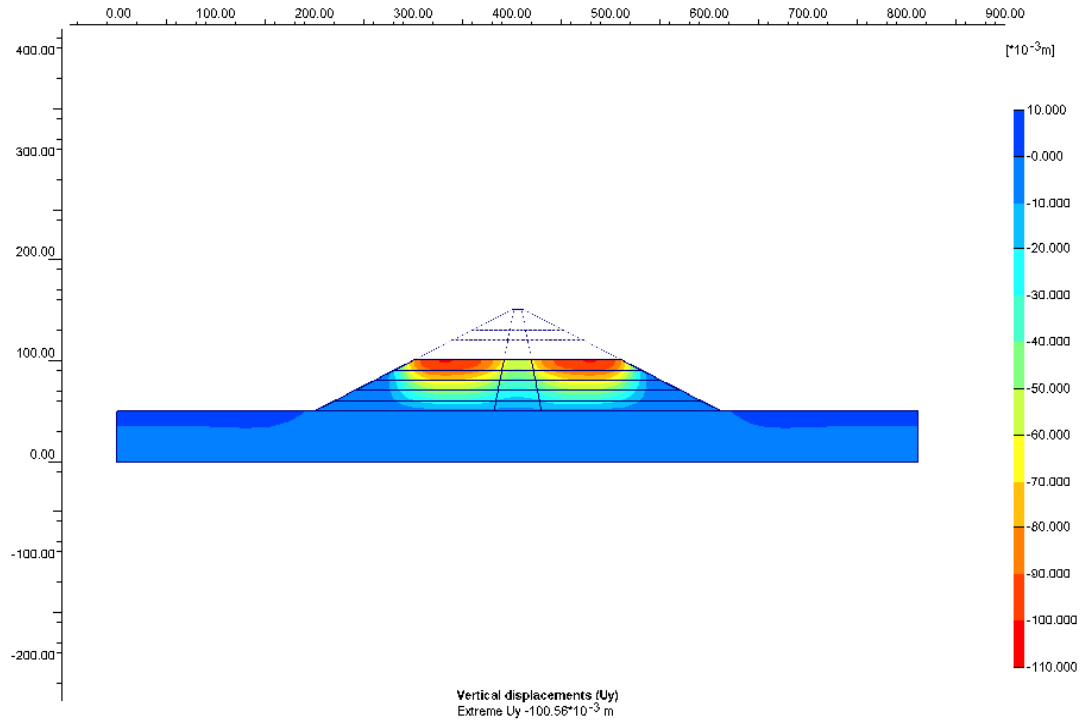
Şekil 7.2 2. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



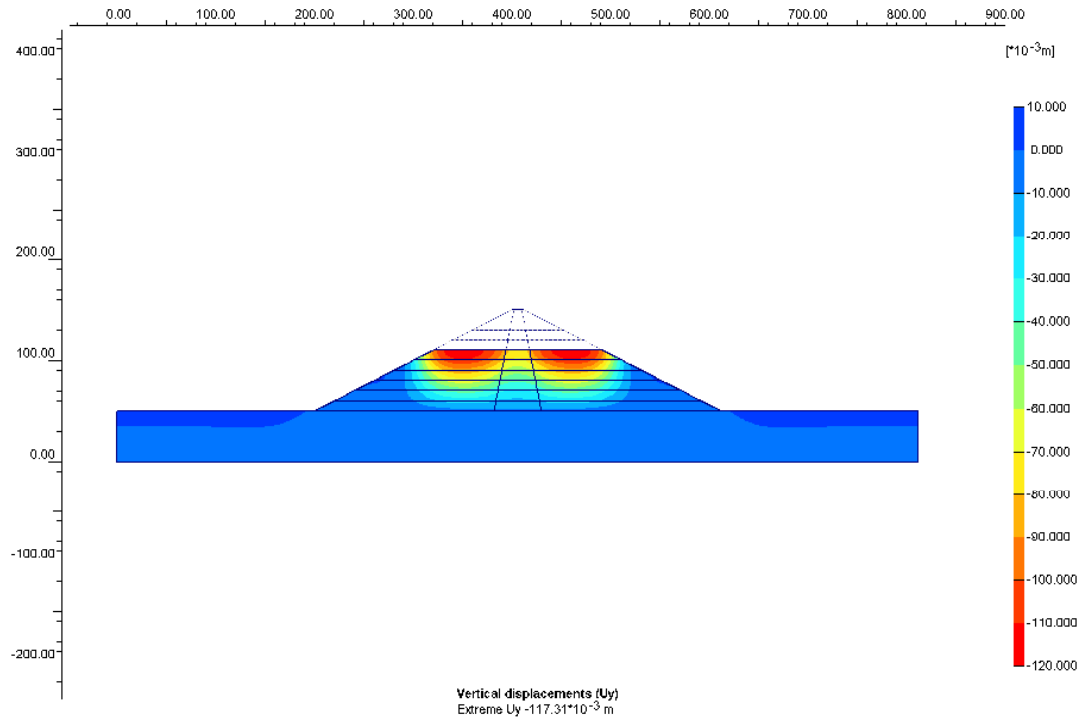
Şekil 7.3 3. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



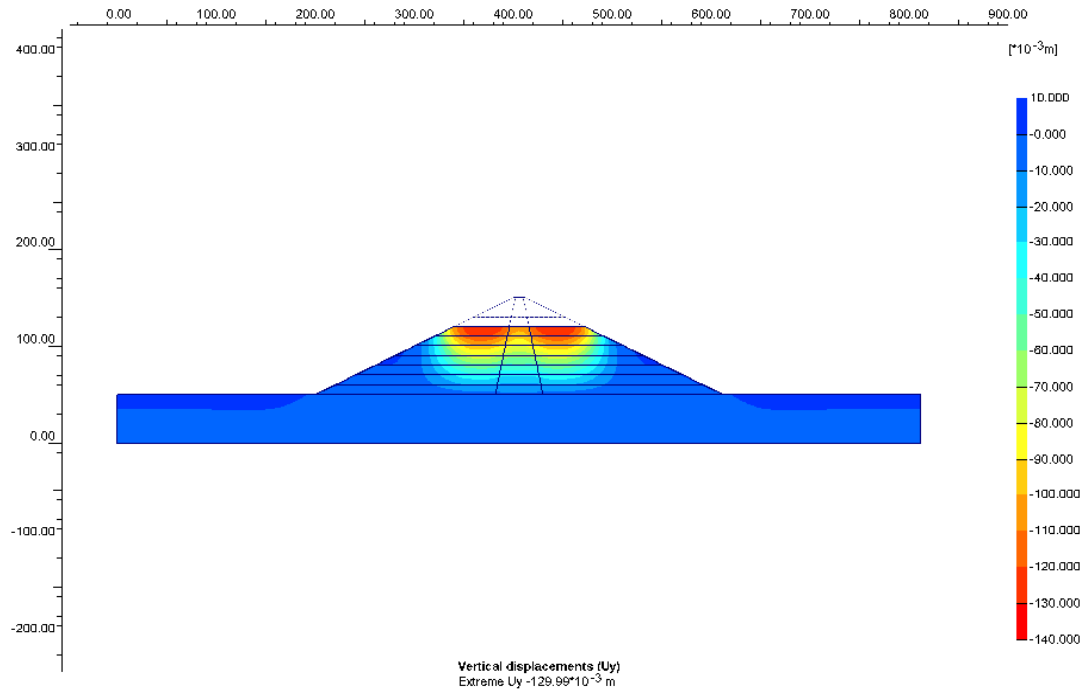
Şekil 7.4 4. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



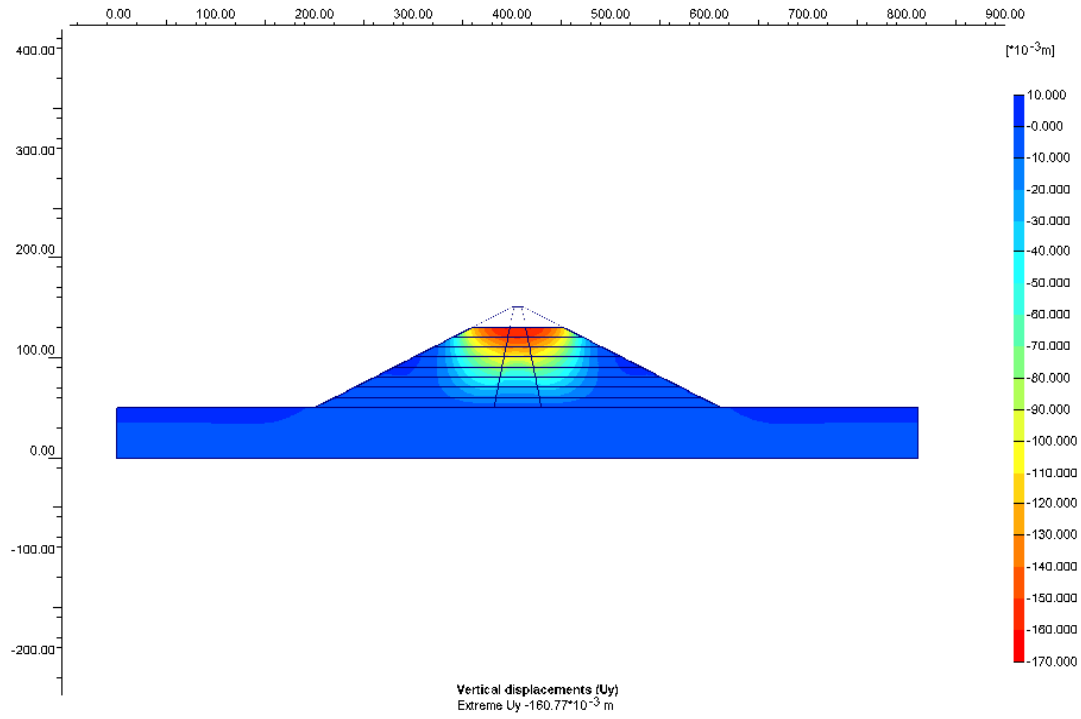
Şekil 7.5 5. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



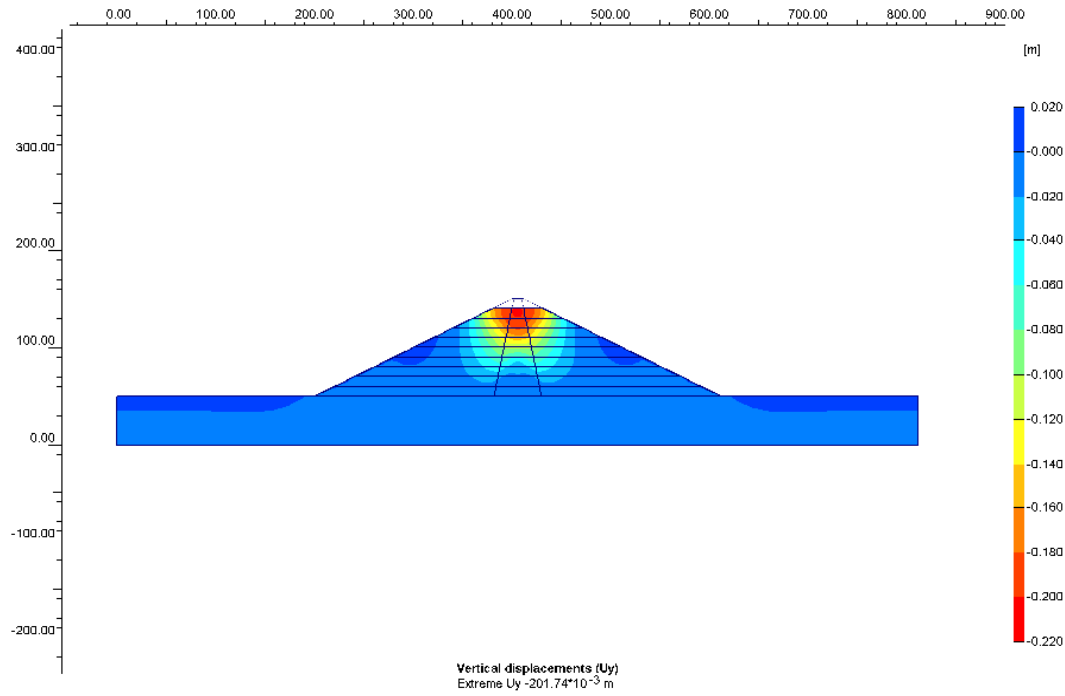
Şekil 7.6 6. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



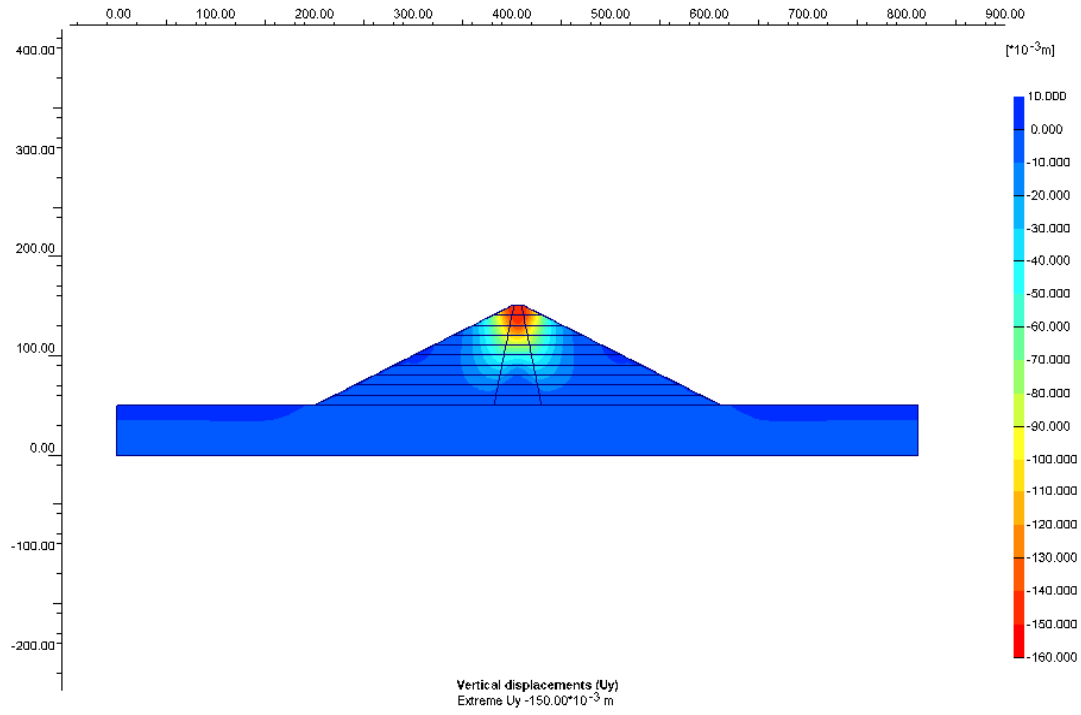
Şekil 7.7 7. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



