

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYADAN OYMA YERALTI DEPOLARININ
JEOTEKNİK İNCELEMESİ VE SAYISAL
MODELLEMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Can DURU**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**HAZİRAN 2019
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAYADAN OYMA YERALTI DEPOLARININ
JEOTEKNİK İNCELEMESİ VE SAYISAL
MODELLEMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Can DURU**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. İsmail DİNÇER**

**Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**HAZİRAN 2019
NEVŞEHİR**

KABUL VE ONAY SAYFASI

Doç. Dr. İsmail DİNÇER danışmanlığında **Can DURU** tarafından hazırlanan “**Kayadan Oyma Yeraltı Depolarının Jeoteknik İncelemesi Ve Sayısal Modellemesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

24/06/2019

JÜRİ

Başkan: Prof. Dr. Osman GÜNAYDIN

Üye: Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Dr Öğr. Üyesi Ahmet ORHAN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 17.07.2019 tarih ve 42-430 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

17.07.2019

Prof. Dr. Şahlan ÖZTÜRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİM SAYFASI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada yer alan bütün bilgilerin bilimsel ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu ve bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Tezi Hazırlayan

Can DURU



TEŞEKKÜRLER

Yüksek lisans tez çalışmamın en başından itibaren tez konusunun belirlenmesi ve yürütülmesi aşamasında bana yardımcı olan, bu süreç boyunca bilgi ve deneyimlerinden sürekli yararlandığım değerli danışman hocam Doç. Dr. İsmail DİNÇER' e sonsuz teşekkür ederim.

Tezimin yönlendirilmesi ve sayısal modelleme çalışmalarında bilgi, görüş ve önerileriyle desteğini sağlayan Doç. Dr. Mutluhan AKIN ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Orhan' a,

Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Öğretim üyeleri Doç. Dr Feyza DİNÇER'e, Dr. Öğr. Üyesi Ayşe ORHAN'a ve Araş. Gör. Mehmet Yasin CANBOLAT'a önerileri ve katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Bu çalışmada rapor ve verilere ulaşmamda büyük yardımcı gördüğüm Yer-Su & Tuğra Planlama-Mühendislik firmasına ve Umut ERGÜL'e teşekkür ederim.

Maddi-manevi yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, her an yanımda olan ve yabancı dil çevirileri ile yardımcı olan sevgili eşim Aslıhan DURU ve aileme sonsuz teşekkür ederim.

KAYADAN OYMA YERALTI DEPOLARININ JEOTEKNİK İNCELEMESİ VE SAYISAL MODELLEMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Can DURU

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2019

ÖZET

Kapadokya bölgesinde geniş yayılım sunan piroklastik kayalar, kolay kazılabilmesi ve izolasyon özelliklerinden dolayı kayadan oyma yapılar için uygun jeolojik koşullar sunmaktadır. İğnimbirit ve tüfler içerisinde oluşturulan kayadan oyma yapılar barınma, korunma, ibadet ve depolama amaçlı olarak eski çağlardan beri kullanılmaktadır. Günümüzde Nevşehir bölgesinde piroklastik kayalar içerisinde açılmış çok sayıda doğal soğuk hava depoları bulunmaktadır. Söz konusu depolar patates, limon, diğer sebzelerin ve meyvelerin saklanması için kullanılmaktadır. Bu çalışmada söz konusu soğuk hava depolarının daha optimum koşullarda gelişmesi için farklı bir çok model (farklı kazı ve geometrik koşullar) sayısal analiz yöntemleri ile jeoteknik açıdan incelenmiştir. Bu amaç için RS² 9.0 sonlu eleman yöntemine göre çalışan yazılım kullanılmıştır.

Yapılan değerlendirmelere göre topuk genişliğinin minimum 2,0 metre olabileceği, örtü kalınlığının 4,0 metreden az olmaması ve loca genişliğinin maksimum 7,0 metre olabileceği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Kayadan Oyma, YerAltı, Sayısal Modelleme, İğnimbirit Nevşehir, Kapadokya*

Tez Danışmanı: Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Sayfa Adeti: 80

GEOTECHNICAL ANALYSIS AND NUMERICAL MODELING OF ROCK HEWN UNDERGROUND STORAGE

(M. Sc. Thesis)

Can DURU

NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

June 2019

ABSTRACT

Pyroclastic rocks, which are widely spread in Cappadocia region, offer suitable geological conditions for rock carved structures due to their easy excavation and isolation properties. Ignimbrite and tuffs formed from rock carved structures have been used for shelter, protection, worship and storage since ancient times. Today, in the Nevşehir region, many natural cold storage depots opened into pyroclastic rocks. They are used for the storage of potatoes, lemons and other vegetables. In this study, different models (different excavation and geometric conditions) have been investigated in terms of geotechnical methods for the development of these cold storage tanks in more optimum conditions. For this purpose, the software which works according to the RS29.0 finite element method is used.

According to the evaluations, it was determined that the heel width could be minimum 2.0 meters, the thickness of the cover should not be less than 4.0 meters and the maximum width of the chamber would be 7.0 meters.

Keywords; Rock engraving, Underground, Numerical modeling, Ignimbrite Nevşehir, Cappadocia

Thesis Advisor: Doç. Dr. İsmail DİNÇER

Page Number: 80

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY SAYFASI	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI.....	ii
TEŞEKKÜRLER	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
RESİMLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
1. BÖLÜM.....	1
GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi	1
1.2. İnceleme Alanı	4
2. BÖLÜM.....	5
ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	5
3. BÖLÜM.....	7
MATERYAL VE METOD	7
3.1. Materyal	7
3.2. Metod	7
3.2.1. Arazi çalışmaları	7
3.2.2. Laboratuvar çalışmaları.....	8
3.2.3. Büro çalışmaları	9
4. BÖLÜM.....	10
BULGULAR VE TARTIŞMA	10
4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi	10

4.1.1. Tuzköy formasyonu (Tt)	11
4.1.2. Yüksekli formasyonu (Ty)	12
4.1.3. Ürgüp formasyonu	13
4.1.4. Alacaşar tüfü (Qa)	15
4.1.5. Alüvyon.....	16
4.2. Çalışma Alanının Tektonik Ve Depremselliği	16
4.3. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi	18
4.3.1. Jeoteknik sondajlar.....	18
4.3.2. Jeomekanik özellikleri	19
4.4. Kayadan Oyma Doğal Depoların Sayısal Modellenmesi.....	21
4.4.1. Mevcut durumun sayısal analizi.....	22
4.4.2. Potansiyel modellerin değerlendirilmesi.....	26
4.4.3. Doğal depolarda optimum koşulların değerlendirilmesi.....	52
5. BÖLÜM.....	55
SONUÇLAR	55
KAYNAKLAR	57
EKLER.....	60
ÖZGEÇMİŞ	80

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası.....	4
Şekil 4.1 İnceleme alanı ve civarının kesiti [11].....	10
Şekil 4.2 İnceleme alanı ve civarının genel jeoloji haritası [13].....	11
Şekil 4.3 Kapadokya Volkanik Provensi ve sınırladığı faylar [26].....	17
Şekil 4.4 1900-2019 yılları arası çalışma alanı civarında gözlenen depremler [30].....	17
Şekil.4.5 Çalışma alanı ve sondaj lokasyonları.....	18
Şekil 4.6 Çalışma alanındaki kayaçların farklı dayanım sınıflandırmalarındaki konumu	20
Şekil. 4.7 Oyma yer altı deposunun autocad planı görünümü	21
Şekil 4.8 Kesit-1 (muhtemel durum) genel görünümü.....	23
Şekil 4.9 Kesit-1’ deki toplam deplasman değişimi.....	23
Şekil 4.10 Kesit-2 (muhtemel durum) genel görünümü.....	25
Şekil 4.11 Kesit-2’ deki toplam deplasman değişimi.....	25
Şekil 4.12 Model-1 (0,5 m topuk genişliği) genel görünümü	27
Şekil 4.13 Model-1’ deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	27
Şekil 4.14 Model-2 (1,0 m topuk genişliği) genel görünümü	29
Şekil 4.15 Model-2’ deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	29
Şekil 4.16 Model-3 (2,0 m topuk genişliği) genel görünümü	30
Şekil 4.17 Model-3’ deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	30
Şekil 4.18 Model-4 (3,0 m topuk genişliği) genel görünümü	32

Şekil 4.19 Model-4' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	32
Şekil 4.20 Model-5 (4,0 m topuk genişliği) genel görünümü	33
Şekil 4.21 Model-5' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	33
Şekil 4.22 Model-6 (1,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü	35
Şekil 4.23 Model-6' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	35
Şekil 4.24 Model-7 (2,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü	36
Şekil 4.25 Model-7' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	36
Şekil 4.26 Model-8 (3,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü	38
Şekil 4.27 Model-8' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	38
Şekil 4.28 Model-9 (4,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü	39
Şekil 4.29 Model-9' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	39
Şekil 4.30 Model-10 (8,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü	41
Şekil 4.31 Model-10' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	41
Şekil 4.32 Model-11 (7,0 m loca genişliği) genel görünümü	42
Şekil 4.33 Model-11' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	42
Şekil 4.34 Model-12 (8,0 m loca genişliği) genel görünümü	44
Şekil 4.35 Model-12' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	44
Şekil 4.36 Model-13 (9,0 m loca genişliği) genel görünümü	45
Şekil 4.37 Model-13' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	45
Şekil 4.38 Model-14 (10,0 m loca genişliği) genel görünümü	47
Şekil 4.39 Model-14' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	47

Şekil 4.40 Model-15 (11,0 m loca genişliği) genel görünümü	48
Şekil 4.41 Model-15' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişim	48
Şekil 4.42 Model-16 (7,0 m loca-2,0 m topuk genişliği) genel görünümü	50
Şekil 4.43 Model-16' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	50
Şekil 4.44 Model-17 (8,0 m loca-1,0 m topuk genişliği) genel görünümü	51
Şekil 4.45 Model-17' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi	51
Şekil 4.46 Topuk genişliğinin gerilme-deformasyon davranışına etkisi.....	52
Şekil 4.47 Loca genişliğinin gerilme-deformasyon davranışına etkisi	53
Şekil 4.48 Örtü kalınlığının gerilme-deformasyon davranışına etkisi	54

RESİMLER LİSTESİ

Resim 1.1 Yeraltı deposu içerisinden genel bir görünüm	2
Resim 1.2 İnceleme alanına ait yeraltı deposunun havalandırma bacaları	3
Resim 1.3 İnceleme alanı yeraltı depolarının kazma işleminden bir görünüm.....	3
Resim 3.1 Yeraltı soğuk hava deposunun genel dış görünümü	7
Resim 3.2 Yer altı depolarından laboratuvar çalışmaları için alınan blok numunler.....	8
Resim 3.3 a) Analiz için kesilen blok numuneler, b) Analiz için hazırlanmış karot numuneleri, c) Doğal, doymuş ve kuru ağırlıklarının ölçümü, d) Etüvde kurutulma işlemi, e) Tek eksenli sıkıştırma testi, f) Sıkıştırma sonucu yenilmeye uğramış olan numuneler.....	9
Resim 4.1 Tuzköy formasyonunun genel görünümü [14]	12
Resim 4.2 Yüksekli formasyonuna ait genel görünüm [16]	13
Resim 4.3 İnceleme alanına ait kavak üyesine ait ignimbiritler	14
Resim 4.4 Alacaşar tüfü (Sulusaray Köyü'nün doğusu) [14]	15

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 4.1 Çalışma alanında gözlenen başlıca kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri	19
Tablo 4.2 Loca genişliği, topuk genişliği ve örtü kalınlığının etkisine göre incelenen modellerin listesi	26