Şekil 7.8 8. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



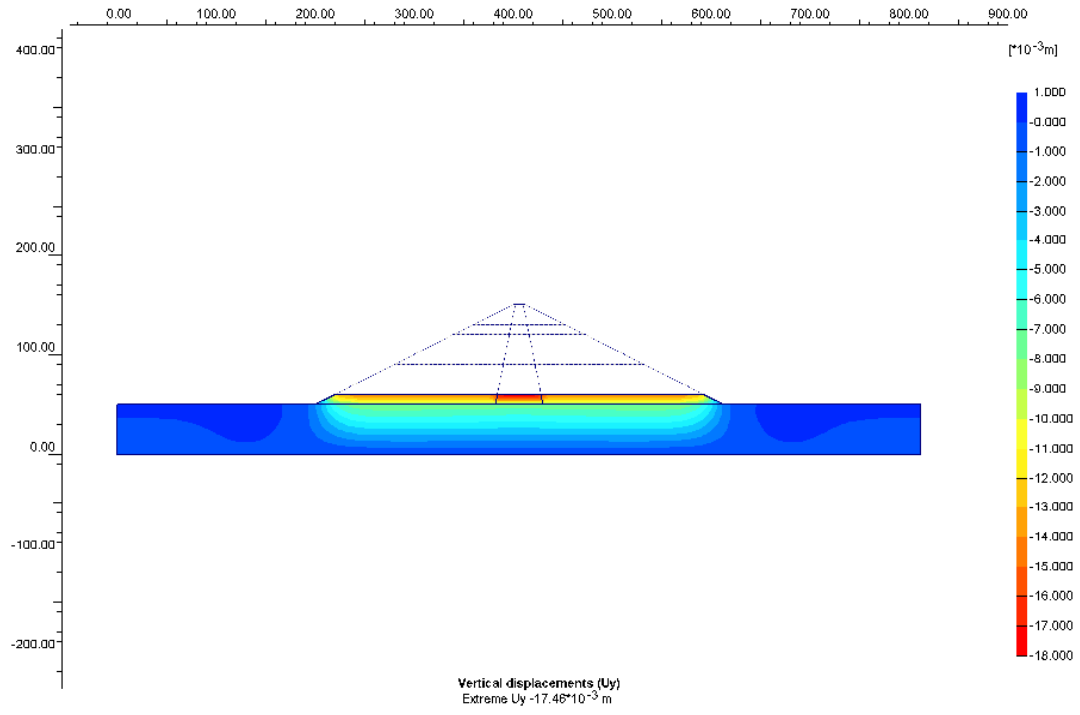
Şekil 7.9 9. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



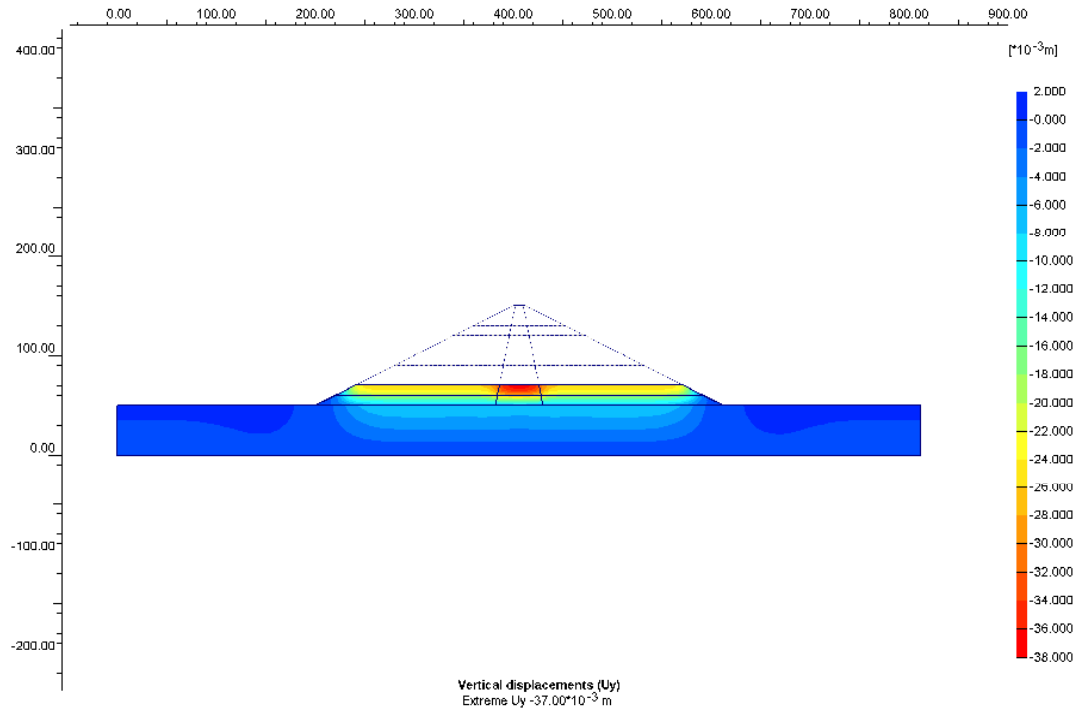
Şekil 7.10 10. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi

7.2. Tip 9 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (2.grup malzeme)

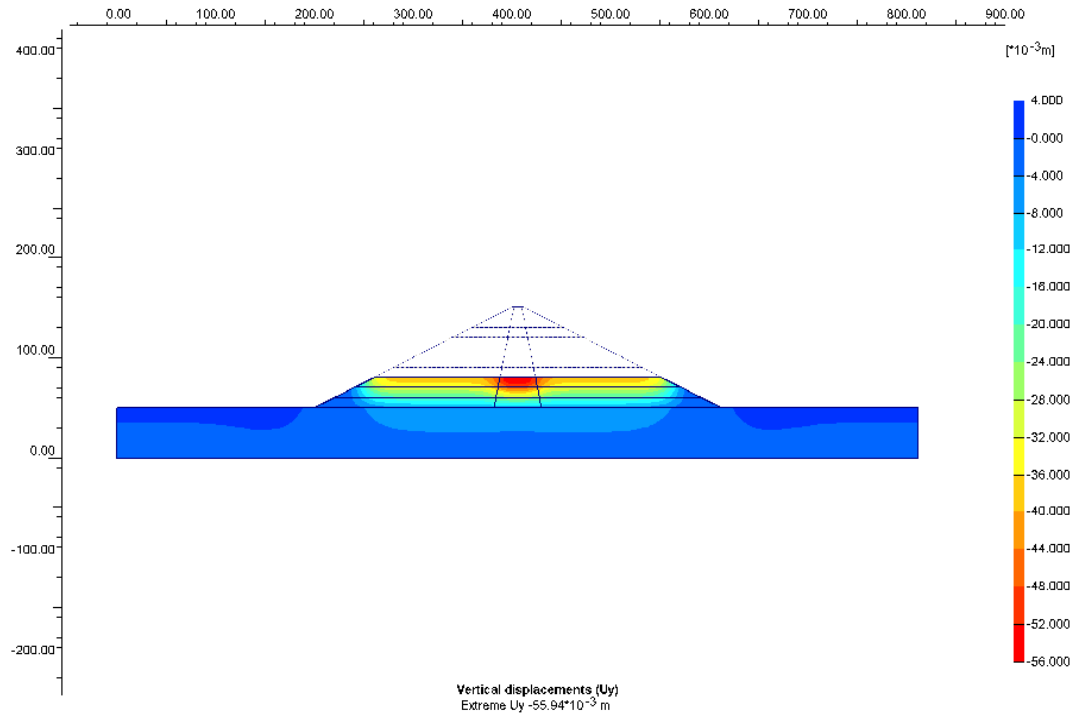
Bu kesit Plaxis' te plain strain olarak modellenenecektir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunacaktır. Analizler de gövde gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşaa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Analizler tabakalı olarak çözülmüştür.



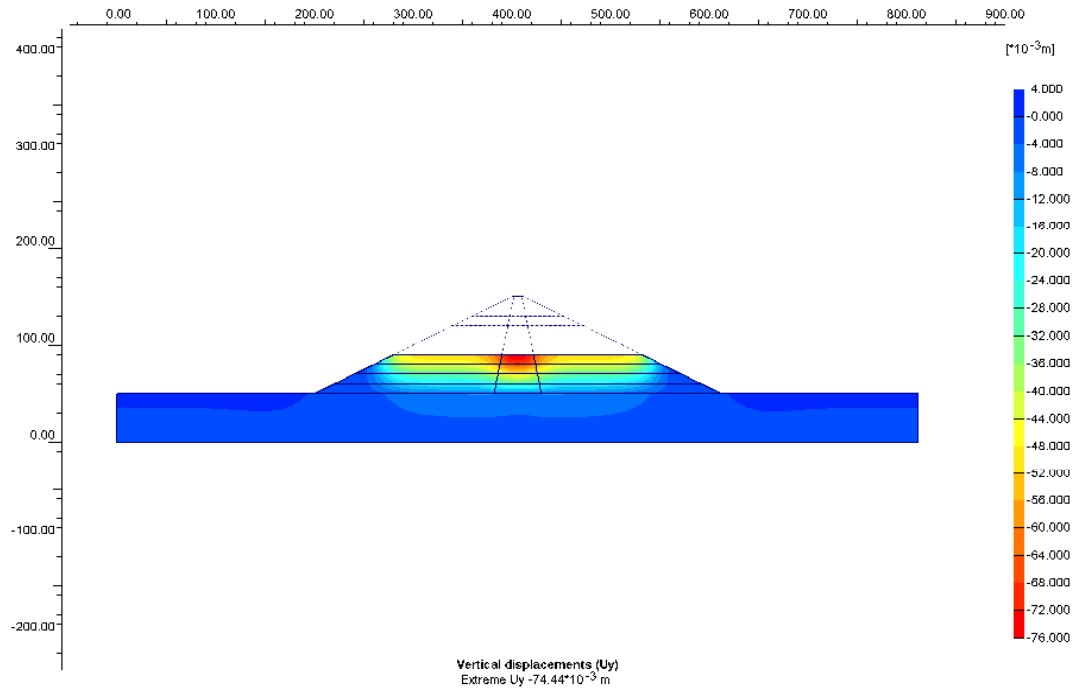
Şekil 7.11 1. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



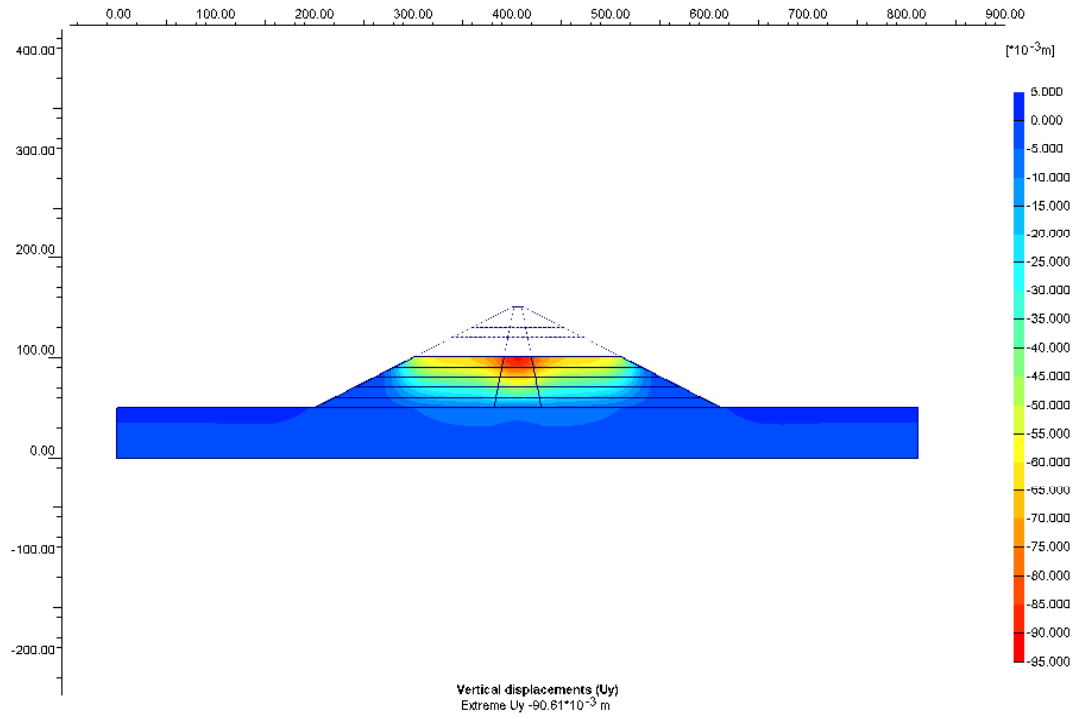
Şekil 7.12 2. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



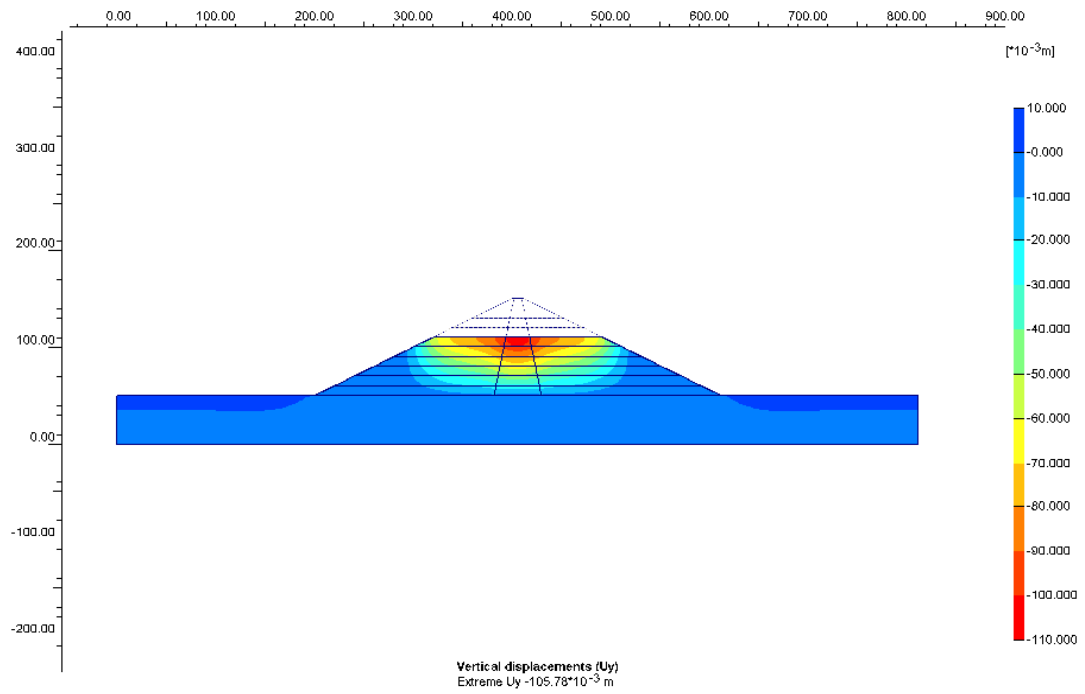
Şekil 7.13 3. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



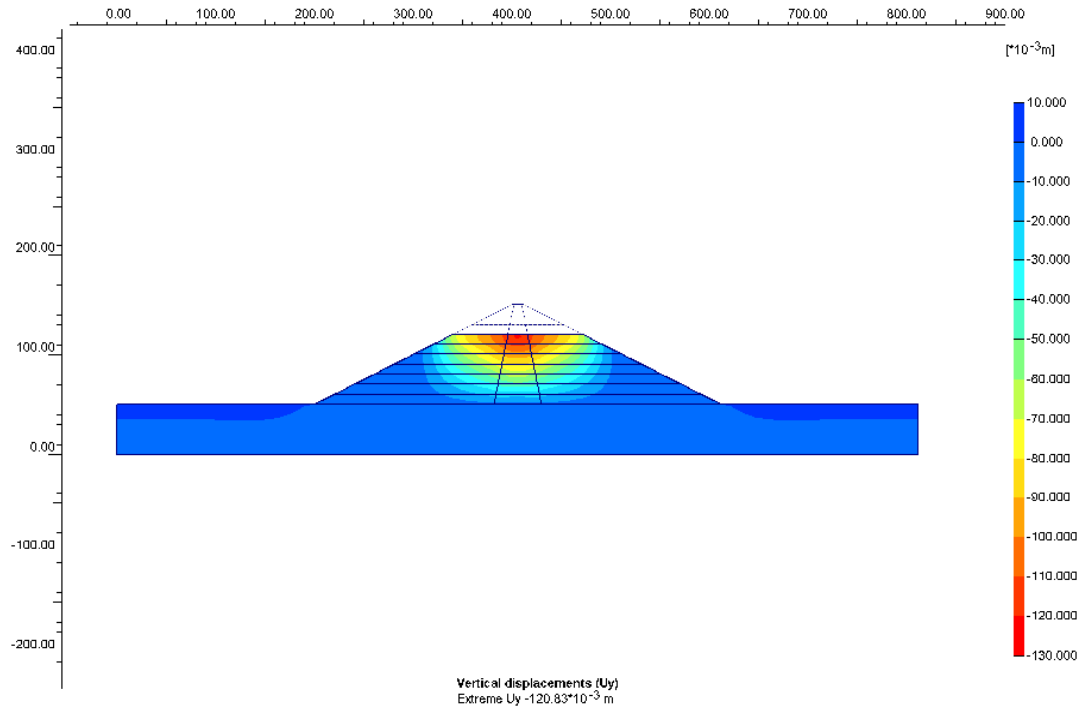
Şekil 7.14 4. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



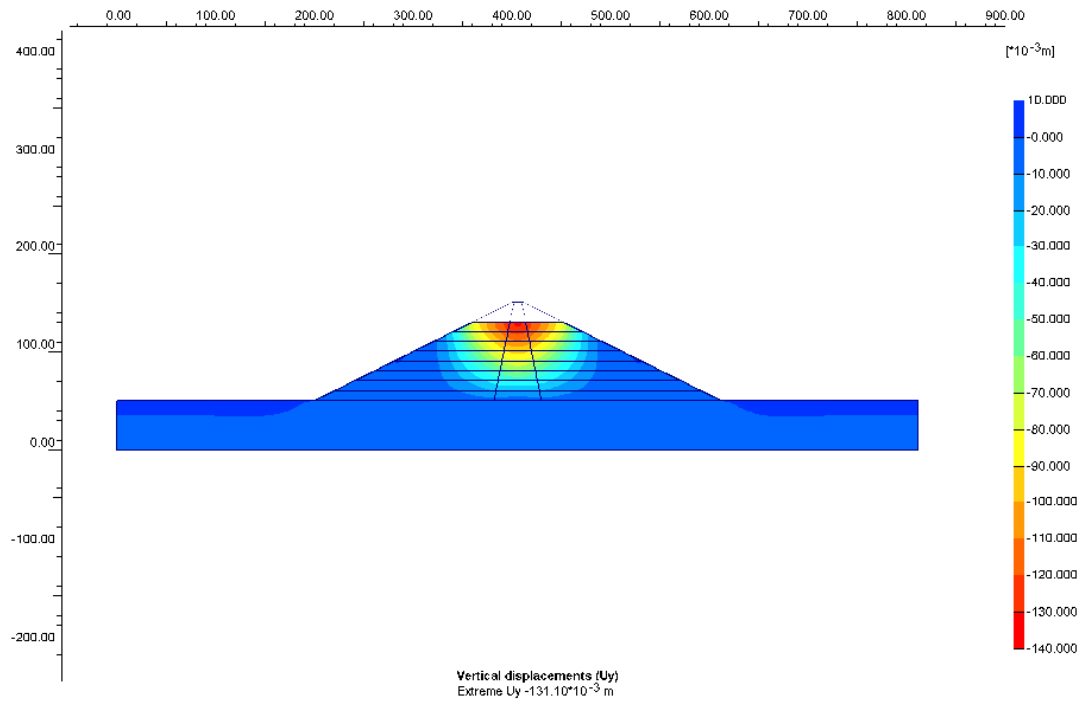
Şekil 7.15 5. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



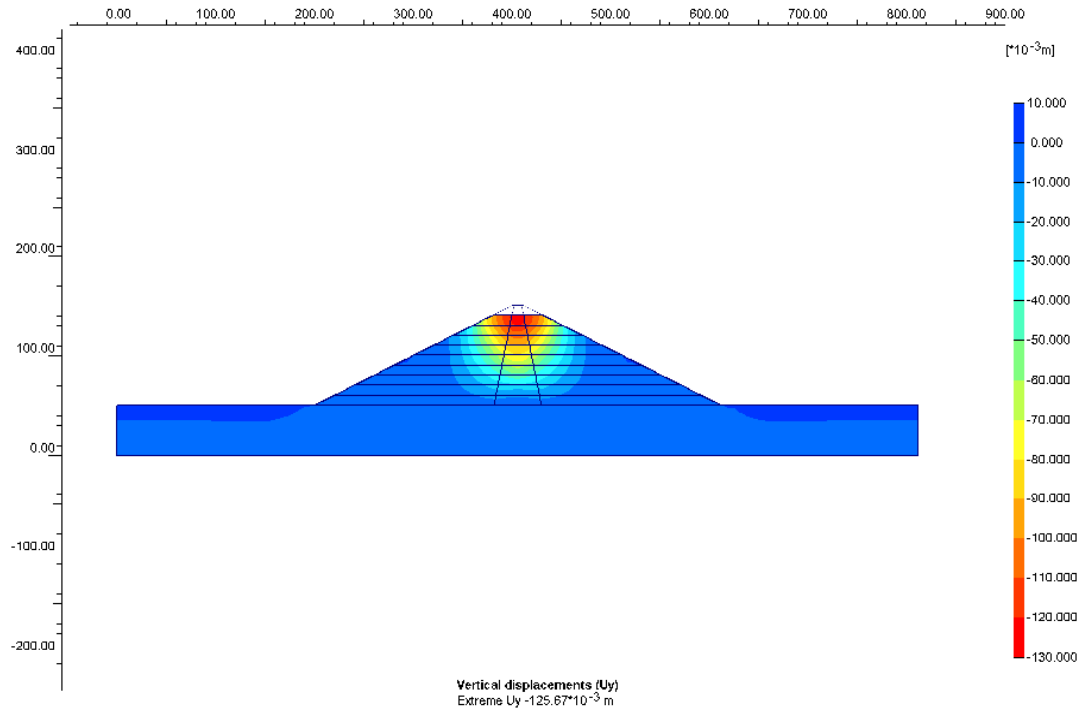
Şekil 7.16 6. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



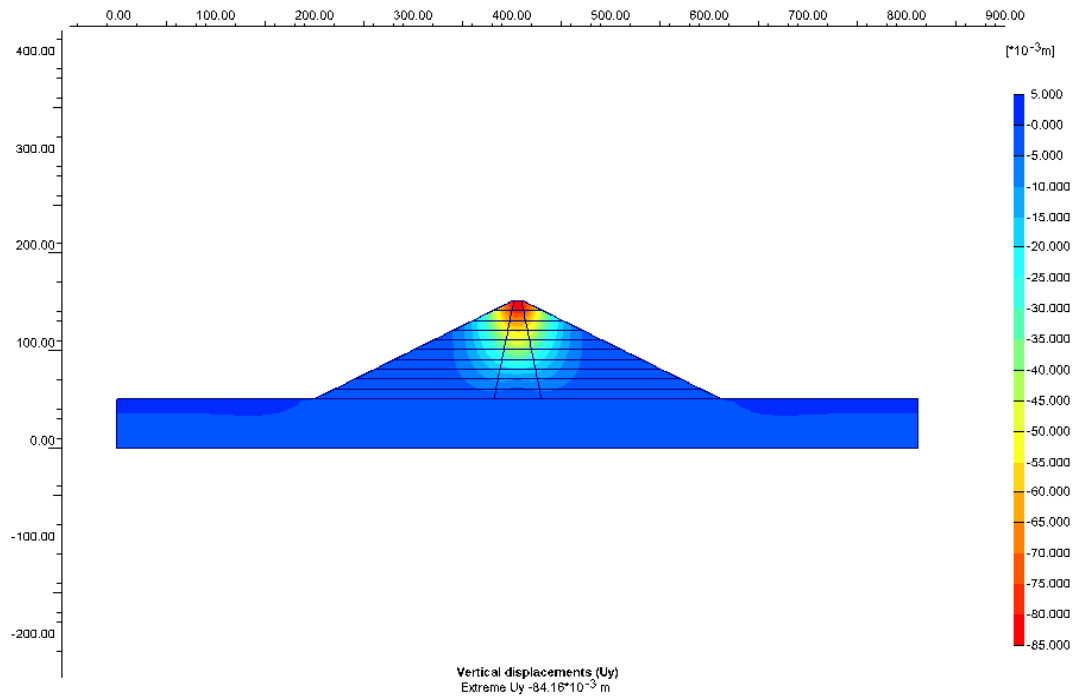
Şekil 7.17 7. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



Şekil 7.18 8. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



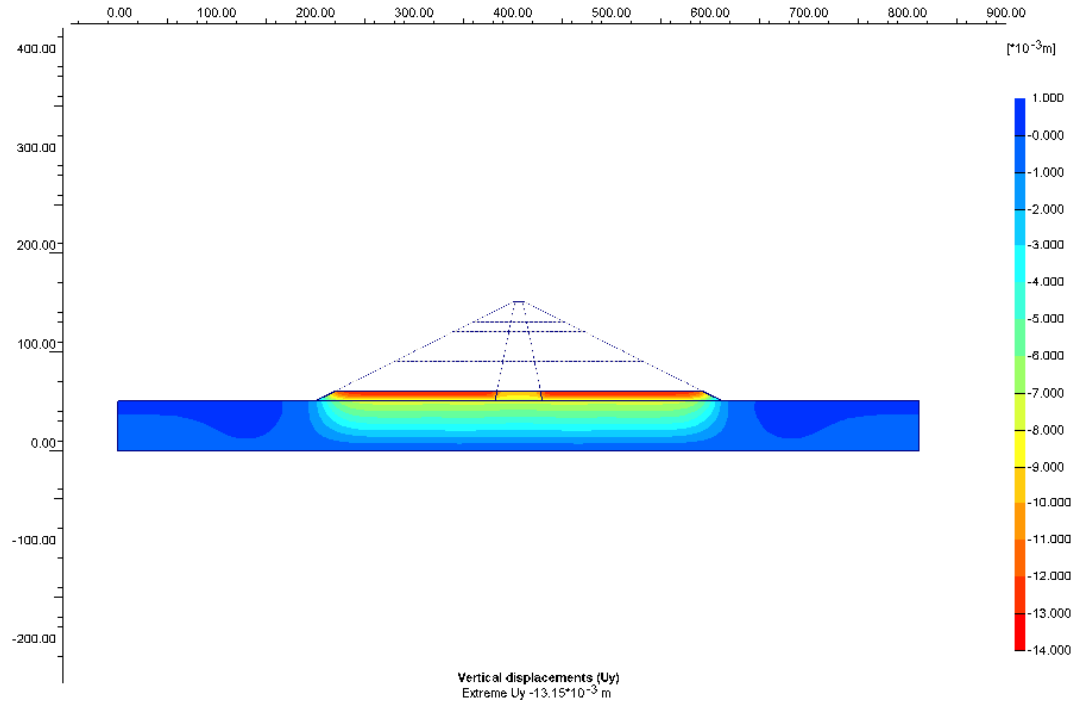
Şekil 7.19 9. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



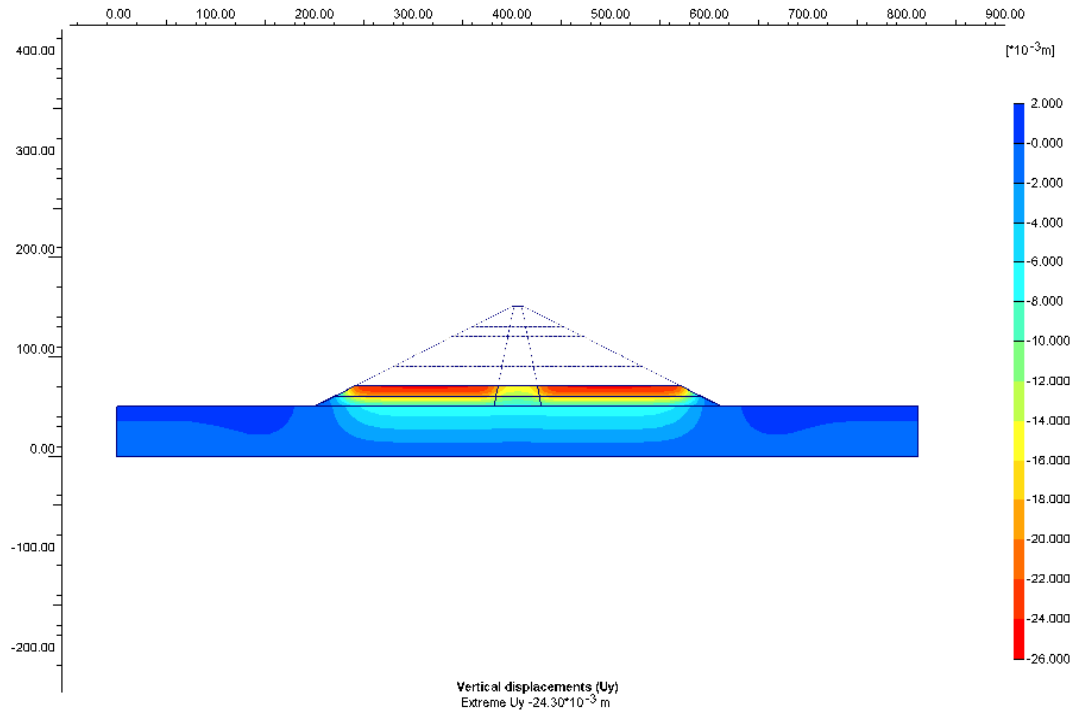
Şekil 7.20 10. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi

7.3 Tip 10 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (3 grup malzeme)

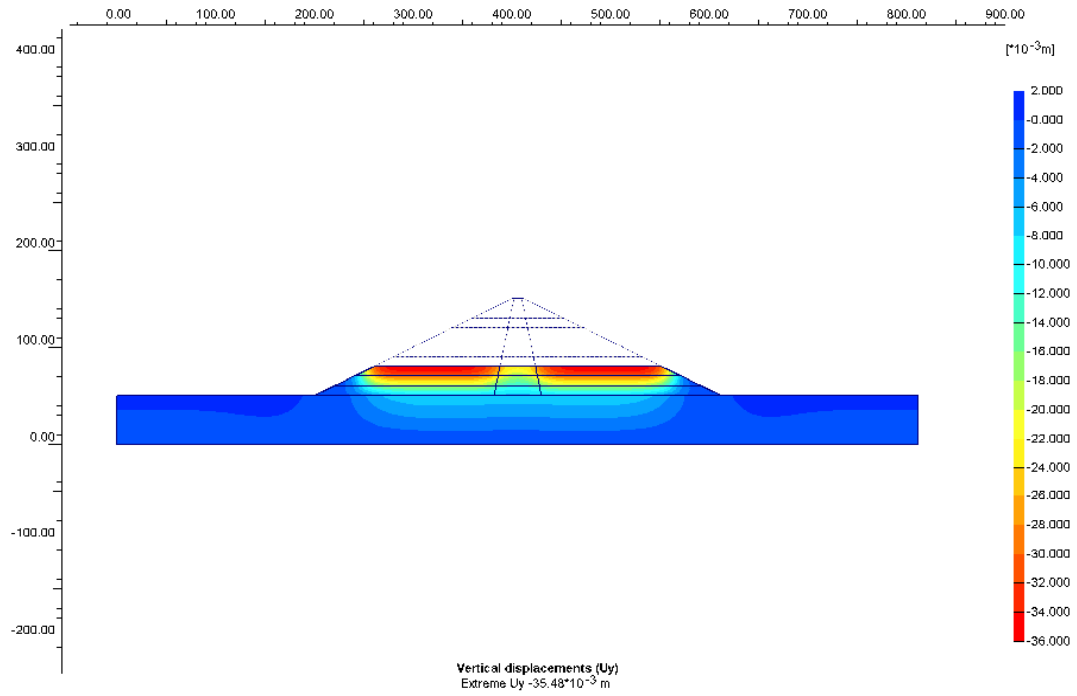
Bu kesit Plaxis' te plain strain olarak modellenenecektir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunacaktır. Analizler de gövde gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşaa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Analizler tabakalı olarak çözülmüştür.