1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi

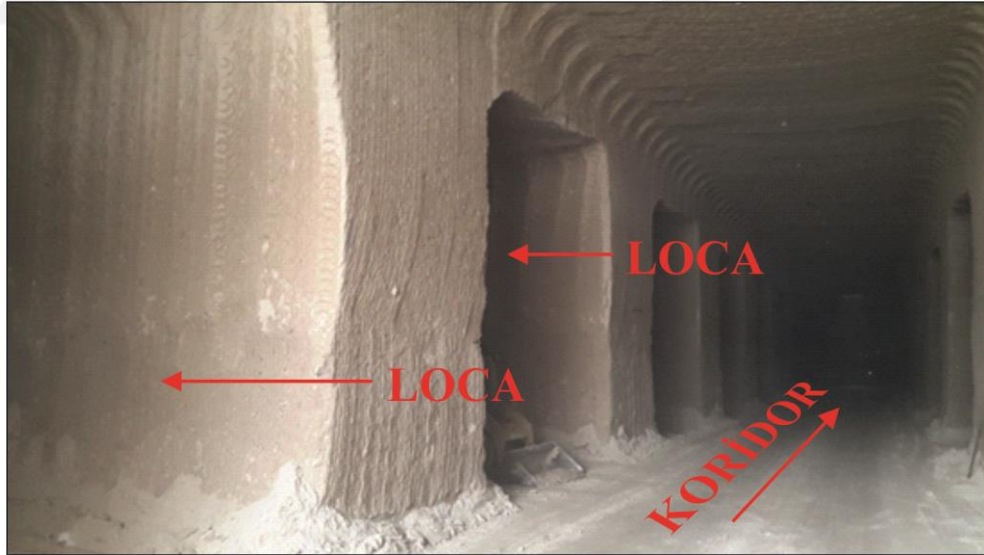
Üst Miyosen-Pliyosende şiddetli patlamalarla havadan gelerek bölgedeki Neojen havzasında çökelen ve yığılan piroklastiklerin oluşturduğu tüfler ve ignimbiritler geniş alanlarda yaygındır. Kalınlıkları yüzlerce metreye erişen bu birimler içinde eski insanlar tarafından kayadan oyma kiliseler, mağaralar, evler ve yeraltı şehirleri yapılmıştır [1]. Aynı zamanda tarımsal ürünlerin depolaması amacıyla kayadan oyma depolar da yapılmıştır. Günümüzde tarımsal ürünlerin saklanmasında büyük üstünlük sağlayan yer altı doğal soğuk hava depoları bölgede tuf ağırlıklı alanlarda bulunmaktadır.

Nevşehir yöresinin en önemli doğal mirasını bölgenin jeolojik yapısının kontrol ettiği ve eşsiz yüzey şekillerinin oluşma olanağı bulduğu Neojen-Kuvaterner yaşlı Ürgüp formasyonu içerisinde bulunan volkanik araziler oluşturmaktadır. Üst Miyosen-Kuvaterner sürecinde şiddetli volkanizma etkisinde kalan bölgede, kül akıntısı ignimbiritler olmak üzere volkanik malzemeler yayılım göstermektedir. Yumuşak karakterli tüflü yapı, 7. yy'dan itibaren yerleşmeye sahne olan yörede, insanlar tarafından oyularak saklanma, korunma ve barınma amaçlı yerleşme şekline dönüştürülmüştür. Kayadan oyma yeraltı depoları, piroklastik akıntı çökellerinin geniş alanlar oluşturduğu sahalarda yapılmaktadır [2,3].

Tuf, tüfit, volkanik külden oluşan ve derinliği 50-300 m olan bu katmanlar, yüksek nem içeren higroskopik yumuşak yapısı nedeniyle kolay işlenebilen ve hava ile temas ettiğinde sertleşen özelliği (oksidasyon kabuğu vb) ile binlerce yıl önceki yeraltı şehirlerinin yıkılmadan günümüze kadar gelmesi mümkün olmuştur.

Yeraltı depolarının diğer depolardan daha ekonomik işletim sistemine sahiptir. Üzerinde kışın oluşan donma sonucu kırıntılı yapı kazanan silikat minerallerinden oluşan örtü, yağmur ve kar sularını içine sızdırarak tuf materyalinin hava bulunan boşluklarını doldurmaktadır. Bu sular, depodaki nemin sürekli yüksek olmasını sağlamaktadır. Mağarayı dışarıdan ayıran kalın tuf duvarlar, hava boşluklarının etkisiyle iyi bir ısı

yalıtımı görevi de yapmaktadırlar. Yapısal olarak 2-3 m kalınlığındaki kolon ve duvar kalınlıklarının çok iyi yalıtımı ile yerüstü depolarından daha stabil depo içi sıcaklığına sahiptir. Günümüzde de başarıyla kullanılan ve gecenin düşük sıcaklığından yararlanılarak soğutulan bu depolarda sıcaklık, dış sıcaklık ortalamasının altında olmaktadır. Üstelik gece-gündüz sıcaklık farkı düşük olmaktadır. Sert kışlarda depo kapatılarak ürün dondan korunmaktadır. Depolardaki bağıl nem, toprağın neminden yararlanarak veya su serpilerek yüksek tutulmaktadır. Volkanik tüf, nemi dışarı atarken buharlaşma gerçekleşmekte, bu buharlaşmaya bağlı olarak depo içi sıcaklığı düşmektedir. Kışın düşük, yazın yüksek sıcaklıktan korunan bu depolarda uzun depolama dönemi içinde sıcaklık 4-10 °C, bağıl nem % 85-90 arasında olmaktadır. Depo sıcaklığı dış sıcaklığa bağlı olduğundan, yüksek konumlu iç bölgelerde başarılıdır. Bu depolar düşük gece sıcaklıklarından daha iyi yararlanacak şekilde havalandırma ve nemlendirme ekipmanları ile donatıldığında, bazı dayanıklı tür ve çeşitlerin depolanmasında daha başarılı olmaktadır. Buna karşın depolama süresi, su kaybı, hastalık ve bozukluklar ve hızlı olgunlaşma nedeniyle oldukça kısadır [4-7].



Resim 1.1 Yeraltı deposu içerisinden genel bir görünüm

Genel olarak havalandırma doğal konveksiyonla, mekanik ekipmanlar kullanmadan yapı içi ve yapı dışı havasının farklı yoğunluklara sahip olması nedeniyle hava kütlelerinin yer değiştirmesi ilkesi ile gerçekleşmekte ve sınırlı ölçüde kalmaktadır [4]. Yaz aylarında deponun kapıları ve havalandırmalar açılarak doğal yollardan soğutma yapılmaya çalışılmaktadır. Depolarda 5-6 m aralıklarla 25-30 cm çapında, 15-17 m

yükseklikte havalandırma bacaları yapılmaktadır [3]. İnceleme alanındaki depolarda bulunan havalandırma bacaları ise 3 m ile 12 m arasında örtü kalınlığına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir (Resim 1.2).



Resim 1.2 İnceleme alanına ait yeraltı deposunun havalandırma bacaları

Doğal soğutmalı yer altı depoları, akarsu vadilerinin yamaçları boyunca volkanik kökenli tüflerin iş makineleri ile oyularak galeriler açılmaktadır [3]. Volkanik kökenli birimler uzunlukları 10-200metre olacak şekilde oyulmakta olup depolar L veya U şeklinde olabilmektedir [6,7]. İnceleme alanındaki depolar galeri açma makinaları tarafından oyulmuş olup çıkan hafriyat ise kamyonlar aracılığı ile uzaklaştırılmıştır (Resim 1.3).

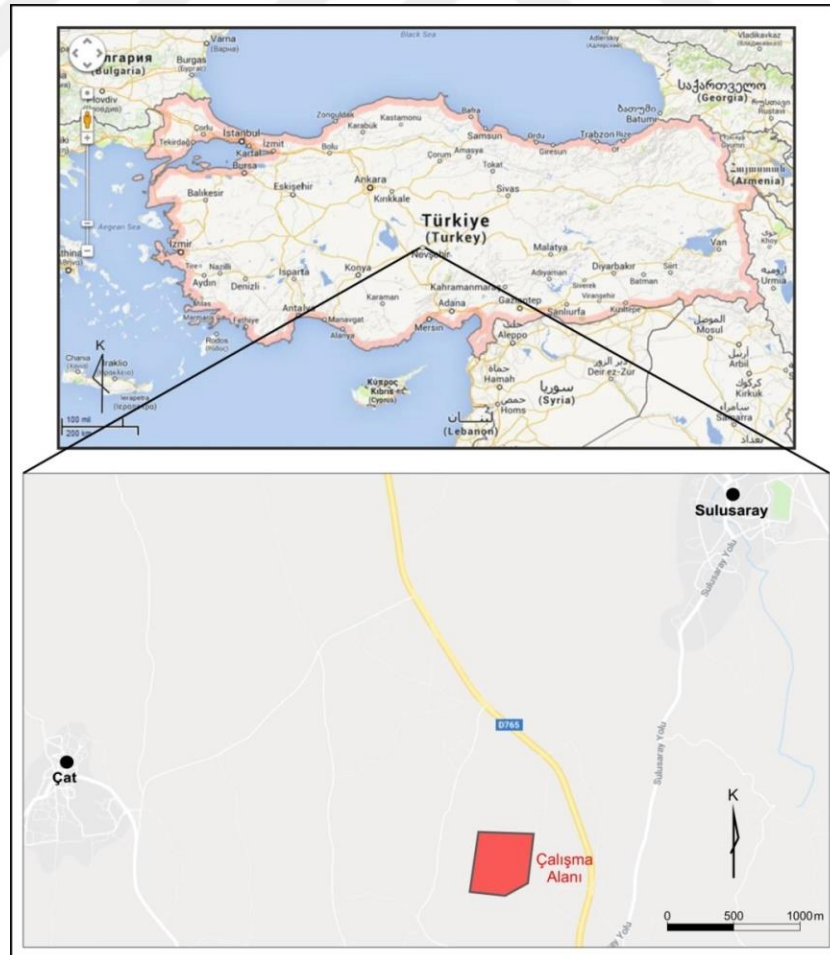


Resim 1.3 İnceleme alanı yeraltı depolarının kazma işleminden bir görünüm

Günümüzde teknolojik gelişmeler sayesinde makinelerle içerisinde kamyon, tır ve araçların dolaşılabilirdiği büyük ürün depolama alanları haline gelmiştir. Bu nedenle depoların yerden yükseklikleri 4,8-5,5 metre, genişlikleri 4-6 metre arasında değişmektedir [3]. İncelenen depoda yükseklik 7,5 metre, genişlik ise 6,5 metreyi bulmaktadır. Nevşehir Tarım İl Müdürlüğü kayıtlarına göre yeraltı depolarının sayıları 1100, kapasiteleri 800 – 900 bin ton olup Türkiye’de depolanan patatestin % 50’ si, limonun ise % 80’ i Nevşehir’de depolandığı belirtilmektedir.

1.2. İnceleme Alanı

İnceleme alanı Nevşehir ilinin yaklaşık 6 km. kuzey batısında olup alanın batısında Çat, kuzey doğusunda Sulusaray kasabaları yer almaktadır (Şekil 1.1). İnceleme alanı 1/25000 ölçekli topografik haritanın K33-d2 paftası içerisinde olup yaklaşık 40 920 m²’lik bir alanı kapsamaktadır. İnceleme alanına ulaşım Nevşehir-Gülşehir arasında taşımacılık yapan küçük otobüs firmaları ve şahsi araçlarla sağlanmaktadır.



Şekil 1.1 İnceleme alanının yer bulduru haritası

2. BÖLÜM

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Nevşehir bölgesindeki yeraltı soğuk hava depoları jeoteknik ve sayısal modelleme açısından değerlendirilmemiş olup genellikle jeolojisi ile depremselliği açısından incelenmiştir. Önceki çalışmalarda Boyraz ve Zeren, yeraltı soğuk hava depolarının özellikle Kavak ve Ortahisar kasabalarında yoğunluk gösterdiğini belirtmişlerdir [3]. Dirik, Boyraz ve Zeren, Nevşehir yöresinin en önemli jeolojik unsurunun Neojen-Kuvaterner yaşlı Ürgüp formasyonu içerisinde bulunan volkanik arazilerin olduğunu, Üst Miyosen-Kuvaterner sürecinde şiddetli volkanizma etkisinde kalan bölgede, kül akıntısı ignimbiritler olmak üzere volkanik malzemelerin yayılış gösterdiğini belirterek, depoların, piroklastik akıntı çökelleri olarak geniş alanlar kaplayan sahalarda olduğunu saptamışlardır [2,3].