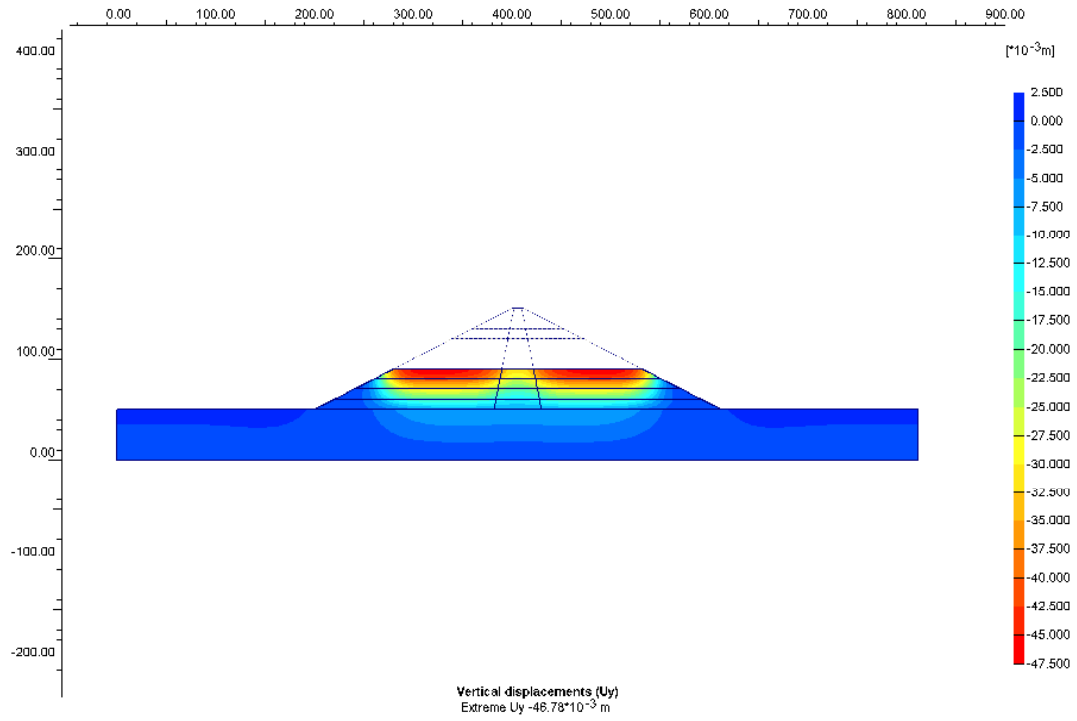
Şekil 7.21 1. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



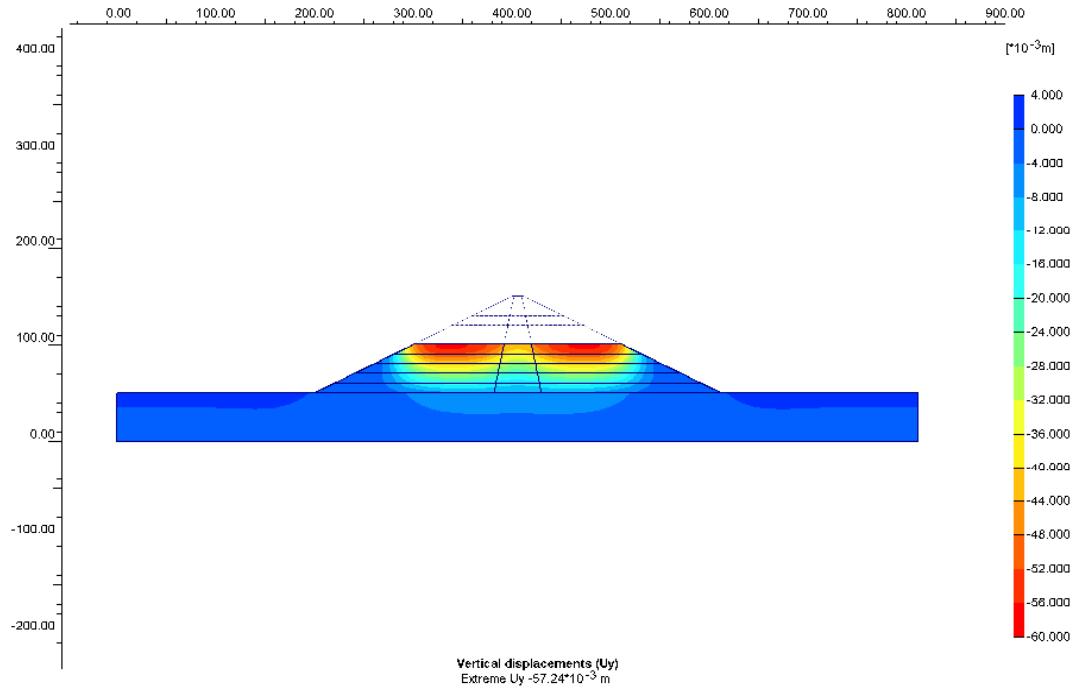
Şekil 7.22 2. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



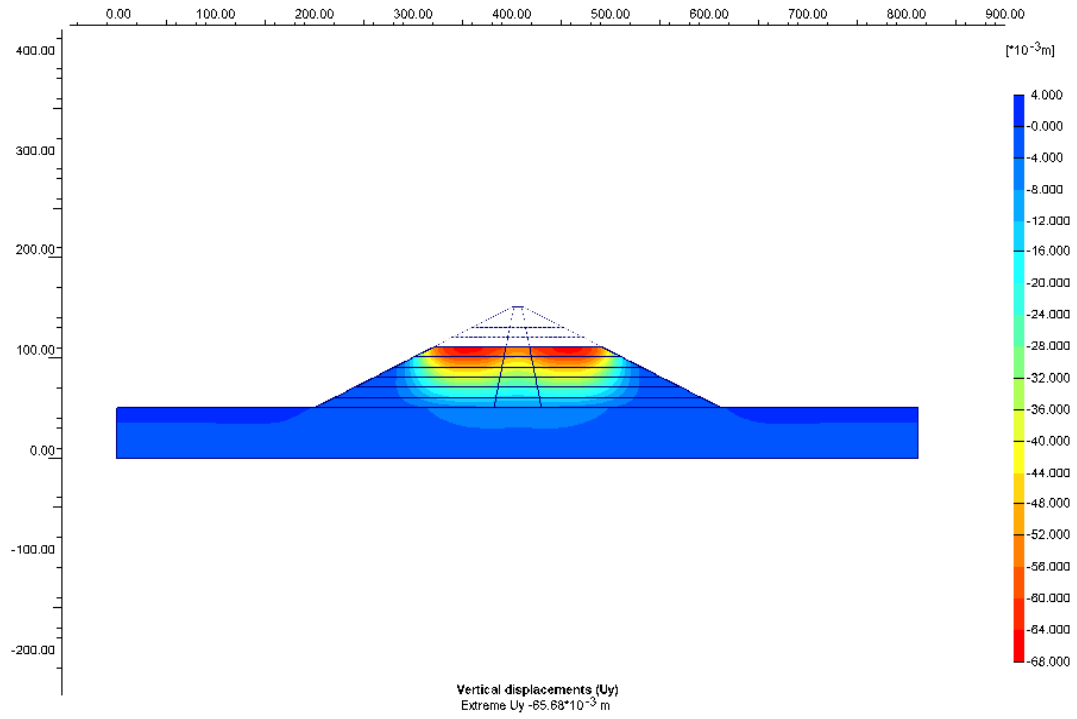
Şekil 7.23 3. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



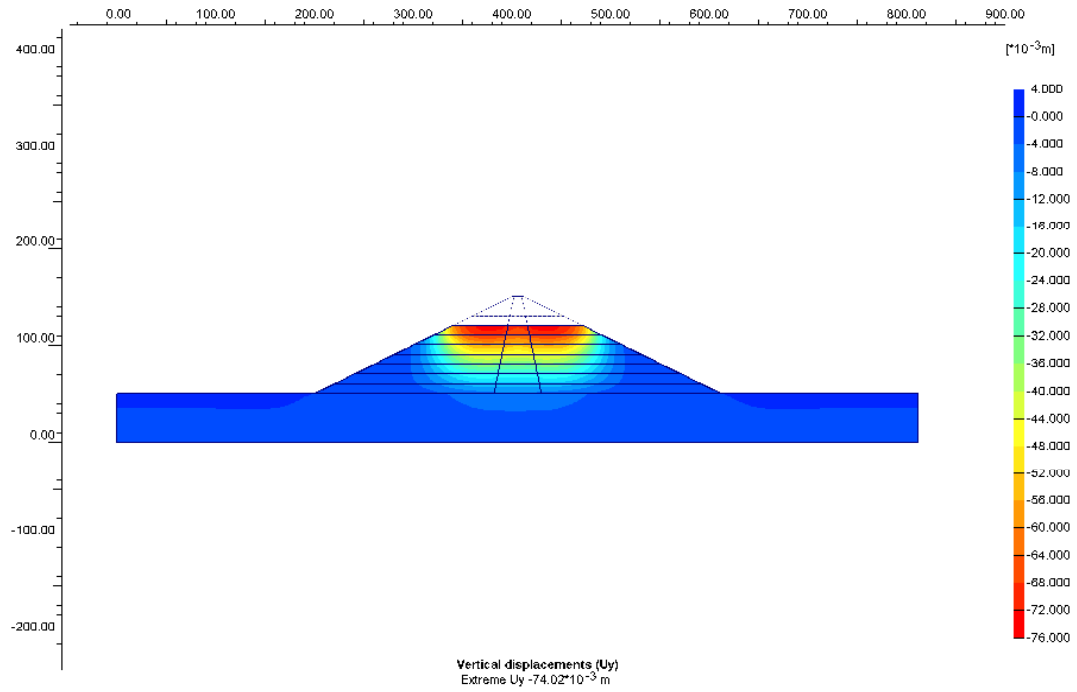
Şekil 7.24 4. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



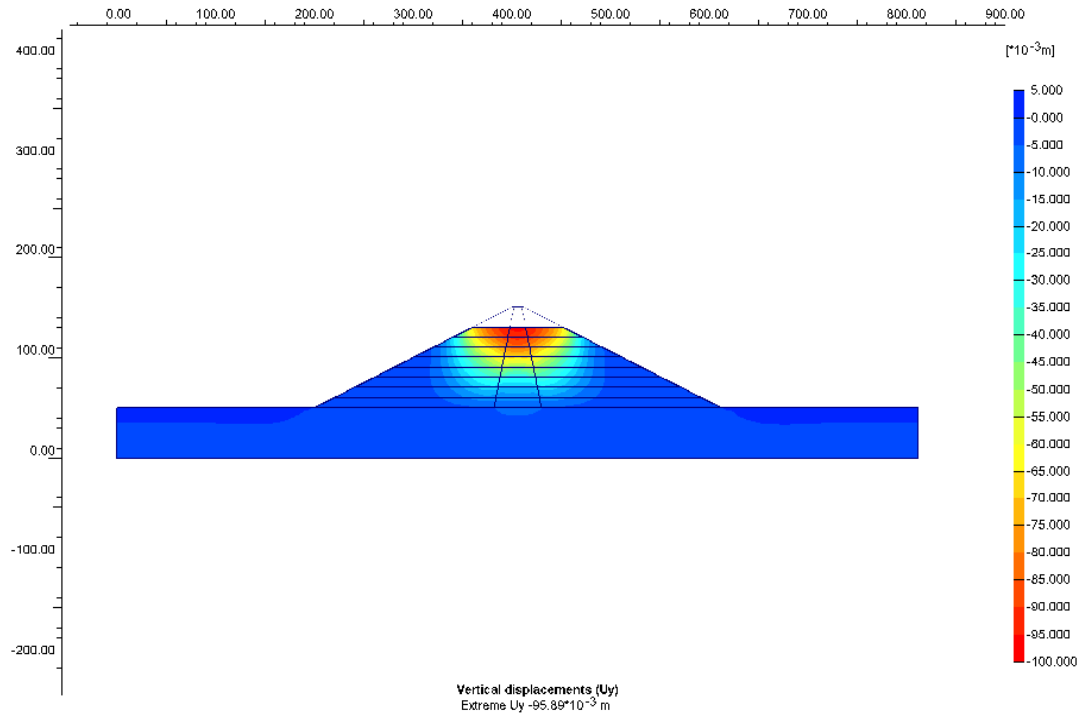
Şekil 7.25 5. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



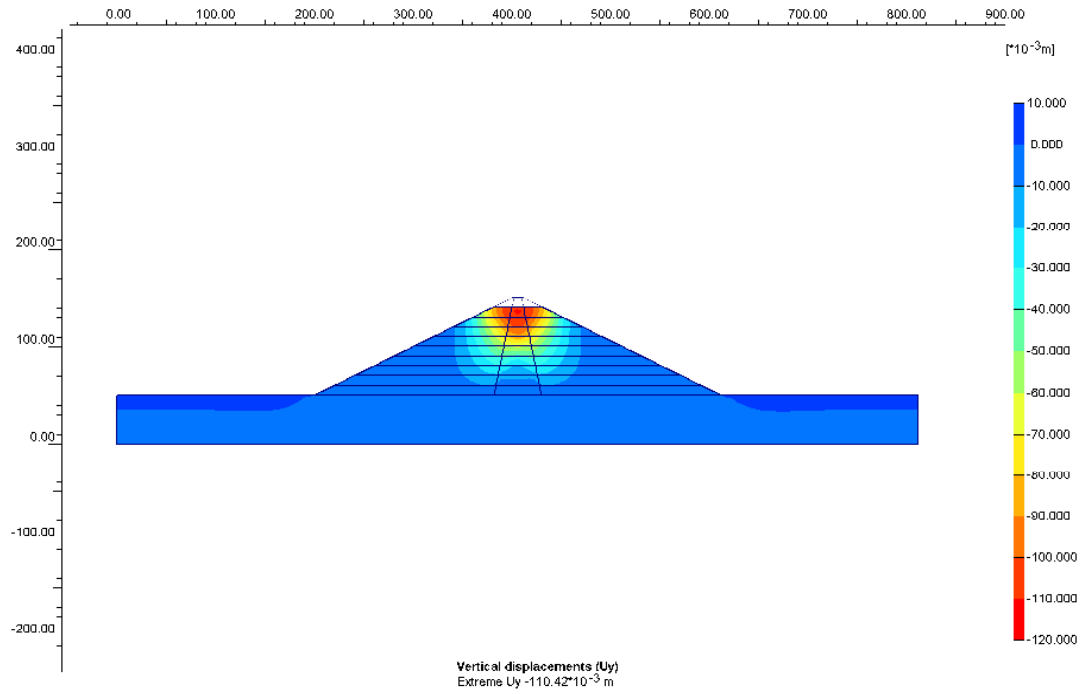
Şekil 7.26 6. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