Öztürk yapmış olduğu çalışmada, depoların bulunduğu Nevşehir yöresindeki volkanik tüflerin silis (SiO_2) başta olmak üzere (% 68-69), alümin (Al_2O_3) ve demir oksit (Fe_2O_3)'ten oluşmakta olduğunu, volkanik tüfün birim ağırlığının $1,26 \text{ gr/cm}^3$ ve su emme oranının % 30,4-44,75 arasında olup, Mohs ölçeğine göre sertliğinin 6,5-8,0 arasında olduğunu saptayarak, volkanik aktivitelerle gazların birden bire ayrılarak soğumasıyla oluşan bu kayaların gözeneklerinin birbiriyle bağlantılı olmadığını, porozitesinin % 45-52 arasında olduğunu bu nedenle bölgedeki volkanik tüfün termal iletkenliğinin çok düşük olduğunu belirtmiştir [6].

Karaçalı ve Öztürk, yeraltı depolarının yer üstü depolarından daha ekonomik olduğunu belirtmişlerdir. Kışın yağmur ve kar sularının gözenekleri doldurarak nemin sürekli yüksek kalmasını sağladığını, gece gündüz sıcaklık farkının düşük olduğunu belirterek, depolardaki bağıl nemin, toprağın neminden yararlanarak veya su serpilerek yüksek tutulduğunu ve volkanik tüfün, nemi dışarı atarken buharlaşma gerçekleştiğini, bu buharlaşmaya bağlı olarak depo içi sıcaklığı düştüğünü belirtmişlerdir. Kışın düşük, yazın yüksek sıcaklıktan korunan bu depolarda uzun depolama dönemi içinde sıcaklık $4-10 \text{ }^\circ\text{C}$, bağıl nem % 85-90 arasında olmaktadır. Depo sıcaklığı dış sıcaklığa bağlı olduğundan, yüksek konumlu iç bölgelerde başarılıdır [4-7].

Öztürk, Doğal soğutmalı yer altı depolarının, akarsu vadilerinin yamaçları boyunca volkanik kökenli tüflerin iş makineleri tarafından oyularak galeriler açılması ile yapılmakta olduğunu ve depoların L veya U şeklinde olabilmekte olduğunu belirtmiştir. [6]

Yılmaz, Avanos ilçesinde 1993 yılında kazımına başlanan kayadan oyma yeraltı kongre merkezi üzerine jeolojik haritalama yapmış ayrıca mühendislik parametreleri ve ilgili kaya üyelerinin özelliklerini tanımlamak amacıyla jeoteknik araştırmalar ile laboratuvar testleri de yapmıştır [7].

Ulusay ve ark., Avanos ilçesindeki kayadan oyma yeraltı kongre merkezi üzerine jeolojik-jeoteknik çalışmalar yapmış olup, Rocscience programı kullanarak 2 boyutlu modelleme çalışması yapmışlardır. Sonuç olarak kazı işlemi yapılmış olan tütün iyi kalitede kaya kütlesi olmasına rağmen, sağlam kaya gücü açısından çok zayıf kaya olduğu saptanmıştır [8].

3. BÖLÜM

MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Kayadan oyma yer altı depolarının jeoteknik incelemesi ve sayısal modellemesi kapsamında gerçekleştirilen bu çalışma alanı Nevşehir sınırları içerisinde yer almakta olup, çalışmanın konusunu il merkezinin kuzey batısında bulunan yer altı soğuk hava depolarından B deposuna ait 25.116 m^3 kapasiteli ve yanal yayılımı 40.920 m^2 olan soğuk hava deposu oluşturmaktadır (Resim 3.1).



Resim 3.1 Yeraltı soğuk hava deposunun genel dış görünümü

3.2. Metod

Planlanan bu proje, arazi çalışmaları, laboratuvar çalışmaları ve büro çalışmaları olmak üzere üç farklı aşamada tamamlanmıştır.

3.2.1. Arazi çalışmaları

Arazi çalışmaları kapsamında bölgedeki yeraltı depolarından laboratuvar çalışmaları için örnek alınmış (Resim 3.2), fotoğraf çekme, koordinat alma ve şerit metre ile gerekli ölçümlerin alınması işlemleri gerçekleştirilmiştir. Açılmış olan depoların planlarının oluşturulması çalışmaları yapılmıştır.



Resim 3.2 Yer altı depolarından laboratuvar çalışmaları için alınan blok numunler

3.2.2. Laboratuvar alışmaları

Araştırmaların önemli bir kısmını oluşturan laboratuvar çalışmaları için depolardan alınmış olan örneklerin fiziksel, indeks ve mekanik özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Zemin-Kaya Mekaniiği laboratuvarındaki cihazlar kullanılmıştır. İlk olarak depodan alınmış olan blok numunelerden testler için uygun karotlar hazırlanmış olup birim hacim ağırlık, görünür porozite, tek eksenli sıkışma dayanımı, gibi kaya kütlesinin mühendislik parametreleri belirlenmiştir (Resim 3.3).



Resim 3.3 a) Analiz için kesilen blok numuneler, b) Analiz için hazırlanmış karot numuneleri, c) Doğal, doymun ve kuru ağırlıklarının ölçümü, d) Etüvde kurutulma işlemi, e) Tek eksenli sıkışma testi, f) Sıkışma sonucu yenilmeye uğramış olan numuneler

3.2.3. Büro çalışmaları

Çalışmanın en önemli kısmını oluşturan büro çalışmalarında saha ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen verilen değerlendirilmesi bu aşamada gerçekleştirilmiştir.

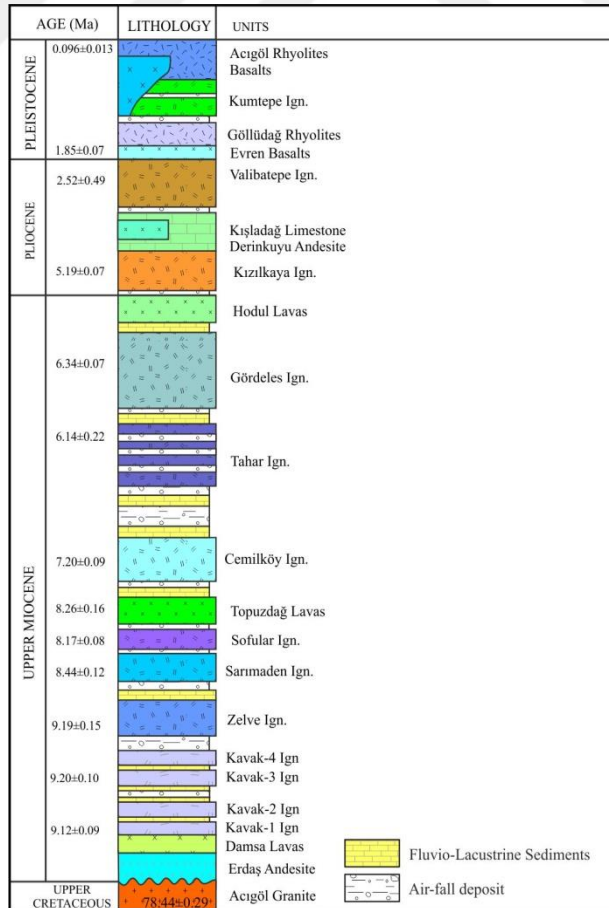
Arazi çalışmaları sonucu belirlenen yeraltı depolarının planları ve kaya kütle özellikleri ve farklı koşullar göz önünde bulundurularak sayısal modellemeler yapılmıştır. Bu amaç için sonlu elemanlar yöntemine göre çalışan RS² 9.0 yazılımı kullanılmıştır [9]. Söz konusu yazılım kazı dizaynı, şev stabilitesi, yeraltı suyu, oturma ve dinamik problemleri içeren çok geniş mühendislik projelerinde kullanılmaktadır. Söz konusu yazılım ile açılmış veya açılmakta olan yeraltı depoları kazı yöntemi ve diğer alternatifler açısından ele alınmıştır. Böylece şu ana kadar ciddi bir mühendislik tasarımı yapılmadan tamamen geleneksel yöntem ile açılan depolar için yeni kazı ve geometri alternatifleri değerlendirilmiştir.

4. BÖLÜM

BULGULAR VE TARTIŞMA

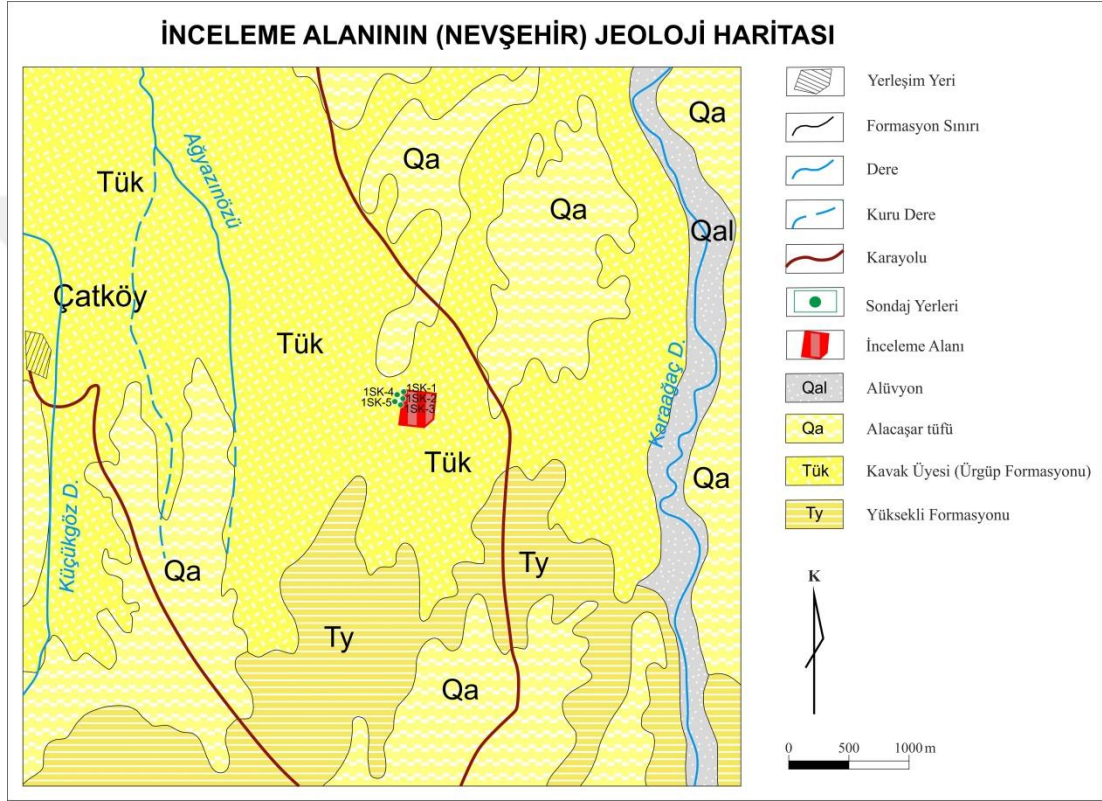
4.1. Çalışma Alanının Jeolojisi

Kapadokya bölgesi genel olarak Pre-Neojen yaşlı temel kayalarından (Kretase yaşlı granit ve gabro), Neojen yaşlı sedimanter kayalardan (kırmızı çamurtaşı, kumtaşı ve konglomera), Neojen yaşlı volkano-sedimanter kayalardan (tüf ve ignimbirit) ve Kuvaterner dönemine ait volkanik kayalardan (ignimbirit, andezit ve basalt) oluşmaktadır. Miyosen-Holosen yaşlı ignimbiritlerin stratigrafisi, Orta Anadolu Volkanik Provansinde elde edilen güncel jeokronolojik yaş verilerine dayanılarak yeniden düzenlenmiştir [10]. Le Penec ve diğ. tarafından tanımlanan 10 ignimbirit üyesi (Stratigrafik olarak yaşlıdan gence doğru) Kavak, Zelve, Sarımadentepe, Sofular, Cemilköy, Tahar, Gördeles, Kızılkaya, Valibabatepe ve Kumtepe ignimbiriti teriminolojisini baz almışlardır [11] (Şekil 4.1).