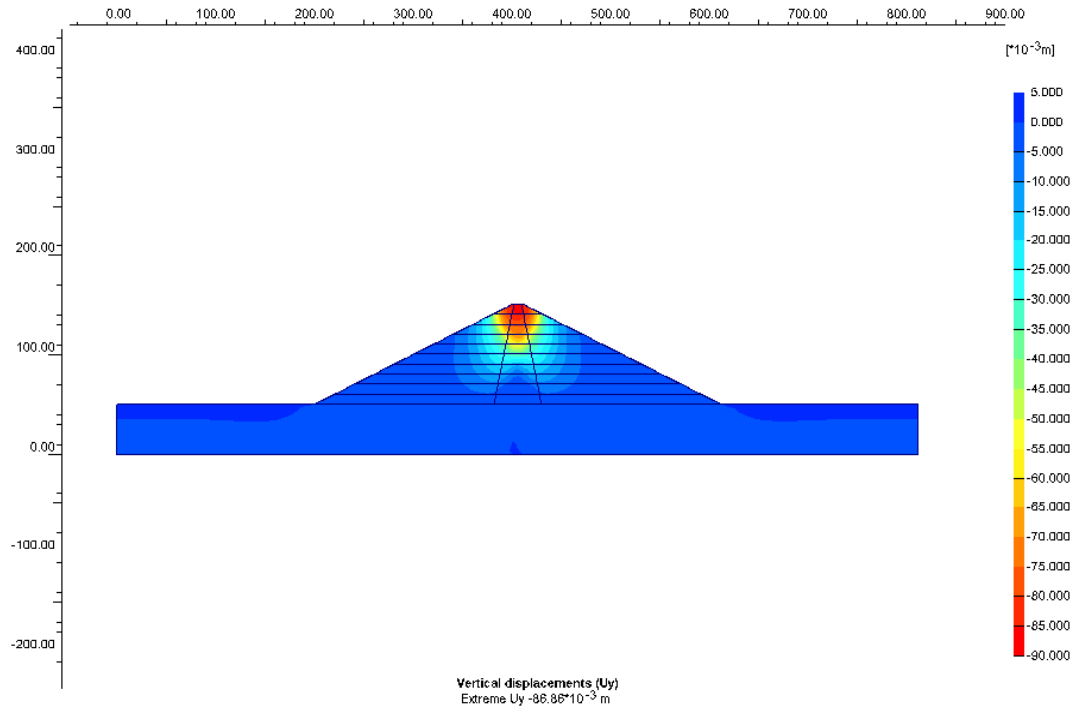
Şekil 7.27 7. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



Şekil 7.28 8. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



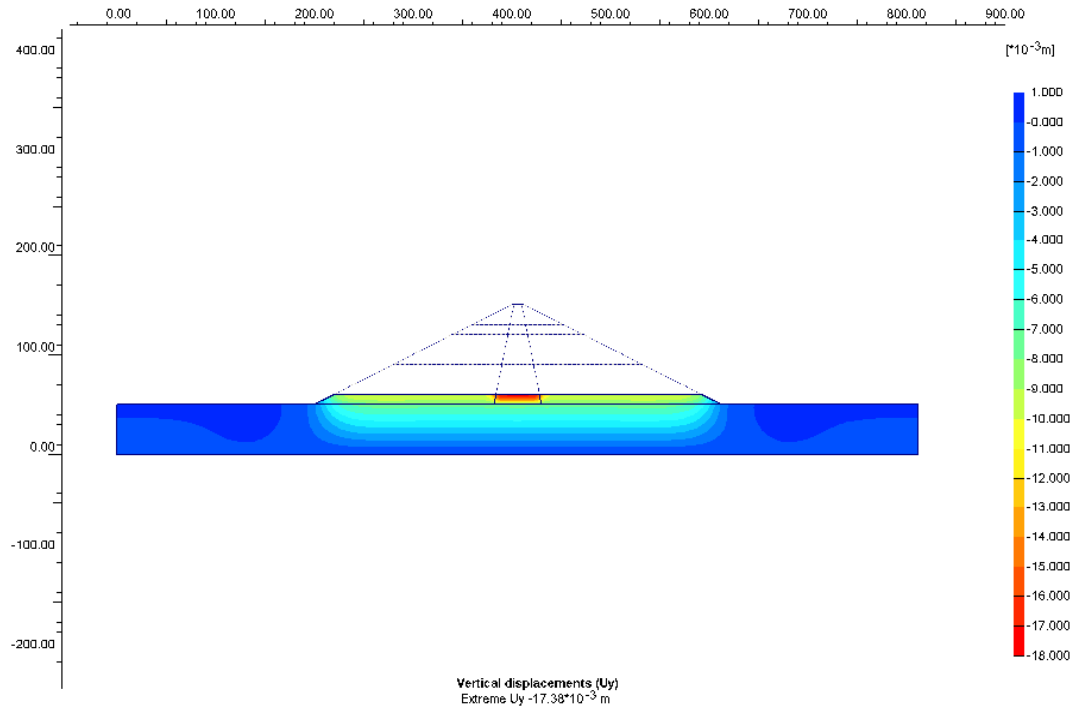
Şekil 7.29 9. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



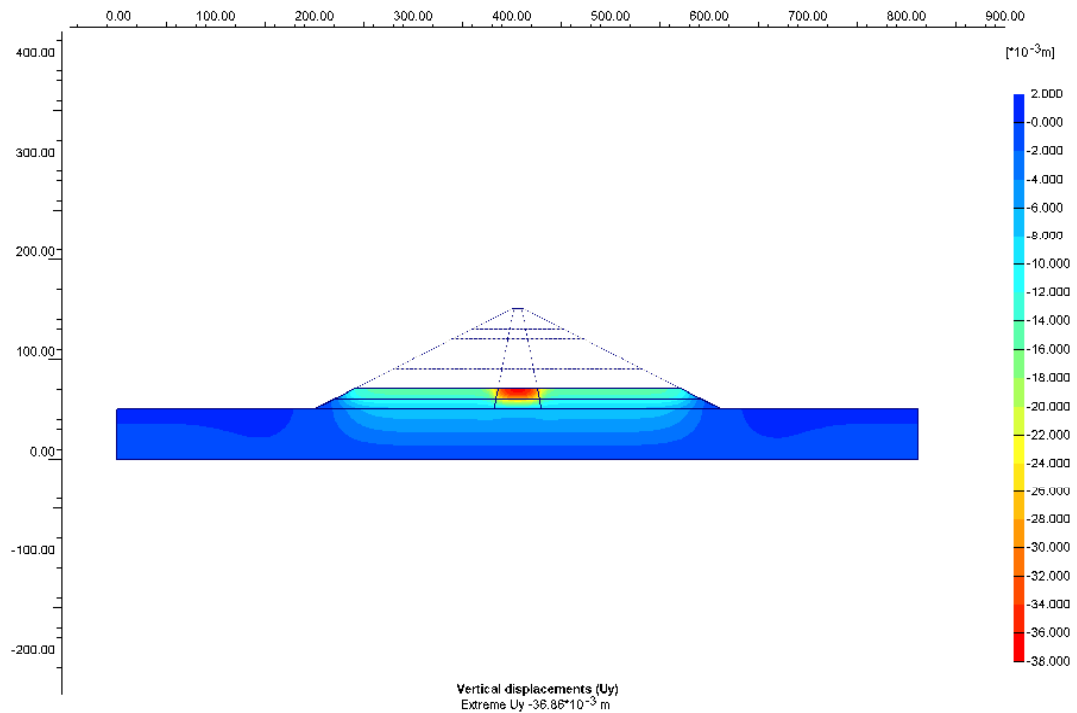
Şekil 7.30 10. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi

7.3. Tip 11 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (4 grup malzeme)

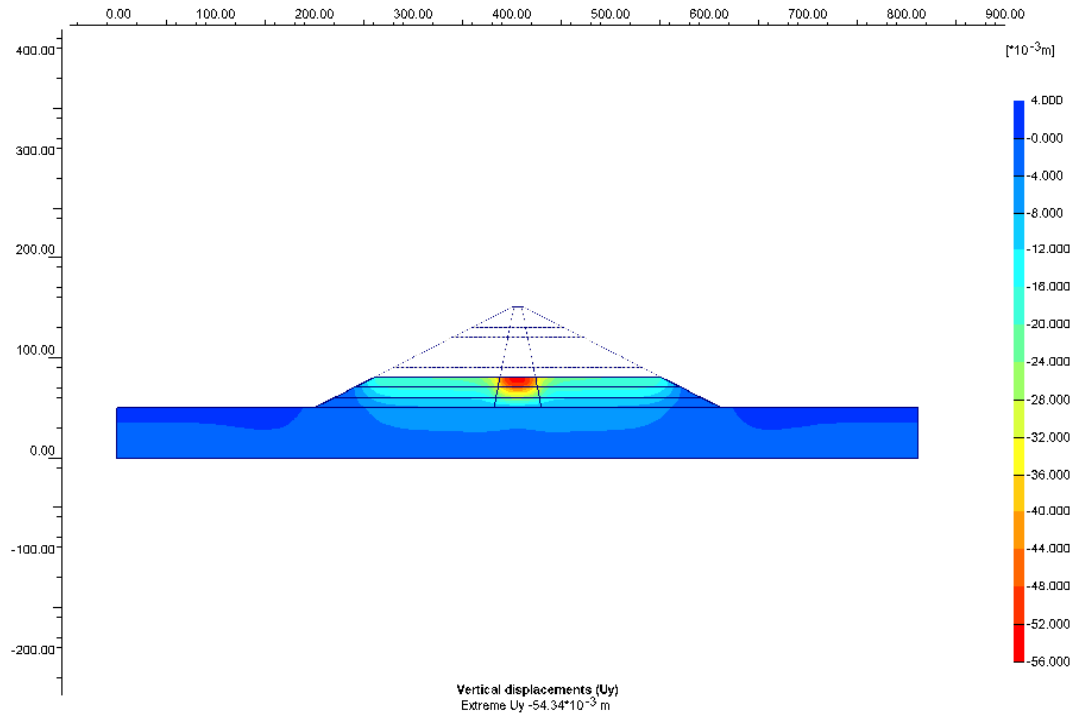
Bu kesit Plaxis' te plain Strain olarak modellenenecektir. Bu kabul ile oldukça gerçekçi sonuçlar bulunacaktır. Analizler de gövde gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Analizler tabakalı olarak çözülmüştür.



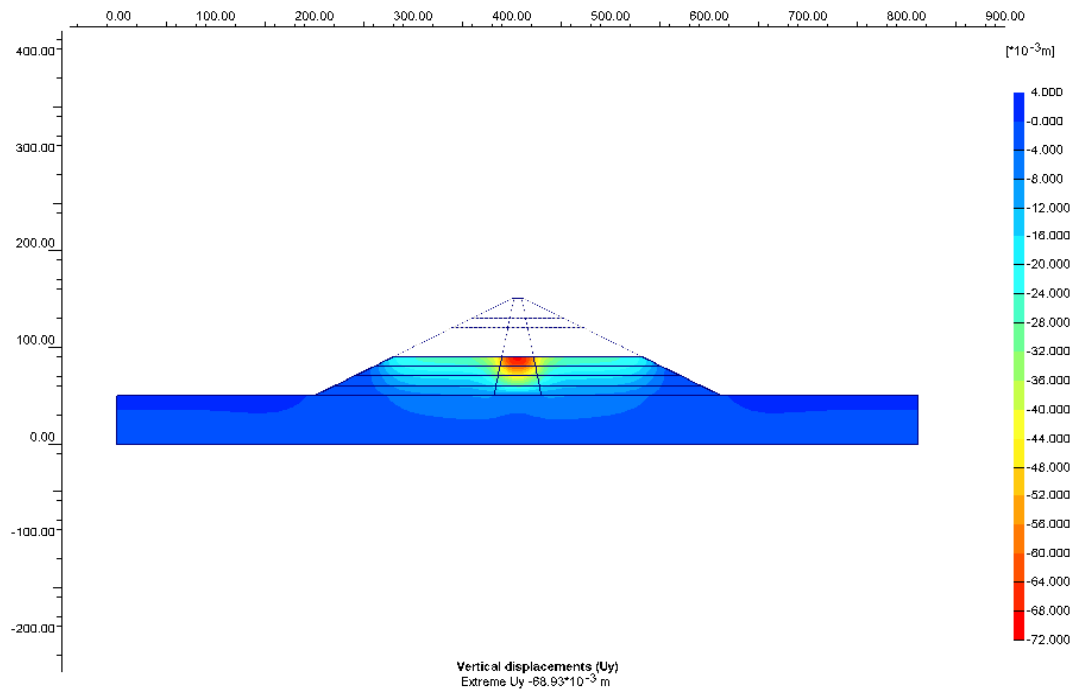
Şekil 7.31 1. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



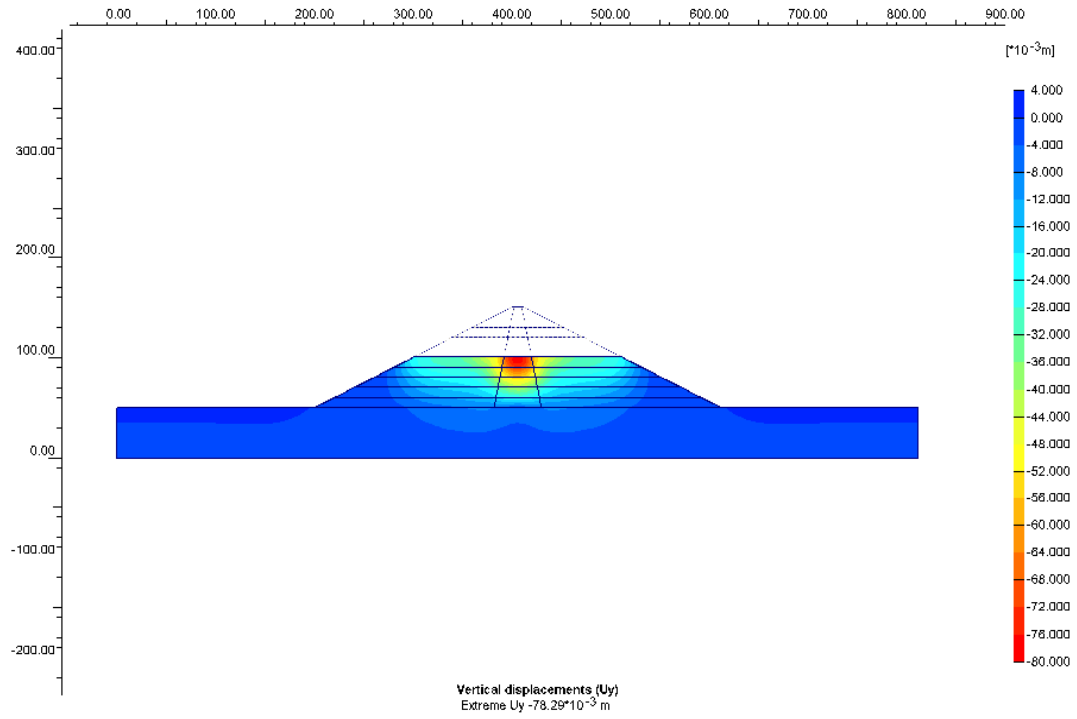
Şekil 7.32 2. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



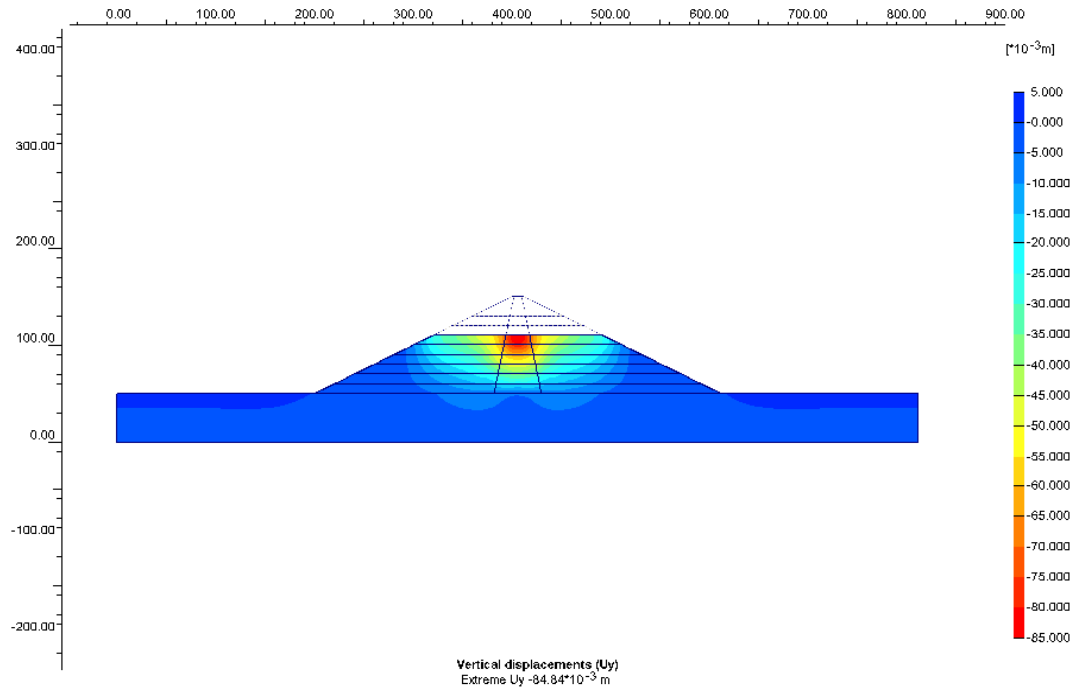
Şekil 7.33 3. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



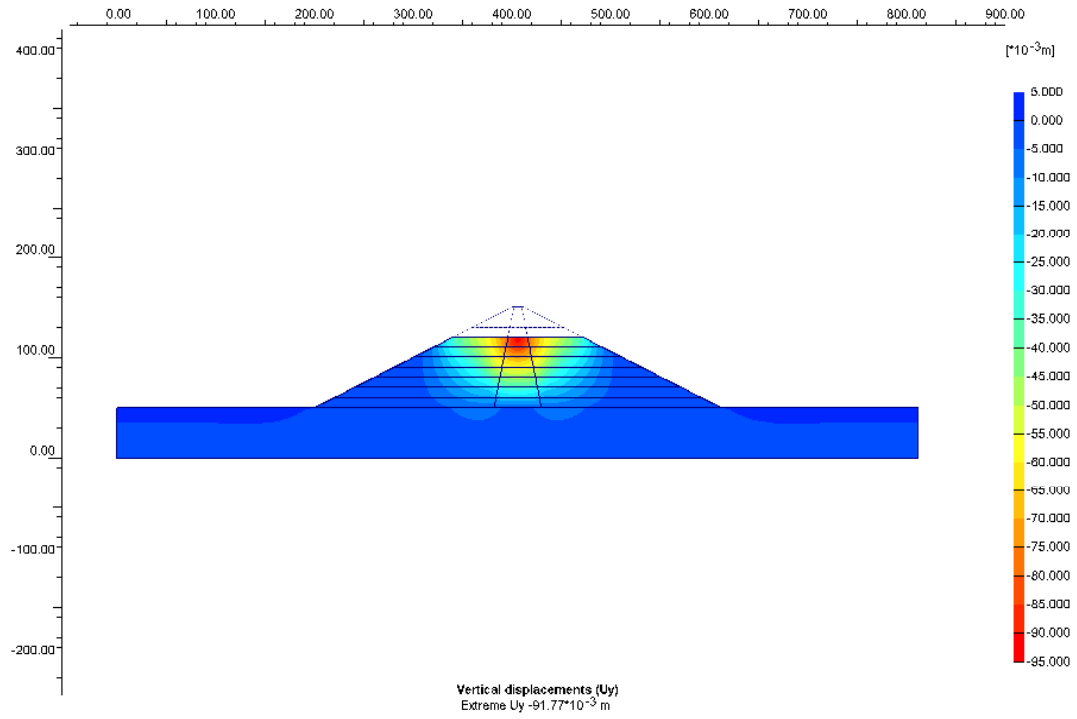
Şekil 7.34 4. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



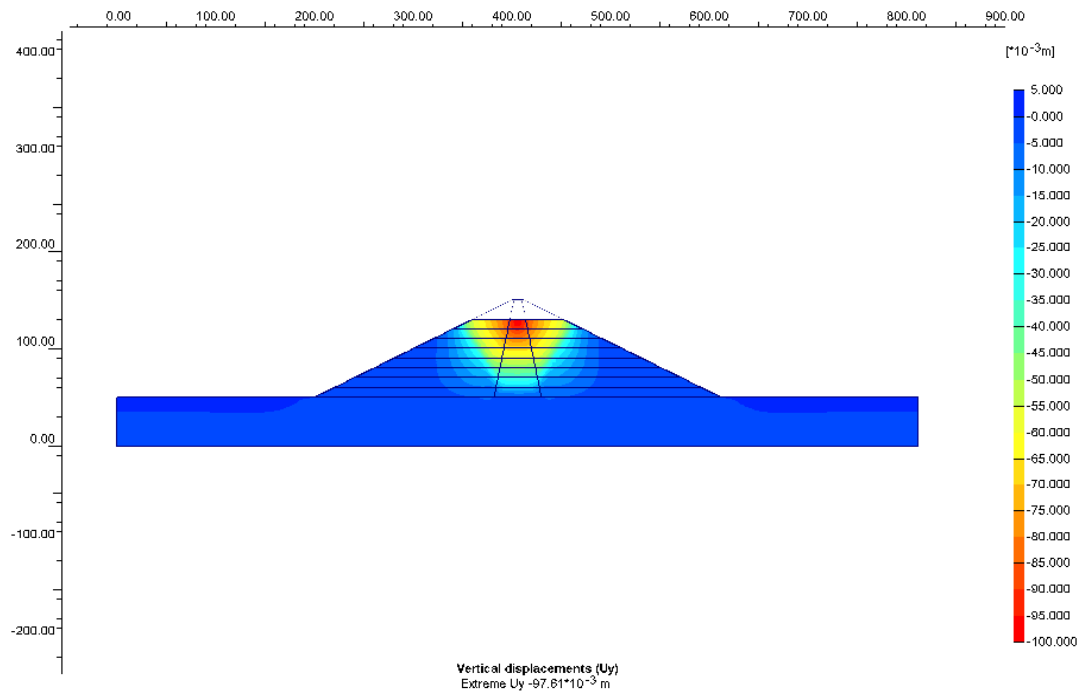
Şekil 7.35 5. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



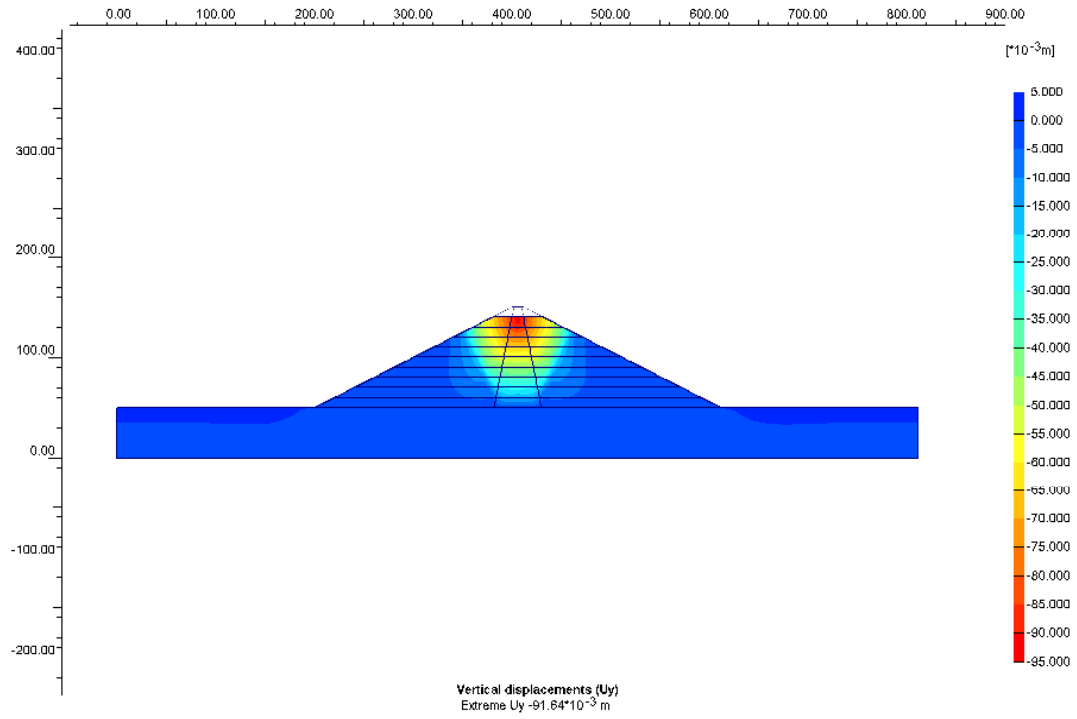
Şekil 7.36 6. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



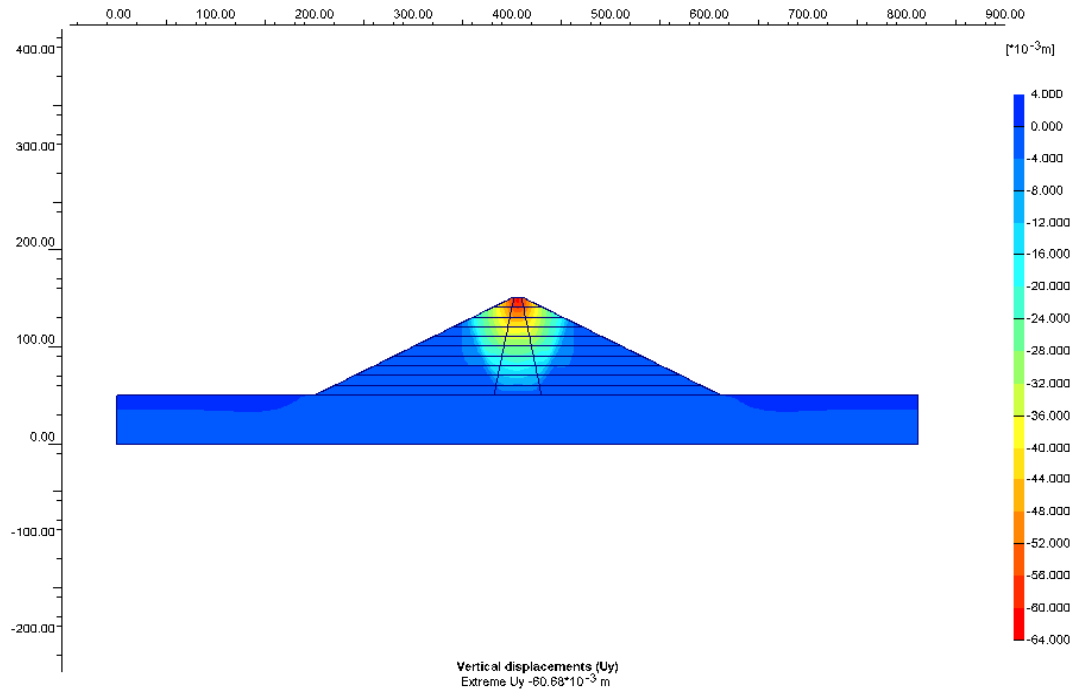
Şekil 7.37 7. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



Şekil 7.38 8. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



Şekil 7.39 9. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi



Şekil 7.40 10. tabaka için dikey deplasmanın görüntülenmesi

İnşaat tamamlandığında yani son tabaka imali bittiğindeki toplam deformasyon dağılımı şekil 7.40'da görülmektedir.

Plaxis programı tabakalı olmayan çözümlerde maksimum deformasyonu hesaplayamamaktadır. Baraj gövdesinin tabakalı değil de tek seferde inşaa edildiği düşünülüp bir bütün olarak alınıp analizi yapılırsa maksimum deformasyon krette olmaktadır (Şekil 5.3 ve Şekil 5.14 gibi). Ancak bilindiği üzere dolgu barajlarda maksimum deformasyon dolgu yüksekliğinin ortalarına denk gelen bir yerde olmaktadır.

Plaxis programında gerçek deformasyonu bulmak için gövde tabakalı olarak modellenmektedir. Bu çalışmada gövde gerçek deplasmanını yakalamak için baraj gövdesi 10 metrede bir tabakalara ayrılmıştır. Plaxis yazılımında baraj gövdesi tabakalı olarak modelledikten sonra inşaat sırasına göre önce 1.tabaka sadece aktif konuma getirilerek 1.tabakanın inşaat sonundaki deformasyon değeri okunmaktadır. Daha sonra 1.ve 2. tabaka aktif yapılarak 2.tabakanın inşaat sonundaki deformasyon değeri okunmaktadır. Bu şekilde tüm tabakaların inşaat sonundaki deformasyon değeri okunarak aynı tabakanın üzerine inşaa edilen diğer her bir tabakanın söz konusu incelenen tabaka üzerindeki deformasyon payı plaxis te bulunmaktadır. Bu değerler tablo 7.1' de verilmiştir.

Tablo 7.1 incelendiğinde şu görülecektir; örneğin 1 numaralı tabaka inşaa edildiğinde 10×10^{-3} m kendi deformasyonu bulunacaktır. 2. tabaka inşaa edildiğinde 2. tabakadan dolayı 1. tabakada meydana gelecek deformasyon 11×10^{-3} m olacaktır. 8. tabakanın inşasından sonra 8. tabaka yüzünden 1. tabakada oluşacak deformasyon 5×10^{-3} m olacaktır. Artık son tabakaların 9, 10 numaralı tabakaların inşası en alttaki tabaka üzerinde ihmal edilecek düzeyde etki gösterecektir. Bu şekilde tüm inşaat aşamalarının tüm tabakalar üzerindeki etkisi Plaxis ile rahatlıkla elde edilecektir. Her bir tabakanın bulunduğu satırdaki değerlerin hepsi toplandığında o tabakanın toplam deformasyonu elde edilecektir. Tablo 7.1' de toplam deformasyonlar bulunmuştur. Buna göre toplam deformasyonun en fazla olduğu satır maksimum deformasyonu göstermektedir.