Şekil 4.1 İnceleme alanı ve civarının kesiti [10]

İnceleme alanını tamamen Geç Miyosen-Pliyosen yaşlı Ürgüp formasyonunun Kavak üyesi oluşturmaktadır. Genel jeoloji haritasında görüleceği gibi incelenen depo ve civarında tabandan tavana doğru Yüksekli formasyonu, Ürgüp formasyonuna ait kavak üyesi, Alacaşar tüfü gözlemlenmektedir (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 İnceleme alanı ve civarının genel jeoloji haritası [12]

Bu sebepten dolayı bu bölümde gözlemlenmiş olan jeolojik birimler; Yüksekli formasyonu, Kavak üyesi ile yanal-düşey geçişli olan Tuzköy formasyonu ve Alacaşar tüfü hakkında bilgi verilecektir

4.1.1. Tuzköy formasyonu (Tt)

Atabey ve diğ. Tarafından adlandırılan birim, sarı renkli, ince tabakalı ve laminalı, bol biyoturbasyonlu siltaşı, laminalı silisli kiltası, ince tabakalı ve laminalı kumtaşı ve tüfit ar dalanmasından oluşmuştur (Resim 4.1). Kiltalarında jips kristalleri görülmekte olup ortalama kalınlığı 100 metredir. Tuzköy formasyonu tabanındaki oligosen yaşlı Kızılöz

formasyonu ile uyumsuzdur. Üstten ise birim Ürgüp formasyonunun Kavak üyesi ile yanal düşey geçişli olup ortalama kalınlığı 100 metreyi bulabilmektedir [13].



Resim 4.1 Tuzköy formasyonunun genel görünümü [14]

4.1.2. Yüksekli formasyonu (Ty)

Aydın tarafından adlandırılan [15], Ortalama kalınlığı 200 metreyi bulan, beyazımsı gri renkli, ince-orta taneli, teknesel çapraz tabakalı kumtaşı, kumlu-çakıllı tüfit, miltaşı ve kıltaşı ile kaba kumtaşı ve çakıltaşından oluşmaktadır (Resim 4.2). Tabanda Tuzköy formasyonu ile uyumlu olan bu birim akarsu ve göl ortamı ürünüdür. Kum ve çakıl taneleri kuvarsit, çört, amfibolit, bazalt, gabro, granit ve kireçtaşı türündedir [12].



Resim 4.2 Yüksekli formasyonunna ait genel görünüm [16]

4.1.3. Ürgüp formasyonu

Bölgede geniş yayılım gösteren, Pasquare tarafından adlandırılan, Neojen volkanizma faaliyetleri sonucunda oluşan ve yer yer kalınlığı 1.000 metreye bulan Ürgüp formasyonu tuf, tüfit, ignimbirit ve bazalt ardalanmasından oluşmuştur [17]. İnceleme alanında Ürgüp formasyonuna Kavak üyesi gözlenmektedir ve yalnızca onun hakkında bilgi verilmiştir.

4.1.3.1. Kavak üyesi (Tük)

Sulusaray Köyü'nün batısında geniş yayımlı olarak yüzeylemekte olan birim. Pasquare tarafından Kavak üyesi olarak adlandırılmıştır [17]. Dönmez ve diğ. tarafından Kavak ignimbiriti olarak adlandırılan Kavak üyesi tabanında bulunan Tuzköy formasyonu ile yanal düşey geçişlidir. Üstten ise birim Çataltepe bazaltı tarafından kesilmekte olup kalınlığı 100 metreyi bulabilmektedir [18].

Birim, açık kahverengi, beyazımsı renkte homojen ignimbirit ve pomza içermektedir (Resim 4.3). Peribacaları şeklinde erozyon şekilleri sunan, beyaz, sarımsı beyaz, sarı, açık gri renklere andezitik bileşenli, camsı tüfitli, köşeli parçacıklı pomza külü

düzeylei izlenmektedir. Kavak üyesi birkaç faz halinde gözlenen ilk ignimbiritik aktivite ürünleridir [17].

Kavak üyesi, gerek stratigrafik konumu, gerekse bazı araştırmacılar tarafından yapılan radyometrik yaş tayinlerine dayanılarak Geç Miyosen yaşta aktivite gösteren volkanik etkinlik sırasında olduğu bilinmektedir. Bu birime ait tuf akmalarından, biyotitlerde K/Ar yöntemiyle Innocenti ve diğ. tarafından 8.6 ± 1.7 milyon yıl [19], Temel tarafından 11.2 ± 2.5 milyon yıl [20], Schumacher ve diğ. tarafından 8.96 ± 0.2 milyon yıl ortalama yaşları saptanmıştır [21].



Resim 4.3 İnceleme alanına ait kavak üyesine ait ignimbiritler

4.1.4. Alacaşar tufü (Qa)

Birim Sulusaray Köyü'nün doğusunda yayılım göstermekte olup Pasquare tarafından adlandırılmıştır [17].

Alaşar tufü tabanda Çataltepe bazaltı ile uyumsuz olup üstten ise birim Alüvyon ile uyumsuzlukla örtülmektedir ve kalınlığı 15 m. civarındadır. Birim, lav parçaları ve obsidiyence zengin, pembe renkli külle karışmış, camsı ve pomzalı tüflerden oluşmaktadır (Resim 4.4). Bazen breşli tüfle alterasyonlu, beyazımsı ince kum ara düzeyleri görülür. Tabanda Kavak tufü ile İncesu ignimbiritleri üstünde uyumsuz olarak yer alır [17].

Alaşar tufü, gerek stratigrafik konumu, gerekse bazı araştırmacılar tarafından yapılan radyometrik yaş tayinlerine dayanılarak Kuvaterner yaşta aktivite gösteren volkanik etkinlik sırasında oluştuğu bilinmektedir [22]. Duritt ve diğ. göre pomza ocaklarındaki kesitlerin kalınlığı 80 metre civarında olup, dört tip piroklastik ardalanmanın varlığını gösterir. Piroklastik çökelleri, ignimbirit (kaynaklanmamış), laminalı kül yatakları ve pumis döküntüleridir [22].



Resim 4.4 Alacaşar tufü (Sulusaray Köyü'nün doğusu) [14]

4.1.5. Alüvyon

Birim Sulusaray Köyü içerisinde ve karaağaç deresi etrafınca görülen tutturulmamış kum, kil ve çakıllardan oluşur.

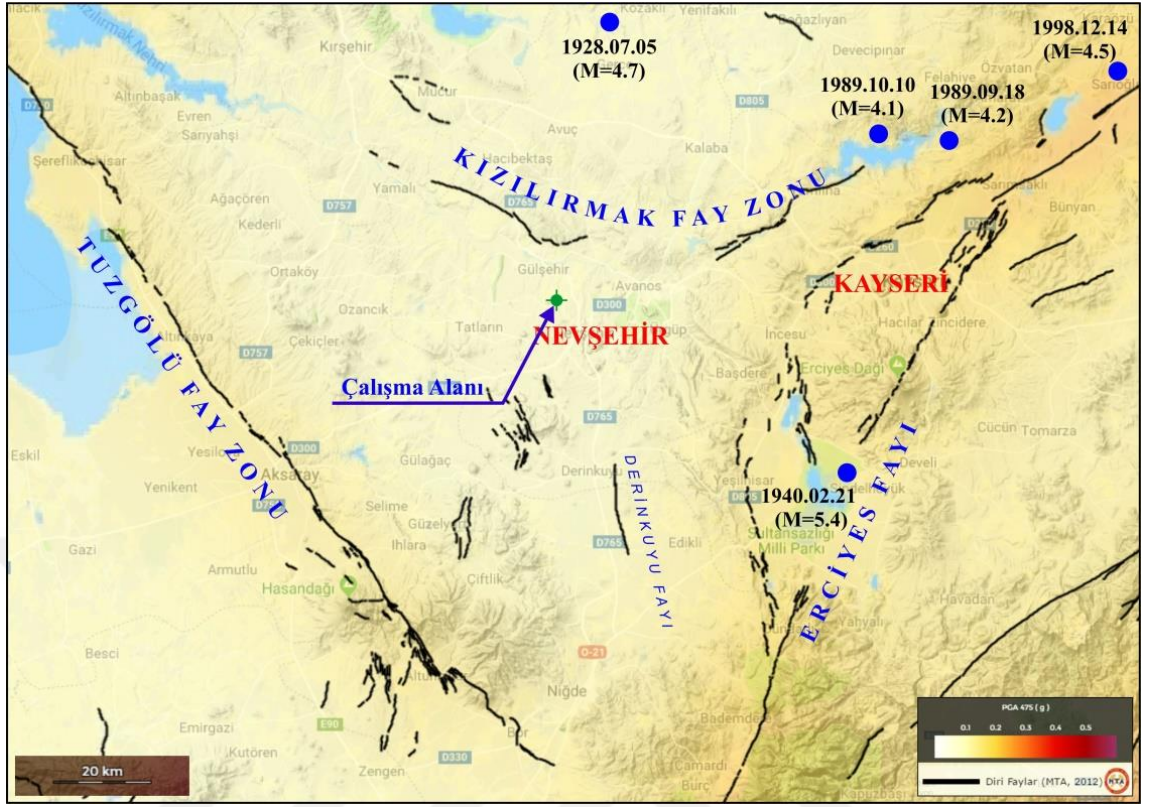
Alüvyon malzeme alanında en genç oluşuklar olup bütün birimleri uyumsuz olarak örtmektedir ve yaşı Kuvaterner'dir.

4.2. Çalışma Alanının Tektonik Ve Depremselliği

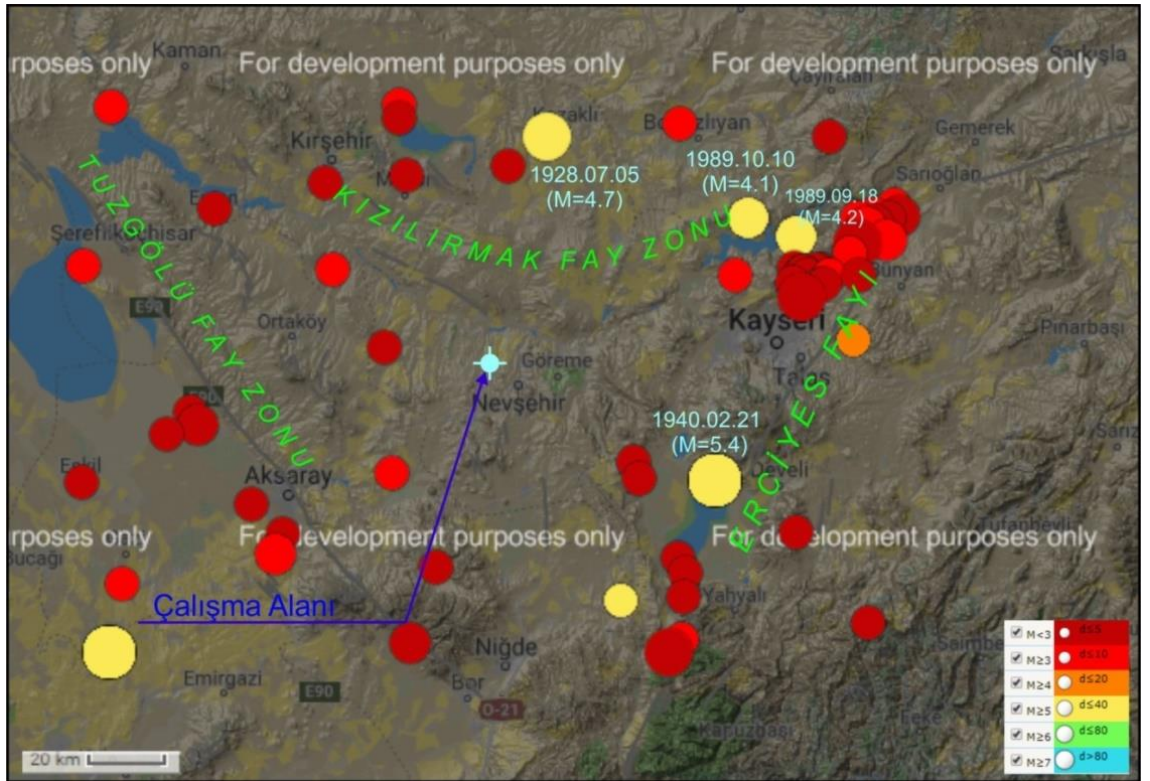
Kapadokya volkanik provenisinde (KVP) hakim olan KB-GD doğrultulu TFZ (Tuz gölü Fay Zonu), KD-GB doğrultulu EFZ (Ecemiş Fay Zonu), KVP'nin kuzey sınırını tanımlayan ve Merkez Kızılırmak Fay Zonu (MKFZ) ile paralel faylardan oluşan 3 ana fay sistemi vardır TFZ, sağ yönlü doğrultu atımlı fay ile eğim atımlı bileşenlidir. Bu bölgede ki faylar hala aktiftir ve Anadolu bloğunun son zamanlardaki defarmasyonunda rol oynamaktadır [23].

Toprak ve diğ, EFZ' deki bazı fayların hala aktif olmasına rağmen çoğunun KVP'nin sonraki patlamalarının altında gömülü kaldığını belirtmişlerdir. Normal bir fay olan KFZ, aktif olduğunu belirten lav akıntısını kesmektedir. Ek olarak, bölgenin orta kısmından geçen bazı kısa faylar vardır. Bunlardan birisi K-G doğrultulu ve antik derin kuyu yer altı şehri içinde iyi gözlenen Derinkuyu fayı ve diğeri ise KD-GB doğrultulu Niğde Fay Zonu (NFZ) dur. Bölgede ayrıca çok sayıda doğrultu atımlı fayda vardır ve bunlardan biri Nevşehir' de gözlenmektedir. Bu faylar ayrıca yer altı şehirlerinin ve ya yer altı yerleşimlerinin stabilitesini etkilemektedir [24] (Şekil 4.3).

Bölge aktif faylarla sınırlandırılmış olmasına rağmen, Türkiye'nin diğere bölgelerine göre sismik olarak daha az aktiftir [25-27]. 14 Aralık 1998 tarihindeki Sarıoğlan (Tuzla gölü) depremi dışında Derinkuyu yer altı şehrinin yakınında odak düzlemli bir deprem yoktur (Şekil 4.4). Çalışma alanında oluşan yatay yer ivmesi 0,087 g olup, çok düşük bir değer olduğu için sayısal analizlerde dinamik koşullar dikkate alınmamıştır.



Şekil 4.3 Kapadokya Volkanik Provensi ve sınırladığı faylar [28]



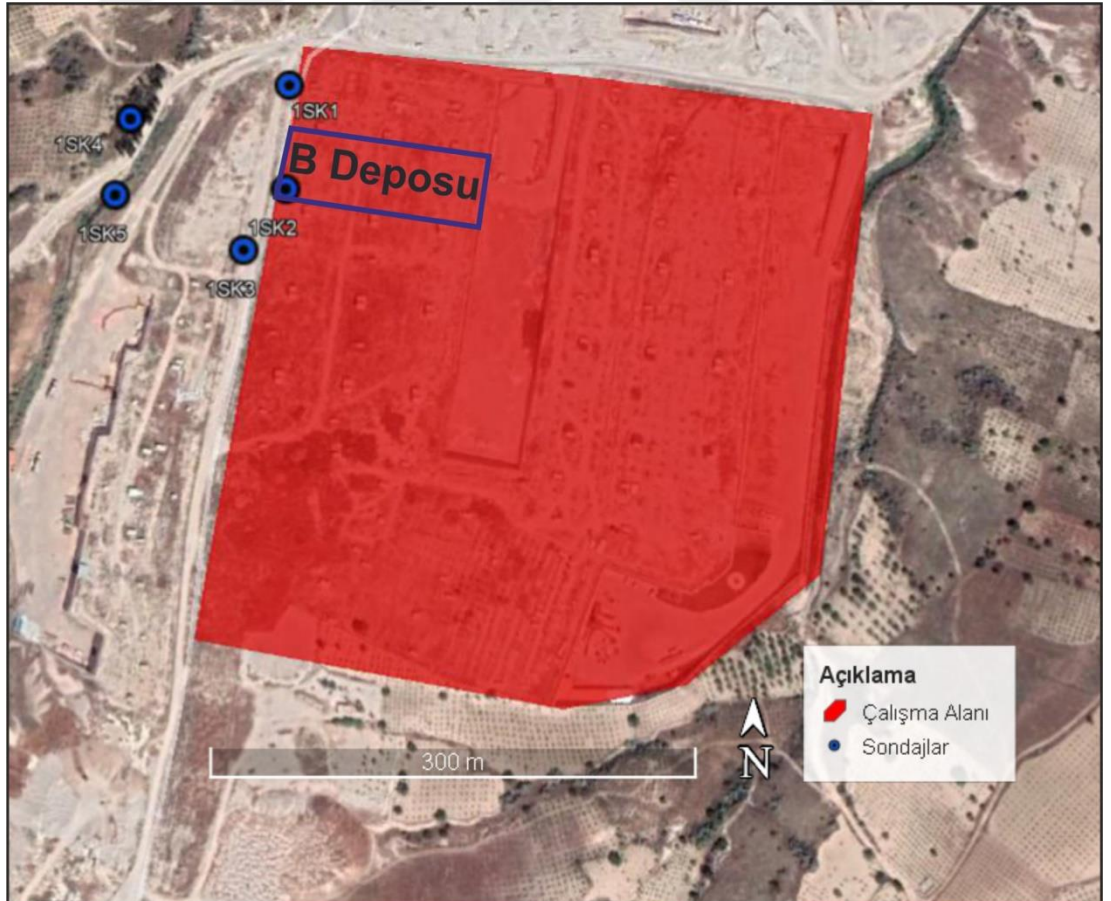
Şekil 4.4 1900-2019 yılları arası çalışma alanı civarında gözlenen depremler [29]

4.3. Çalışma Alanının Mühendislik Jeolojisi

4.3.1. Jeoteknik sondajlar

Çalışma alanı genellikle bölgede hakim olan ignimbiritten oluşmakta olup, açık krem renkli olarak izlenmektedir. Alanı oluşturan birimlerin kırık, çatlak, eklem, fay, tabaka - litoloji vb. süreksizliklerini ayrışma ve bozuşma derecelerini tespit etmek, zeminin üzerinde yer alan bitkisel toprak kalınlığını, varsa yeraltısuyu seviyesini belirlemek, jeoteknik parametreleri saptamak, örselenmiş – örselenmemiş - karot örnek almak ve gerekli deneyleri yapmak amacı ile gerekli sondaj çalışmaları Yer-su & Tuğra Planlama-Mühendislik firması tarafından yapılmıştır [30].

Alana ait gerekli parametre ve verileri sağlamak amacıyla, 20 Adet, toplam 80,00 metre zemin sondaj vardır [30]. Fakat inceleme yapılan depoda ve yakınında 5 adet sondaj vardır (Şekil 4.5).



Şekil.4.5 Çalışma alanı ve sondaj lokasyonları

Yer-Su & Tuğra Planlama-Mühendislik tarafından yapılan sondaj çalışmalara göre;

1SK-1, 1SK-2, 1SK-3, 1SK-4 ve 1SK-5 sondajları 4,0 metre derinliklerinde olup, sondaj noktalarında; 0 – 1,00 m derinlikte volkanik kayaç kırıntıları ile çakıl, kum, mil ve topraktan oluşan, açık kahve renkli, organik madde içermeyen, volkano - volkanosedimanter kökenli, nem içeriği nispeten yüksek, geçirimli, orta – ince kum, pekleşmiş kum, kum – çakıl – blok içeren Alüvyon birimi, 1,00 – 4,00 m arası ignimbirit karakterli, açık kahve, beyazımsı renkli homojen ignimbirit, ankelit ve pomza içeren Kavak Üyesi birimi kesilmiştir. Kuyuların açıldığı noktalar yaklaşık 5° ve kuzeybatı yönlü (eğim aşağı) eğimlidir. Bu sondaj noktalarında yer altı suyu ve aşırı nemliliğe rastlanmamıştır [30].

4.3.2. Jeomekanik özellikleri

Yapılan deneyler için incelenen depodan numuneler alınmış olup, daha sonra bu numunelerden laboratuvarında karot numune hazırlanmıştır. İncelenen kayaçların jeomekanik özelliklerinin belirlenmesi için, örneklere ait; kuru ve doymuş birim hacim ağırlık, ağırlıkça ve hacimce su emme, porozite, tek eksenli basınç deneyleri yapılmıştır (Tablo 4.1).

Tablo 4.1 Çalışma alanında gözlenen başlıca kaya birimlerinin jeomekanik özellikleri

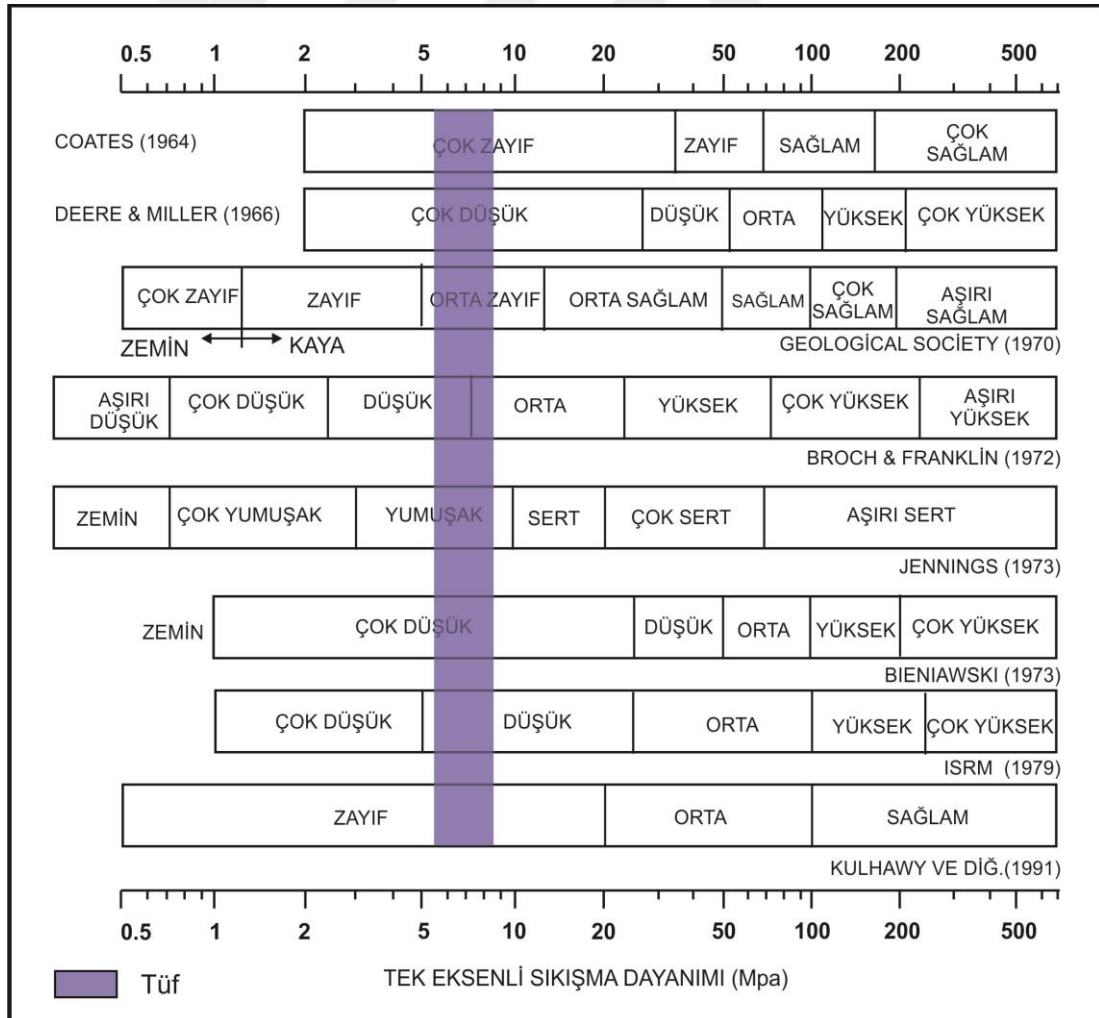
PARAMETRE	MİN	MAX	ORT	STD	D. SAYISI
Doğal B.H. Ağırlık (kN/m ³)	14,58	15,64	15,07	0,04	8
Kuru B.H. Ağırlık (kN/m ³)	14,33	15,39	14,82	0,04	8
Doymuş B.H. Ağırlık (kN/m ³)	16,79	17,83	17,33	-0,02	8
Porozite (%)	23,03	27,64	25,53	-0,19	8
Boşluk Oranı (%)	29,92	38,19	34,34	-0,28	8
Hacimce Su Emme (%)	23,02	27,62	25,53	-0,21	8
Ağırlıkça Su Emme (%)	15,53	18,91	16,91	0,31	8
Tek Eksenli Sıkışma D. – UCS (MPa)	4,23	7,99	6,56	-0,45	8