Tablo 7.1. Tip 8 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (1. grup malzeme) için deformasyon değerleri

Baraj Yüksekliği H	Tabaka No	İnşaat Aşama No ve Deformasyon Değerleri x 10 ⁻³ m										Düşey Deformasyon x10 ⁻³ m
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	1	10	11	10	10	15	15	15	5	0	0	91
20	2	-	17	18	20	25	25	25	25	0	0	155
30	3	-	-	26	32	32	35	40	36	35	0	236
40	4	-	-	-	37	45	45	55	55	40	15	292
50	5	-	-	-	-	55	60	70	85	70	35	375
60	6	-	-	-	-	-	75	85	115	130	65	470
70	7	-	-	-	-	-	-	100	150	170	100	520
80	8	-	-	-	-	-	-	-	170	190	140	500
90	9	-	-	-	-	-	-	-	-	220	160	380
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	160	160

Tablo 7.2. Tip 9 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (2. grup malzeme) için deformasyon değerleri

Baraj Yüksekliği H	Tabaka No	İnşaat Aşama No ve Deformasyon Değerleri x 10 ⁻³ m										Düşey Deformasyon x10 ⁻³ m
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	1	15	18	17	20	20	20	15	15	0	0	140
20	2	-	34	38	40	40	40	35	30	20	7	284
30	3	-	-	54	56	57	56	55	50	38	25	391
40	4	-	-	-	74	75	70	75	70	65	30	459
50	5	-	-	-	-	95	90	90	85	70	35	465
60	6	-	-	-	-	-	110	105	100	85	47	447
70	7	-	-	-	-	-	-	125	115	95	53	388
80	8	-	-	-	-	-	-	-	140	110	60	310
90	9	-	-	-	-	-	-	-	-	130	75	205
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	85	85

Tablo 7.3. Tip 10 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (3. grup malzeme) için deformasyon değerleri

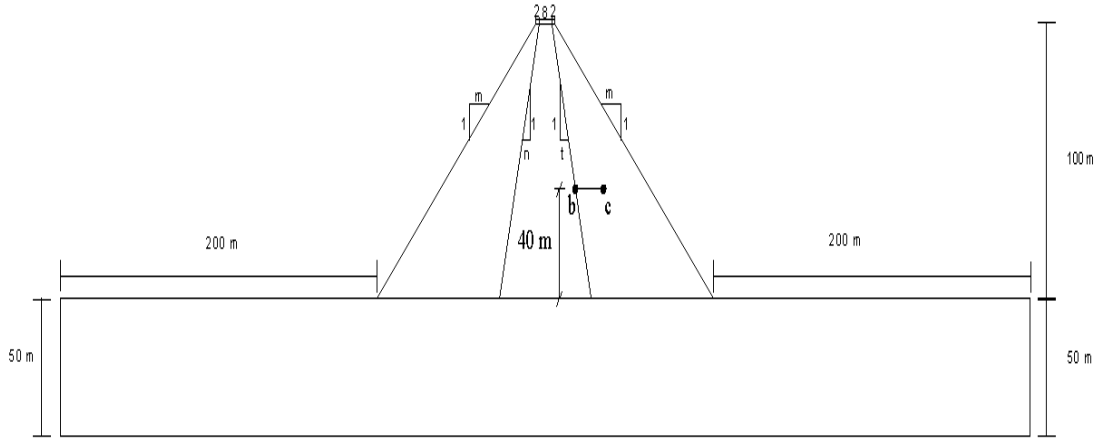
Baraj Yüksekliği H	Tabaka No	İnşaat Aşama No ve Deformasyon Değerleri x 10 ⁻³ m										Düşey Deformasyon x10 ⁻³ m
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	1	9	10	12	10	8	8	8	5	0	0	70
20	2	-	14	16	15	16	18	20	20	5	0	124
30	3	-	-	22	22,5	24	24	28	30	15	0	165,5
40	4	-	-	-	30	32	36	36	40	30	15	219
50	5	-	-	-	-	40	44	48	55	55	25	267
60	6	-	-	-	-	-	56	56	65	70	45	292
70	7	-	-	-	-	-	-	68	85	85	60	298
80	8	-	-	-	-	-	-	-	100	110	72	282
90	9	-	-	-	-	-	-	-	-	120	80	200
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	90

Tablo 7.4. Tip 11 $m = 2$ iken $t = n = 0,2$ (4.grup malzeme) için deformasyon değerleri

Baraj Yüksekliği H	Tabaka No	İnşaat Aşama No ve Deformasyon Değerleri x 10 ⁻³ m										Düşey Deformasyon x10 ⁻³ m
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
10	1	17	18	19	20	20	20	17	15	5	0	151
20	2	-	36	36	36	36	30	30	30	25	8	267
30	3	-	-	52	52	45	45	40	40	30	12	316
40	4	-	-	-	68	68	56	50	50	45	20	357
50	5	-	-	-	-	80	75	60	60	50	24	349
60	6	-	-	-	-	-	80	70	70	60	28	308
70	7	-	-	-	-	-	-	95	85	70	36	286
80	8	-	-	-	-	-	-	-	100	80	44	224
90	9	-	-	-	-	-	-	-	-	95	50	145
100	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	60

8. DEFORMASYONLARIN HESAPLANMASI

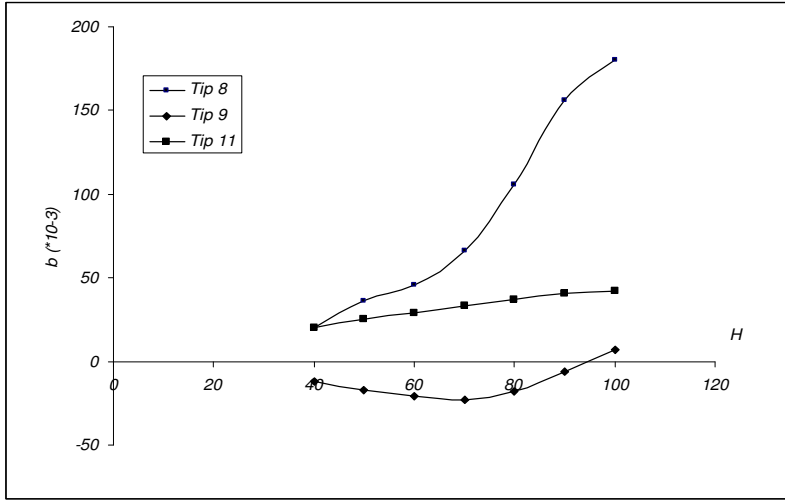
Gövde üzerindeki yatay deformasyonların incelenmesi için kabuk dolgusunun olduğu kısımdan seçilen b ve c noktaları incelenir. Kil çekirdek kısmından seçilmesi halinde çok fazla değişim olmayacağından noktalar kabuk dolgusu üzerinden seçilmiştir.



Şekil 8.1. Yatay deformasyonların hesaplandığı noktalar

Tablo 8.1 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti üzerindeki b noktalarından okunan yanal ötelenmeler

Baraj inşaatında ulaşılan yükseklik (m)	Tip 8 b noktası yanal ötelenmesi ($\times 10^{-3}$ m)	Tip 9 b noktası yanal ötelenmesi ($\times 10^{-3}$ m)	Tip 11 b noktası yanal ötelenmesi ($\times 10^{-3}$ m)
40	20	-12	20
50	36	-17	25
60	46	-21	29
70	66	-23	33
80	106	-18	37
90	156	-6	41
100	180	7	42



Şekil 8.2. Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti b noktasının yatay yöndeki deformasyonu

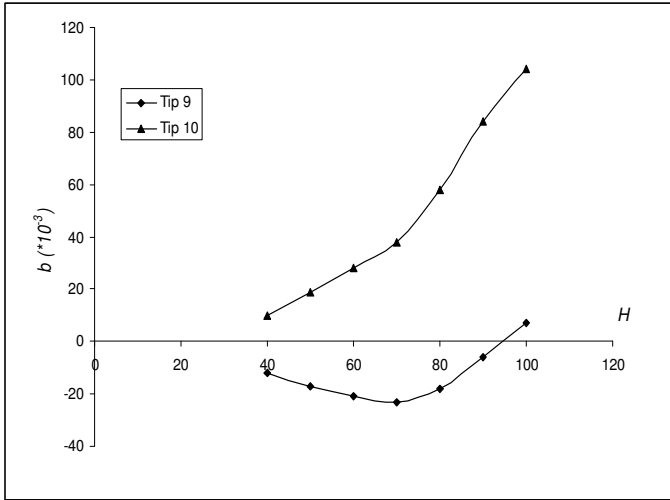
Tablo 7.1’ de tabakalar halinde inşa edilen barajda b noktasındaki her tabaka inşaatı halinde üç malzeme grubu için “b” noktasındaki yatay deplasman değişimi görülmektedir. Burada düşey eksen b noktasının yatay yöndeki deformasyonu ($\cdot 10^{-3}$ m) yatay eksen ise baraj yüksekliğini göstermektedir.

Şekil 8.2’ de 4. grup malzemedde en rijit kabuk dolgusu olduğu kolayca görülmektedir. Ve bu malzemedde b noktası en düşük yanal ötelemeyi yapmaktadır. Gene aynı şekilde 1. grup malzeme en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusunu temsil eder ve en fazla yanal ötelenme bu malzeme grubunda elde edilmiştir. Bu grafikten söylenebilir ki kabuk dolgusu rijitliği arttıkça gövde içerisindeki yanal ötelenmeler azalacaktır.

Şekil 8.2’deki Tip 9 2. grup malzeme ise çekirdeğin düşük rijitliği ve yüksek kabuk rijitliği nedeniyle baraj inşaatı esnasında 40 m ile 60 m arasında rölatif olarak gittikçe azalan +X istikameetinin tersine –X istikametinde ötelenmeler olmuştur.

Tablo 8.2 Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup) enkesiti üzerindeki b noktalarından okunan yanal ötelenmeler

Baraj inşasında ulaşılan yükseklik. (m)	Tip 9 b noktası yanal ötelenmesi (*10 ⁻³ m)	Tip 10 b noktası yanal ötelenmesi (*10 ⁻³ m)
40	-12	10
50	-17	19
60	-21	28
70	-23	38
80	-18	58
90	-6	84
100	7	104

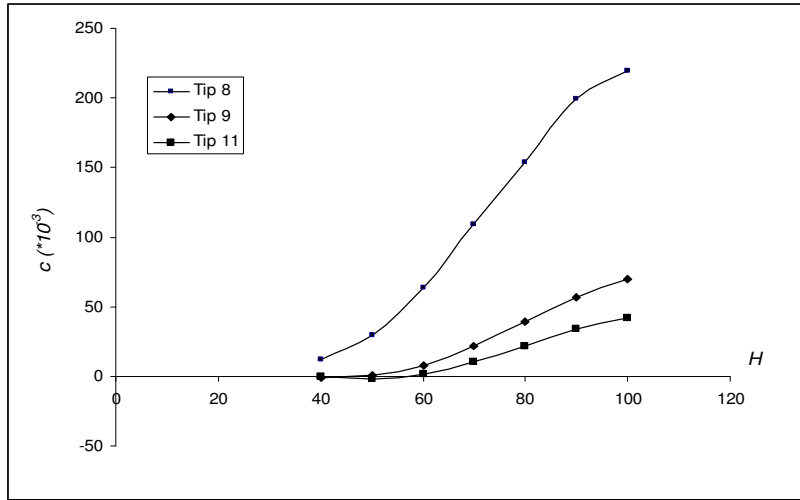


Şekil 8.3. Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup) enkesiti b noktasının yatay yöndeki deformasyonu

Şekil 8.3' te kabuk rijitliği birbirine çok yakın iki dolguda çekirdek rijitliğinin “b” noktasındaki yanal deformasyona etkisi görülmektedir. Çekirdek rijitliği düşük olduğu zaman şekil 8.3 Tip 9' da görüldüğü gibi +X istikametinin tersine deformasyonların olmaktadır. Ancak şekil 8.3 Tip 10' da ise yüksek rijitlikli çekirdekte bu davranışın oluşmadığı görülmektedir. Bu durumda şunları söyleyebiliriz; çekirdeğe yakın bölgelerde inşaat esnasında, düşük rijitliğe sahip çekirdeklerde dolgunun belli bir yüksekliğine kadar ters istikamette deformasyonlar oluşmakta dolgu bittiğinde ise +X yönünde daha az ötelenmektedir.

Tablo 8.3 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti üzerindeki c noktası üzerindeki noktalarından okunan yanal ötelenmeler

Baraj inşasında ulaşılan yükseklik (m)	Tip 8 c noktası yanal ötelenmesi (*10 ⁻³ m)	Tip 9 c noktası yanal ötelenmesi (*10 ⁻³ m)	Tip 11 c noktası yanal ötelenmesi (*10 ⁻³ m)
40	12	-1	0
50	30	1	-2
60	64	7,5	2
70	109	21,5	10
80	154	39,5	22
90	199	56,5	34
100	219	69,5	42



Şekil 8.4. Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti c noktasının yatay yöndeki deformasyonu

Şekil 8.4' te çekirdek rijitlikleri aynı olan kabuk rijitlikleri farklı olan 3 modelde kabuk içerisinde bulunan "c" noktasının yatay deformasyon değişimleri görülmektedir.

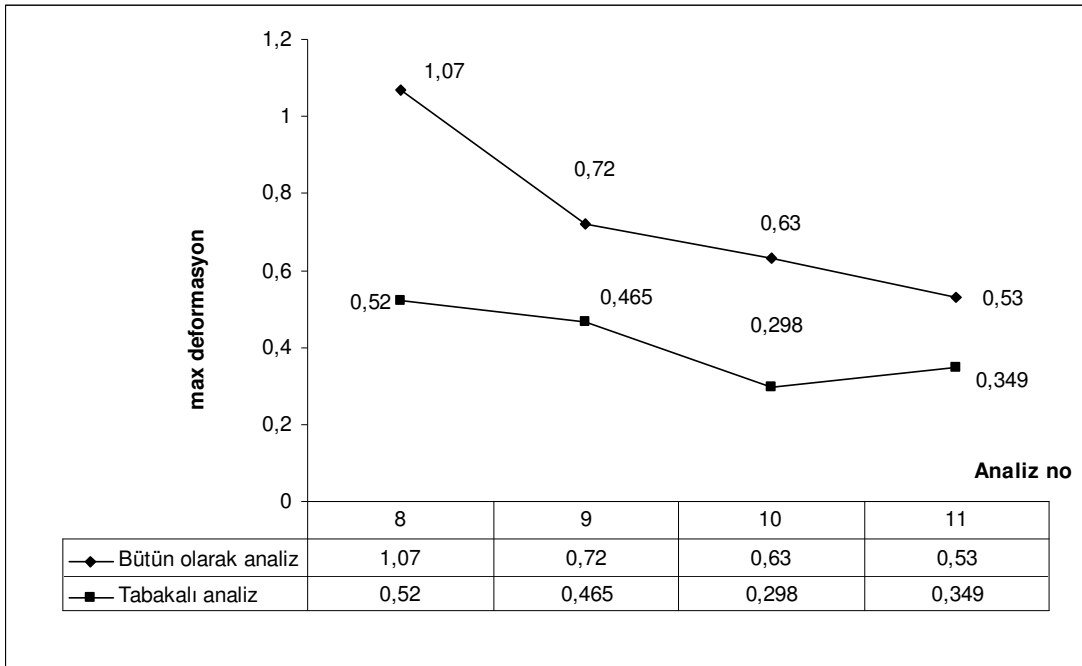
Şekil 8.4' te 4. grup malzeme en rijit kabuk dolguya sahiptir dolayısıyla en düşük yatay deformasyonu yapmaktadır. Aynı şekilde en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusu Tip 8 1. grup malzemedir. Bu dolgudaki c noktasının daha fazla deformasyon yaptığı görülmektedir.

Şekil 8.4' e göre söylenilebilir ki kabuk dolgusunun rijitliği arttıkça dolgu eteğinin yanal ötelenmesi azalacaktır.

Baraj gövdesinde meydana gelen oturmaları incelemek ve karşılaştırmak için Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup) ve Tip 11 (4. grup) numaralı modeller tabakalar halinde inşaat esasına göre çözülmüştür.