Bu verilere göre doğal birim hacim ağırlıkları için 14,58-15,64 kN/m³ aralığında olup ortalama doymuş birim hacim ağırlıkları ise 16,79-15,39 kN/m³ aralığında

değişmektedir. NBG sınıflamasına göre çok düşük birim hacim ağırlıklı kaya grubunda yer almıştır [31].

Ortalama boşluk oranı değeri % 34,34 olup, ortalama görünür porozitesi ise %25,53 olarak belirlenmiştir. Elde edilen porozite değerlerine ve NBG sınıflamasına göre çok yüksek poroziteli kayaç olarak tanımlanmıştır [31]. Ortalama ağırlıkça su emme değerleri % 16,91, hacimce su emme değerleri ise % 25,53 olarak hesaplanmıştır.

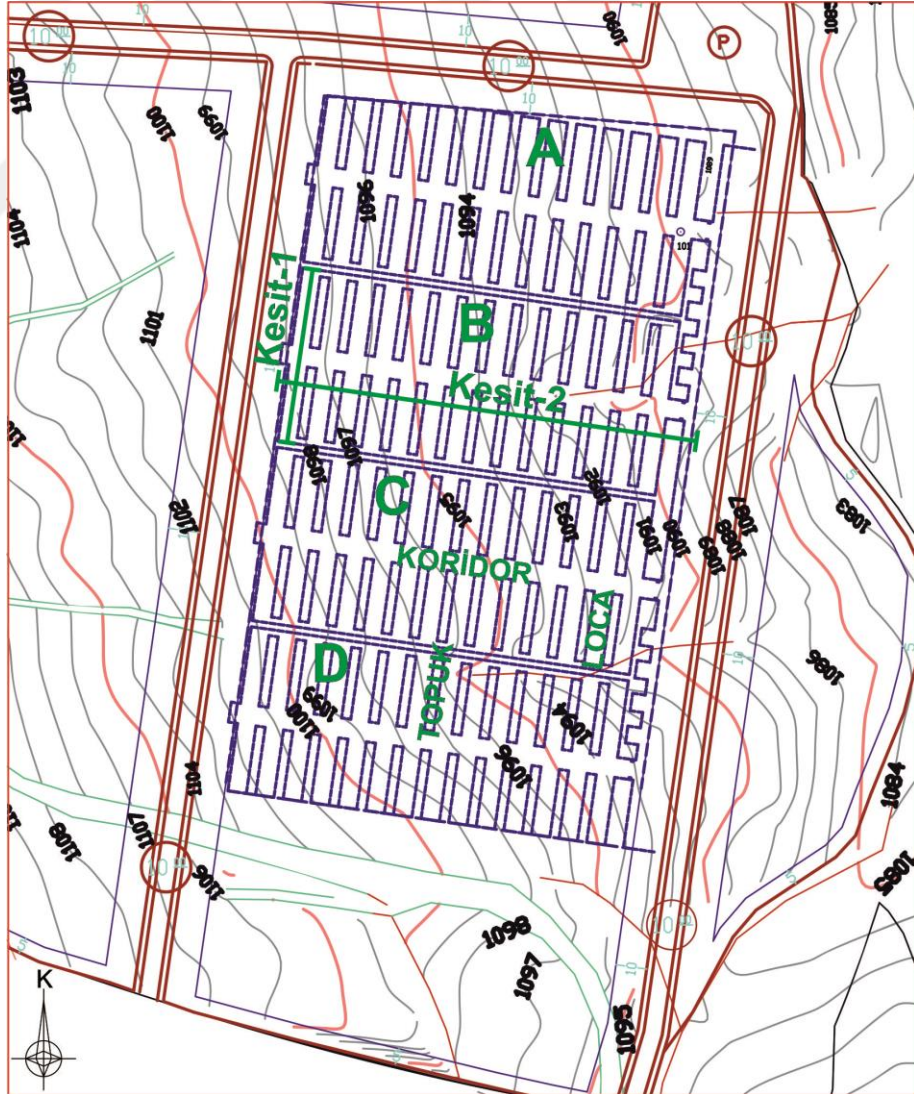
Kayaçların mukavemet özelliklerini açıklamak üzere tek eksenli sıkışma dayanımı deneyleri yapılmıştır. Yapılan tek eksenli deney sonuçlarına göre elde edilen değerler 4,23-7,99 MPa arasında değişmekte olup Deere ve Miller sınıflamasına göre çok düşük dayanımlı kaya olarak tanımlanmışlardır [32] (Şekil 4.6).



Şekil 4.6 Çalışma alanındaki kayaçların farklı dayanım sınıflandırmalarındaki konumu

4.4. Kayadan Oyma Doğal Depoların Sayısal Modellenmesi

Bu bölümde öncelikle çalışmaya konu olan doğal deponun mevcut koşullarda ve olası diğer koşullardaki gerilme–deformasyon davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için sonlu elemanlara yöntemine göre analiz eden RS² 9.0 kullanılmıştır [9]. Çalışmaya konu olan doğal depoda 4 koridor bulunmaktadır. Bu koridorlar 126 metre uzunluğunda, 6,5 metre genişliğinde, 7,5 metre yüksekliğinde olup her bir koridorun sağında ve solunda 14 adet yan yana 3'er metre destek aralıkları ile oyulmuş 23 metre uzunluğunda, 6 metre genişliğinde, 6,5 metre yüksekliğinde localar bulunmaktadır. Depo üzerinde bulunan örtü kalınlığı ise 3 metre ile 12 metre arasında değişmektedir (Şekil 4.7).



Şekil. 4.7 Oyma yer altı deponun autocad planı görünümü

Sayısal modellemelerde kullanılan girdi parametrelerinin bir bölümü laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilmiş olup, çekme dayanımı, young modülü, poisson oranı için Ulusay ve ark.'dan faydalanılmıştır. Sayısal modellemeler için örtü kalınlığı, loca genişliği, ayak genişliği kriterleri değiştirilerek depo üzerinde bulunan çekme kuvveti ve oluşacak olan toplam deplasmanlar hesaplanmıştır.

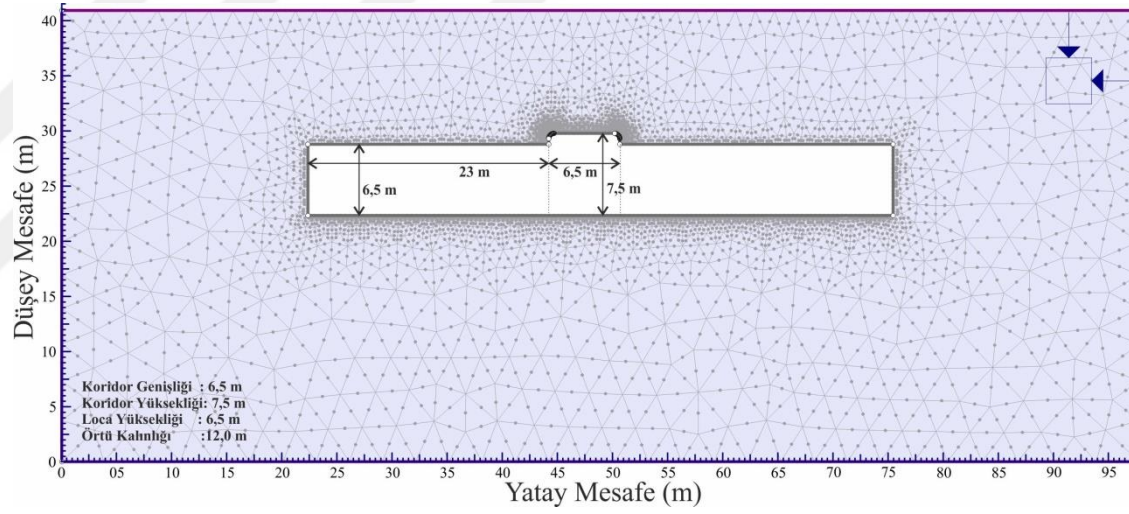
Bu hesaplamalar için; Birim hacim ağırlık 15 kN/m^3 , Young modülü $384,217 \text{ MPa}$, Poisson oranı $0,3$, Çekme dayanımı $0,22 \text{ MPa}$, İçsel sürtünme açısı 35 derece ve Kohezyon $10,5 \text{ MPa}$ olarak kabul edilmiştir [8].

4.4.1. Mevcut durumun sayısal analizi

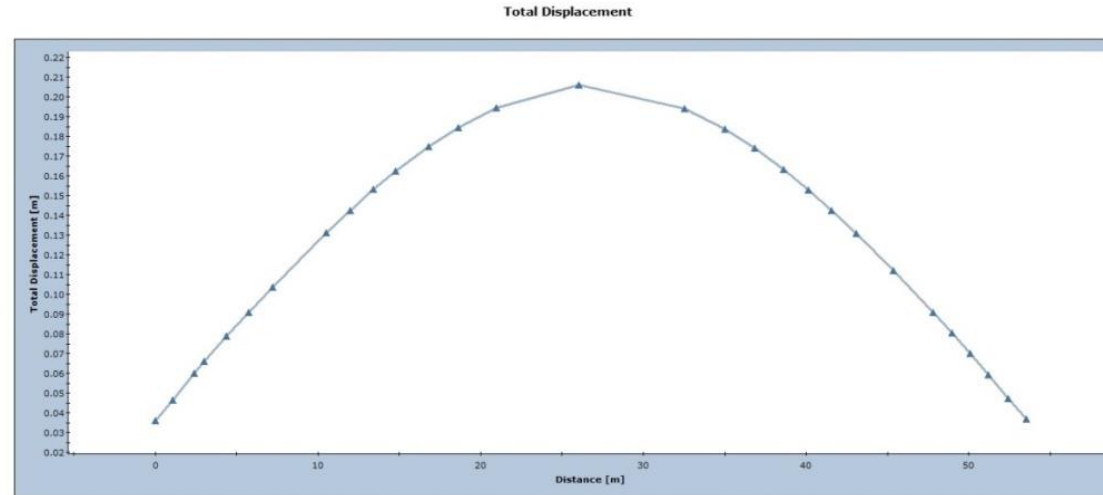
Mevcut durum iki farklı kesit göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Kesit-1, GB-KD doğrultulu olan bu modelde kesit hattı sağdan ve soldan 23'er metre locaları ve locaları bağlayan $6,5 \text{ m}$ genişliğinde koridoru kapsamaktadır. Bununla birlikte loca yüksekliği $6,5 \text{ m}$, koridor yüksekliği $7,5 \text{ m}$ ve örtü kalınlığı ise 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.8).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme loca köşelerinde ve koridor üzerinde bulunan örtü üzerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri $6,52 \text{ MPa}$ olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 207 mm ($20,7 \text{ cm}$) civarında koridor üzerinde bulunan örtü tabakasında gerçekleşmiştir (EK-1). Ek-1'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan koridor tavanında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.9).