Tablo 8.4 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti üzerindeki okunan maksimum oturma miktarı

Analiz No	Maksimum Oturmanın Yeri ve Miktarı	
	Dolgunun bütün olarak analizinde (maksimum Oturma Krette) (m)	Dolgunun Tabakalar halinde analizinde (Max.Oturma yüksekliğin %50-70) (m)
8	1,07	0,520
9	0,72	0,465
10	0,63	0,298
11	0,53	0,349



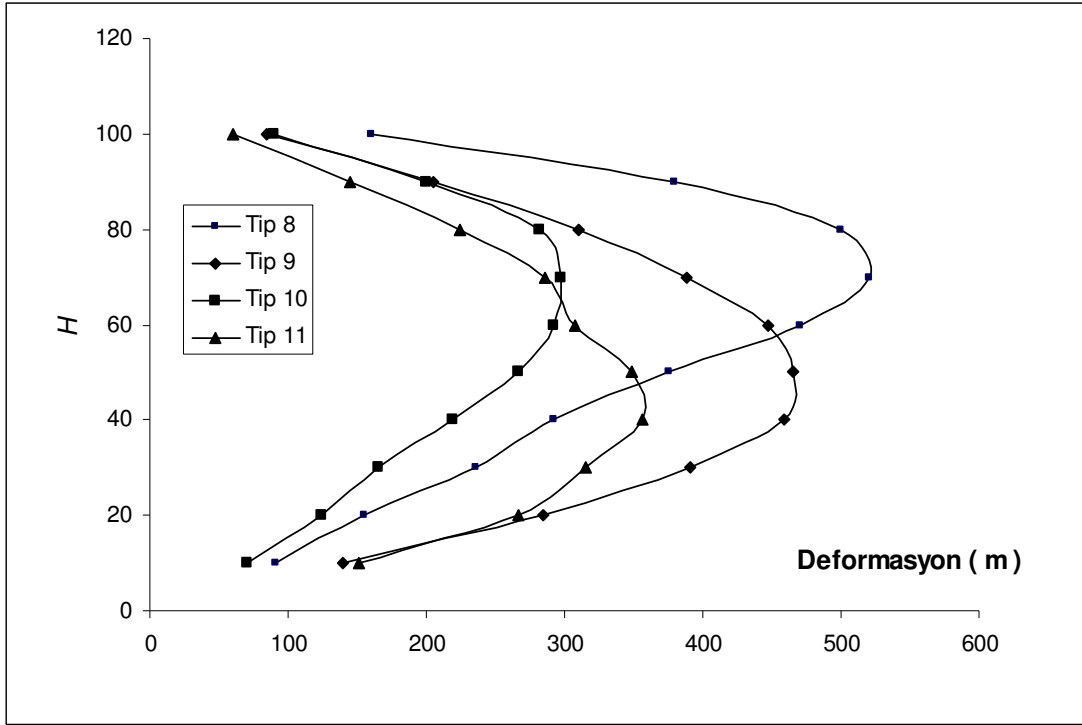
Şekil 8.5. Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup), Tip11 (4. grup) enkesiti üzerindeki okunan maksimum oturma miktarı

Yukarıdaki tablodan görüleceği üzere analizler gövdenin bir bütün olarak analizinin yapılması halinde maksimum oturma barajın kretinde oluşmakta ve olması gereken değerden yaklaşık 1,5-2 kat fazla elde edilmektedir. Gövdenin tabakalar halinde inşaa edildiği düşünülerek analiz tabakalar halinde kademeli olarak yapıldığında ise pratikteki gözlemlerle uyumlu olarak maksimum oturma baraj yüksekliğinin %50-70 civarında gerçekleşmektedir.

Aynı şekilde aşağıdaki grafik incelendiği zaman I, III ve IV numaralı malzeme gurubu ile yapılan Tip 8, Tip 9 ve Tip 11 nolu analizlerde kil rijitlikleri aynı olmasına rağmen maksimum oturma kabuk rijitlikleri ile değişmektedir. Eşit kil rijitlikleri halinde en fazla kabuk rijitliğine sahip 4. grup malzemede minimum düşey deformasyon elde edilmiştir. Ayrıca Tip 10 analizindeki kabuk rijitliğinden ziyade kil çekirdek diğer malzemeye göre daha rijit olduğu için en düşük deformasyon bu malzeme grubunda elde edilmiştir.

Tablo 8.5 Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup), Tip11 (4. grup) enkesitleri üzerinden okunan deformasyonlar

Baraj Yüksekliği (m)	Tip 8 (*10 ⁻³ m)	Tip 9 (*10 ⁻³ m)	Tip 10 (*10 ⁻³ m)	Tip 11 (*10 ⁻³ m)
10	91	140	70	151
20	155	284	124	267
30	236	391	165,5	316
40	292	459	219	357
50	375	465	267	349
60	470	447	292	308
70	520	388	298	286
80	500	310	282	224
90	380	205	200	145
100	160	85	90	60



Şekil 8.5. Tip 8 (1. grup), Tip 9 (2. grup), Tip 10 (3. grup), Tip 11 (4. grup)
enkesitlerindeki maksimum deformasyon yüksekliği

9. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

9.1 Sonuçlar

Bu çalışmada baraj temelının rijitlik modülü oldukça yüksek alınarak temelın etkisi minimize edilmiştir. Bir başka değişle, temel sağlam kaya temel olarak alınmıştır. Kabuk dolgusu ve kil çekirdek değerleri de değiştirilerek dört grup malzeme oluşturulmuştur. Bu malzeme değerlerinden; 1. grup malzeme kil çekirdek ile kabuk dolgusunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 2. grup malzeme kabuk dolgusunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kaya dolgu barajı temsil etmektedir. 3. grup malzeme yine kil çekirdek ile kabuk dolgusunun yaklaşık aynı rijitliğe sahip olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. 4. grup malzeme ise kabuk dolgusunun kil çekirdekten daha rijit olduğu kum-çakıl dolgu barajı temsil etmektedir. Ayrıca farklı şev eğimleri ve farklı grup malzemelerle toplam oniki tip baraj modeli oluşturulmuştur. Gerilme hesaplamalarında Plaxis yazılımında baraj enkesiti bir bütün olarak inşa edilmiş gibi düşünölüp analizler yapılmıştır. Analizler üzerinden düşey gerilme değerleri okunmuştur.

Yapılan analiz sonuçlarına göre; 1. grup malzeme kabuk dolgusu ile yaklaşık olarak aynı rijitlik değerine sahip bir dolgu baraj üzerinde yatay ve düşey gerilme dağılımlarında kabuk dolgusu şevinin önemli bir parametre olmadığı görölmüştür. Değişik kabuk şevleri için birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir. Aynı şekilde kabuk şev eğimlerinin değişiminin çekirdek üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görölmektedir.

Kil çekirdeğin memba ve mansap şevlerinin değişiminin kabuk dolgusu üzerindeki gerilme dağılımı üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görölmektedir. Çekirdek eğiminin çekirdek içerisindeki gerilme dağılımına rijitlik kadar olmasa da ihmal edilemeyecek oranda etki ettiği düşey gerilme oranındaki değişimle görölmektedir.

Aynı geometriye sahip gövde üzerinde farklı malzeme grupları kullanılarak yapılan analizler sonucunda rijitlik farkı daha çok olduğu kolayca görölmektedir.

Sonuç olarak; yapılan analizlerdeki Plaxis çıktılarında göröldüğü üzere çekirdeğin eğimi, kayma dairelerinin oluşabileceği bölgelere 1. derecede etki etmektedir. Geniş bir çekirdek daha düşük içsel sürtünme açısı olan bölge anlamına geldiği için bu bölgeler analizlerde göröldüğü üzere daha fazla plastik noktalar barındırmaktadır.

Yapılan analizlerde malzemenin rijitlik değerlerinin baraj gövdesi üzerinde olabilecek etkilerde diğer parametrelere göre daha çok etkili olduğu görülmektedir. Kıl çekirdek ile kabuk malzemesinin rijitliklerinin farklı olması durumunda eğer kıl çekirdeğin rijitliği kabuk malzemesine göre düşükse yani çekirdek fazla deformasyon yapabilme özelliğine sahipse çekirdek malzemesi kabuğa göre fazla deformasyon yaparak filtreler üzerinden kabuk dolguya asılmaktadır. Bu durum Kemerleşme olayıdır. Plaxis çıktısında çekirdek altında tabanda yaklaşık 700 kN/m^2 'lik bir basınç vardır. Oysaki aynı geometrik özelliklere sahip Tip 10 analizinde (3. grup malzeme ile yapılan analiz) efektif gerilmeler çıktısı incelendiğinde aynı çekirdek ve kabuk şev eğimine sahip barajın çekirdek tabanında 1300 kN/m^2 'lik gerilme oluşmuştur. Neredeyse yarı yarıya çekirdek tabanında fark yaratan bu kemerleşme hadisesi baraj mühendisliğinde oldukça dikkat edilmesi gereken ve istenmeyen bir olaydır. Çünkü taban üzerinde kemerleşme etkisi ile gerilmenin düştüğü bu noktada hidrostatik yük kemerleşme gerilmesinden büyük olursa bu noktada “*Hydraulic Fracturing*” adı verilen *hidrolik kırılma* olayı meydana gelecektir. Bu durum ABD de 1976 Temmuzunda hidrolik kırılmanın tetiklediğine inanılan borulanma hadisesi ile yıkılan Teton barajında olduğu gibi riskli bir durum oluşturacaktır. Bu nedenle çekirdek dolguları her zaman kabuklardan daha iyi sıkıştırılmalıdır. Böylelikle hem kayma mukavemeti artırılır hem geçirimsizliğe faydası olur hem de rijitliği artırılır.

Eğer dolgu gerçekte olduğu şekilde tabakalar halinde inşa edildiği gibi değil de sanki toptan bitmiş gibi düşünülerek analizi yapılırsa maksimum deplasman krette oluşmaktadır. Ancak bu gerçekte böyle değildir. Gövde gerçek deplasman davranışını yakalamak için barajın tabakalar halinde inşa edildiği göz önünde bulundurularak modellenmiştir. Baraj gövdesi on metre yüksekliğinde on tabakaya ayrılmıştır. Barajın Plaxis 8.x de modellenmesinden sonra her bir inşaat aşaması için program koşturulmuş ve her bir aşama için aşağıdaki gerilme deformasyon durumları incelenmiştir.

4. grup malzemede en rijit kabuk dolgusu vardır ve bu malzemede *b* noktası en düşük yanal ötelemeyi yapmaktadır. Gene aynı şekilde 1. grup malzeme en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusunu temsil eder ve en fazla yanal ötelenme bu malzeme grubunda elde edilmiştir. Söylenebilir ki kabuk dolgusu rijitliği arttıkça gövde içerisindeki yanal ötelenmeler azalacaktır.

2. grup malzeme ise çekirdeğin düşük rijitliği ve yüksek kabuk rijitliği nedeniyle baraj inşaatı esnasında 40 m ile 60 m arasında rölatif olarak gittikçe azalan +X istikametinin tersine -X istikametinde ötelenmeler olmuştur.

Kabuk rijitliği birbirine çok yakın iki dolguda çekirdek rijitliğinin “b” noktasındaki yanal deformasyona etkisi grlmektedir. Çekirdek rijitliği düşük olduğu zaman +X istikametinin tersine deformasyonların olmaktadır. Ancak yüksek rijitlikli çekirdeklerde bu davranışın oluşmadığı grlmektedir. Bu durumda şunları söyleyebiliriz; çekirdeğe yakın bölgelerde inşaat esnasında, düşük rijitliğe sahip çekirdeklerde dolgunun belli bir yüksekliğine kadar ters istikamette deformasyonlar oluşmakta dolgu bittiğinde ise +X yönünde daha az ötelenmektedir.

Çekirdek rijitlikleri aynı olan kabuk rijitlikleri farklı olan üç modelde kabuk içerisinde bulunan “c” noktasının yatay deformasyon değişimleri; 4. grup malzeme en rijit kabuk dolguya sahiptir dolayısıyla en düşük yatay deformasyonu yapmaktadır. Aynı şekilde en düşük rijitliğe sahip kabuk dolgusu 1. grup malzemedir. Bu dolgudaki c noktasının daha fazla deformasyon yaptığı grlmektedir. Söylenebilir ki kabuk dolgusunun rijitliği arttıkça dolgu eteğinin yanal ötelenmesi azalacaktır.

9.2 neriler

- Bu alışma, su tutma hali için farklı su seviyeleri dikkate alınarak da yapılabilir.
- Baraj temelinin rijitlik modülü farklı alınarak temel etkisi incelenebilir.
- Memba ve mansap şevleri palyeli alınarak gerilme deformasyon analizleri yapılabilir.

KAYNAKLAR

Duncan J.M. and Wong K.S., (1974). Hyperbolic Stress-Strain Parameters For Non-Linear Finite Element Analyses of Stresses and Movements in Soil Masses, Report No.TE-74-3, University of California, Berkeley

Justo, J.L., (1973). The Cracking of Earth And Rockfill Dams, 11th ICOLD Congresses, Madrid, 1973, Comm. C II, IV

Kondner, R.L., (1963). Hyperbolic Stress-Strain Response: Cohesive Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 89, No.SM1

Kulhawy H.F., (1969). Finite Element Analysis of Behavior of Embankment, Ph.D.Thesis, University of California, Berkeley,1969

Squier, L.R., (1970). Load Transfer in Earth and Rockfill Dams, Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 96, No.SM1

Thomas, H.H., (1976). The Engineering of Large Dams, Part II, John Wiley and Sons, London

Ağralıoğlu, N., 2005. Baraj Planlama ve Tasarımı Cilt 1-2, Su Vakfı Yayınları, İstanbul, 2005.

Bilgi, V., (1990). Toprak ve Kaya Dolgu Barajların Projelendirme Kriterleri. T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Genel Müdürlüğü, Barajlar ve HES Dairesi başkanlığı, Ankara.

Chanrupatla, T.R., Belegundu, A.D. 1991. Introduction to Finite Elements in Engineering, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA.

Duncan, J.M. and Chang, C.Y., (1970). Nonlinear Analysis Of Stress And Strain In Soils, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 96, No. SM5, pp.1629-1653.

Durgunoğlu, T. ve Yazıcıoğlu, A., (1993). Kaya Dolgu Barajlarda Gerilme ve Deformasyon Hesabına Ait Bir Uygulama, Dolgu Barajlar Yönünden Zemin Mekaniği Problemleri Sempozyumu, 20-25 Eylül 1993, İzmir, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı DSİ Teknik Araştırma ve kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, s. 123-138.

Emiroğlu, M.E., (1991). Baraj Tip Seçiminin Belirlenmesinde Uzman Sistem Kullanımı. Doktora tezi, Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ, Türkiye.
Emiroğlu, M.E. (2008) Influences on Selection of the Type of Dam, International Journal of Science & Technology Volume 3, No 2, 173-189, 2008

Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., (1992). Geotechnical Engineering of Embankment Dams, A. A. Balkema / Rotterdam/ Brookfield.

Franklin, J. A. and Dusseault, M. B., (1991). Rock Engineering Applications, McGraw-Hill, Inc., New York

Karadayı, N., (1990). Tiplerine Göre Barajların İncelenmesi, Baraj Projeleri ve Baraj İnşaatında Dikkat Edilecek Önemli Hususlara Kısa Bir Bakış, barajlarda İnşaatın teknik kontrolü ve mukavele semineri, 19-23 Kasım 1990, DSİ Genel Müd. Barajlar ve HES Daire Başkanlığı, Fethiye.

Singh, B., and Varshney, R.S., (1995). Engineering for Embankment Dams, A.A. Balkema , Rotterdam.

USBR, 1986. “Design of Small Dams”, A Water Resources Technical Publication, Third Edition, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, USA.

<http://www.plaxis.nl/>

ÖZGEÇMİŞ

Meral KORKMAZ, 1984 yılında Elazığ ilinde doğdu. İlk ve Orta öğrenimini Elazığ'da tamamladı. Lise öğrenimini 2001 yılında Elazığ Orgeneral Bedrettin Demirel Lisesinde tamamladı. 2002 yılında başlamış olduğu Fırat Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü 2006 yılında bitirdi. 2007 yılında Sivas Yıldızeli 208 adet konut birer adet ilköğretim okulu, ticaret merkezi, camii, Gölova 64 adet konut birer adet ticaret Merkezi, camii, tüm konut ve donatılara ait genel ve adaiçi altyapı ve çevre düzenleme inşaatı yapım işinde saha mühendisi olarak çalıştı. 2009 yılında Hakkari Üniversitesi Meslek Yüksekokulunda İnşaat bölümünde Öğretim görevlisi olarak çalıştı. Şuan Tunceli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim dalında Araştırma görevlisi olarak görevine devam etmektedir. 2007 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik anabilim dalında başladığı yüksek lisans eğitimine devam etmektedir.