Beklenenin çok üzerinde gerçekleşen gerilme ve deformasyon miktarı açıklık genişliğinin 50 metreye ulaşması ve localar arasındaki topukların RS² 9.0 programında kesite dahil edilemiyor olmasından kaynaklanmaktadır. Bu sebeple kesit-1'in gerçeği yansıtmadığını ortaya çıkarmıştır.



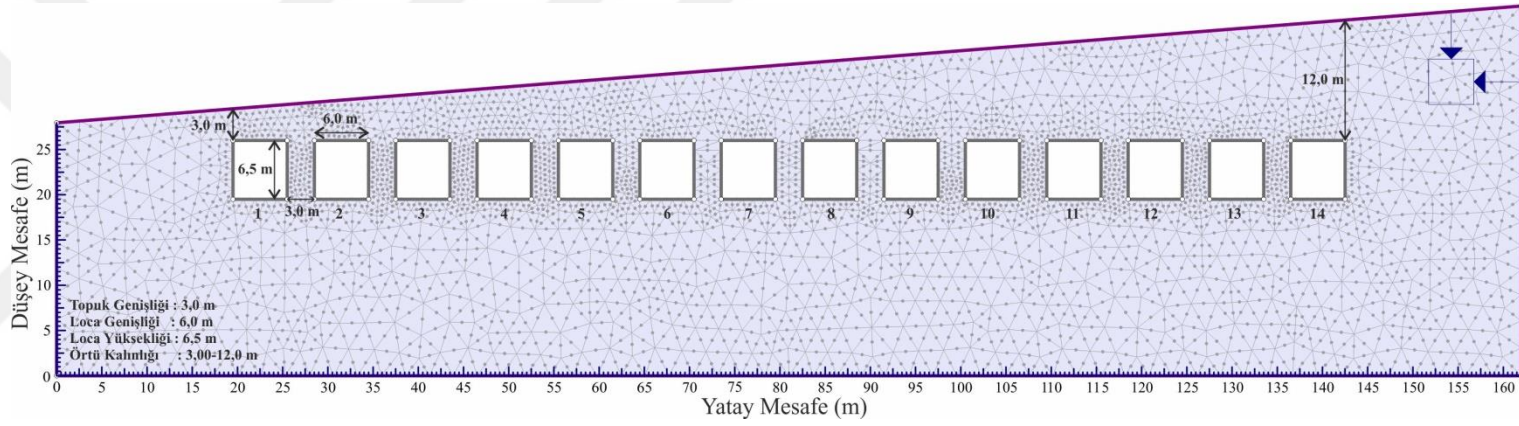
Şekil 4.8 Kesit-1 (muhtemel durum) genel görünümü



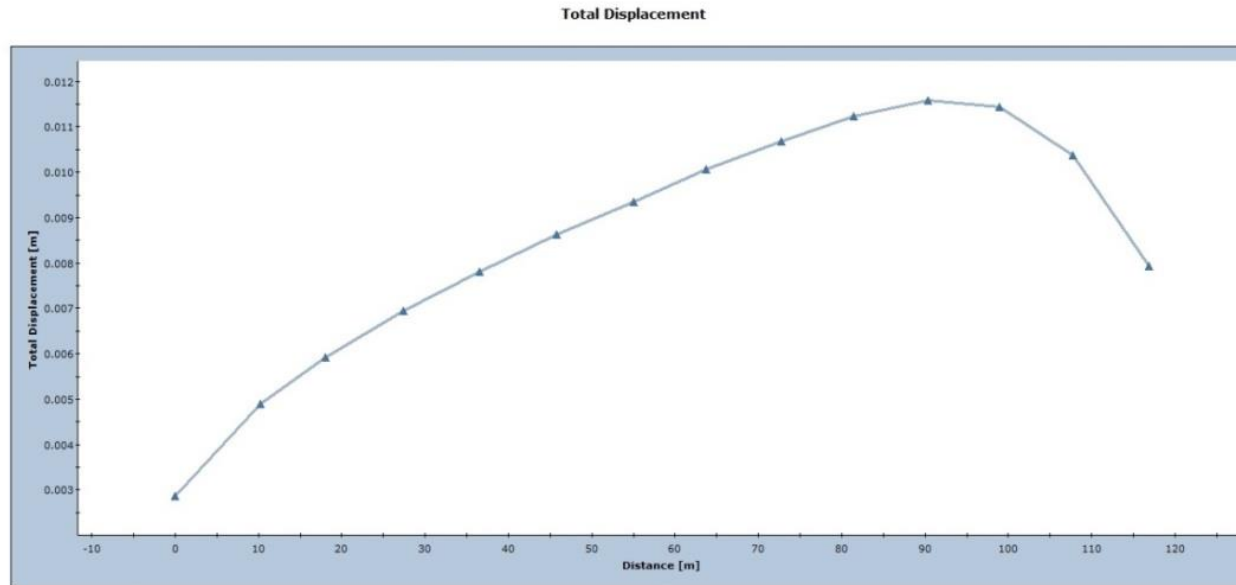
Şekil 4.9 Kesit-1' deki toplam deplasman değişimi

Kesit-2 ise GD-KB doğrultulu olup yan yana 14 adet loca bulunmaktadır. Loca yüksekliği 6,5 m, loca genişliği 6 m, topuk genişliği 3 m ve örtü kalınlığı ise 3 m' den 12 m'e çıkarak mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (şekil 4.10).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri üzerindeki örtü kalınlığı artmakta olan 8. ve sonrasındaki topukların alt ve üst köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,89 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 12 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-2). EK-2'de açık bir şekilde görölmektedir ki, örtü kalınlığının arttığı bölümünde yer alan loca tavanlarında özellikle 10, 11 ve 12. locaların üzerinde meydana gelen deformasyon artmaktadır. Fakat örtü kalınlığının daha da fazla olduğu 13 ve 14. loca da deformasyon azalmaktadır. Buna sebep olan etken ise yanal devamlılığa bağlı olmasıdır (şekil 4.11).



Şekil 4.10 Kesit-2 (muhtemel durum) genel görünümü



Şekil 4.11 Kesit-2' deki toplam deplasman değişimi

4.4.2. Potansiyel modellerin değerlendirilmesi

İncelenen doğal depo temel alınarak, toplam 17 model üzerinde örtü kalınlığının, topuk genişliğinin ve loca genişliğinin etkisi nümerik olarak incelenmiştir (Tablo 4.2).

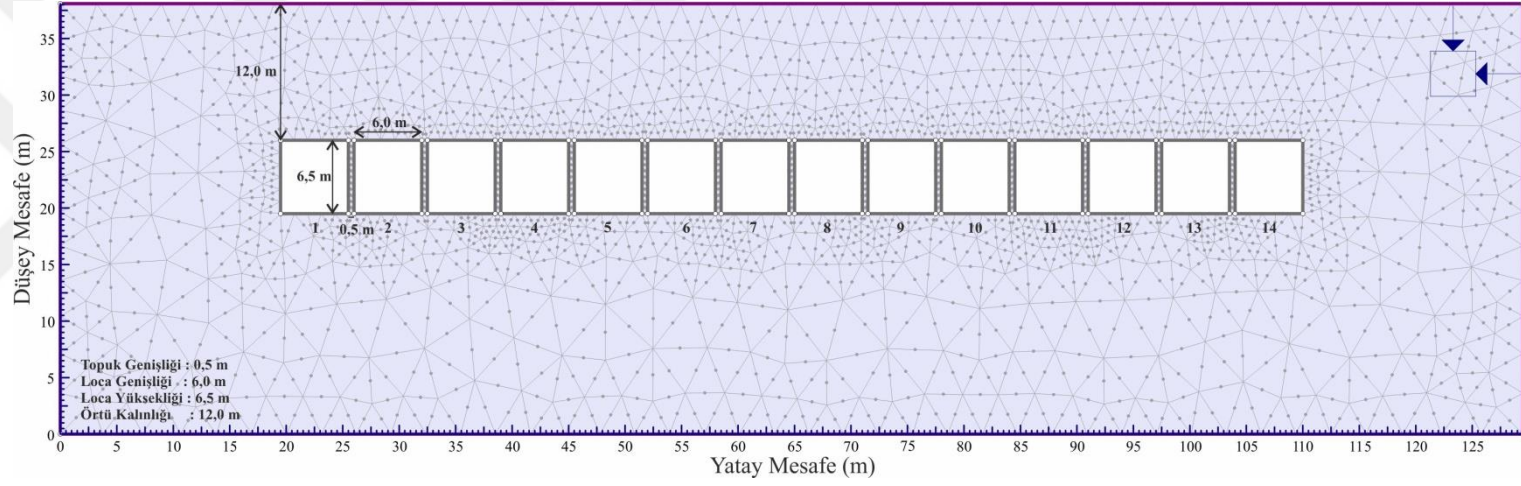
Tablo 4.2 Loca genişliği, topuk genişliği ve örtü kalınlığının etkisine göre incelenen modellerin listesi

Model No	Loca Genişliği (m)	Loca Yüksekliği (m)	Topuk Genişliği (m)	Örtü Kalınlığı (m)	Açıklamalar
Model - 1	6,0	6,5	0,5	12,0	Topuk genişliği değişkenliği
Model - 2	6,0	6,5	1,0	12,0	Topuk genişliği değişkenliği
Model - 3	6,0	6,5	2,0	12,0	Topuk genişliği değişkenliği
Model - 4	6,0	6,5	3,0	12,0	Topuk genişliği değişkenliği
Model - 5	6,0	6,5	4,0	12,0	Topuk genişliği değişkenliği
Model - 6	6,0	6,5	3,0	1,0	Örtü kalınlığı değişkenliği
Model - 7	6,0	6,5	3,0	2,0	Örtü kalınlığı değişkenliği
Model - 8	6,0	6,5	3,0	3,0	Örtü kalınlığı değişkenliği
Model - 9	6,0	6,5	3,0	4,0	Örtü kalınlığı değişkenliği
Model - 10	6,0	6,5	3,0	8,0	Örtü kalınlığı değişkenliği
Model - 11	7,0	6,5	3,0	12,0	Loca genişliği değişkenliği
Model - 12	8,0	6,5	3,0	12,0	Loca genişliği değişkenliği
Model - 13	9,0	6,5	3,0	12,0	Loca genişliği değişkenliği
Model - 14	10,0	6,5	3,0	12,0	Loca genişliği değişkenliği
Model - 15	11,0	6,5	3,0	12,0	Loca genişliği değişkenliği
Model - 16	7,0	6,5	2,0	12,0	Loca ve topuk genişliği değiş.
Model - 17	8,0	6,5	1,0	12,0	Loca ve topuk genişliği değiş.

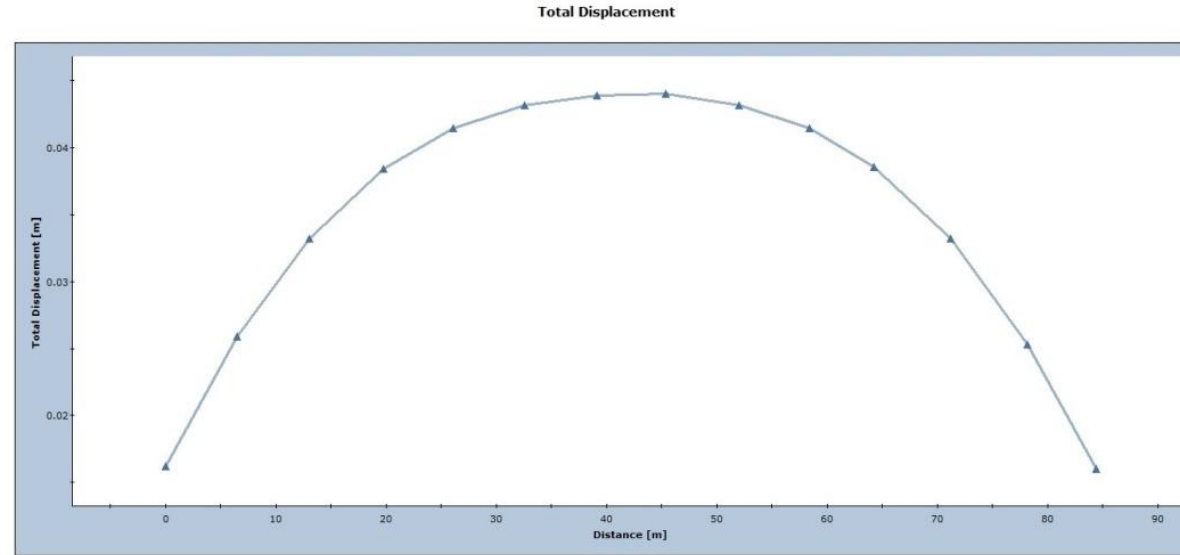
4.4.2.1. Model-01 (Topuk genişliği: 0,5 m)

Modelde topuk genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 3 m olan topuk genişliği 0,5 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı ise 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.12).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri her bir locayı birbirinden ayıran topuklarda meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 2,66 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 44 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-3). EK-3’de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında özellikle 6, 7, 8 ve 9. Locaların üzerinde meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.13).



Şekil 4.12 Model-1 (0,5 m topuk genişliği) genel görünümü



Şekil 4.13 Model-1' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.2.2. Model-02 (Topuk genişliği: 1,0 m)

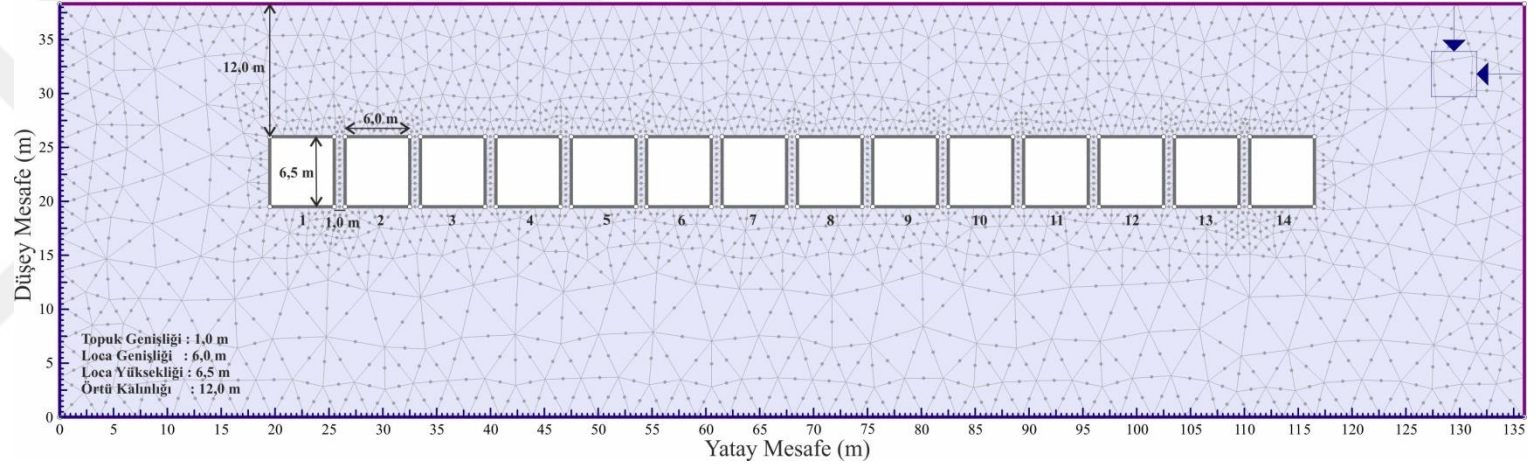
Modelde topuk genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 3 m olan topuk genişliği 1 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı ise 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.14).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri her bir locayı birbirinden ayıran topuklarda meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,61 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 25 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-4). EK-4'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında özellikle 6, 7, 8 ve 9. Locaların üzerinde meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.15).

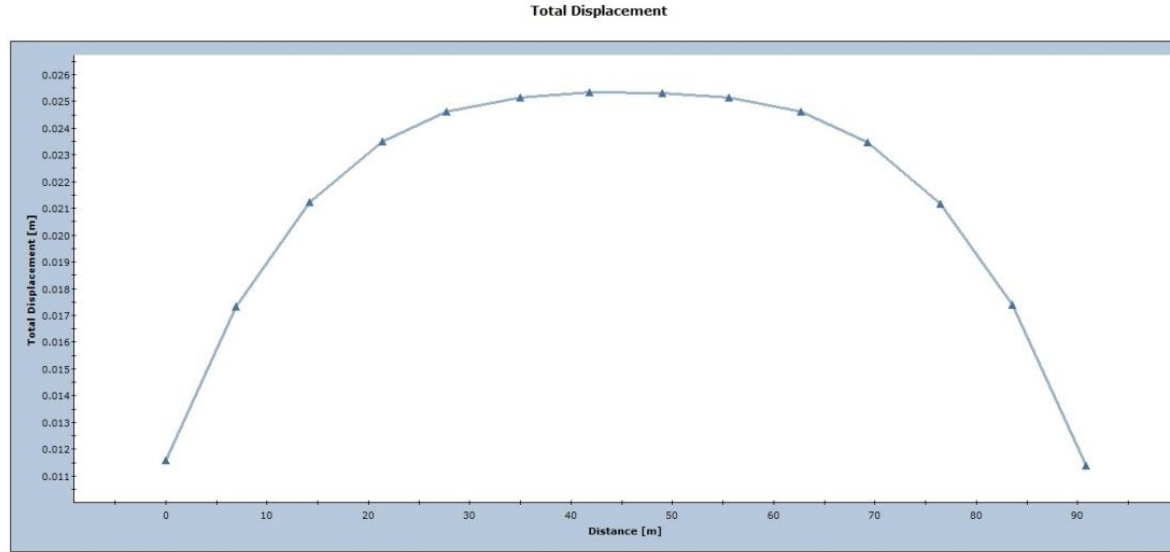
4.4.2.3. Model-03 (Topuk genişliği: 2,0 m)

Modelde topuk genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 3 m olan topuk genişliği 2 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı ise 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.16).

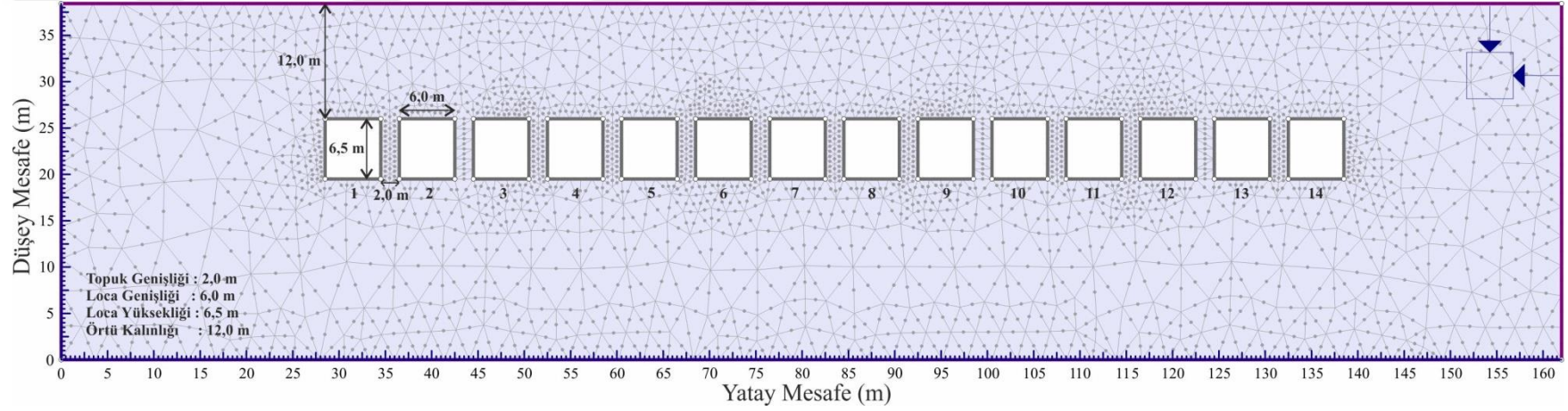
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri her bir locayı birbirinden ayıran topuklarda meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,08 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 15 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-5). EK-5'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.17).



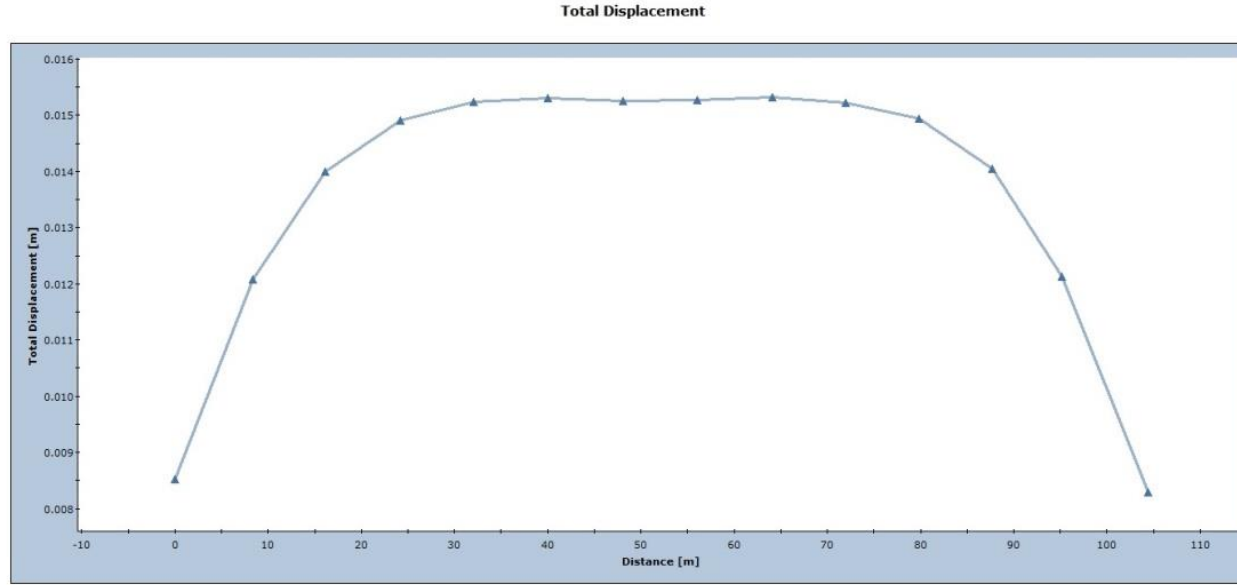
Şekil 4.14 Model-2 (1,0 m topuk genişliği) genel görünümü



Şekil 4.15 Model-2' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



şekil 4.16 Model-3 (2,0 m topuk genişliği) genel görünuğu



şekil 4.17 Model-3' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.2.4. Model-04 (Topuk genişliği: 3,0 m – Mevcut durum)

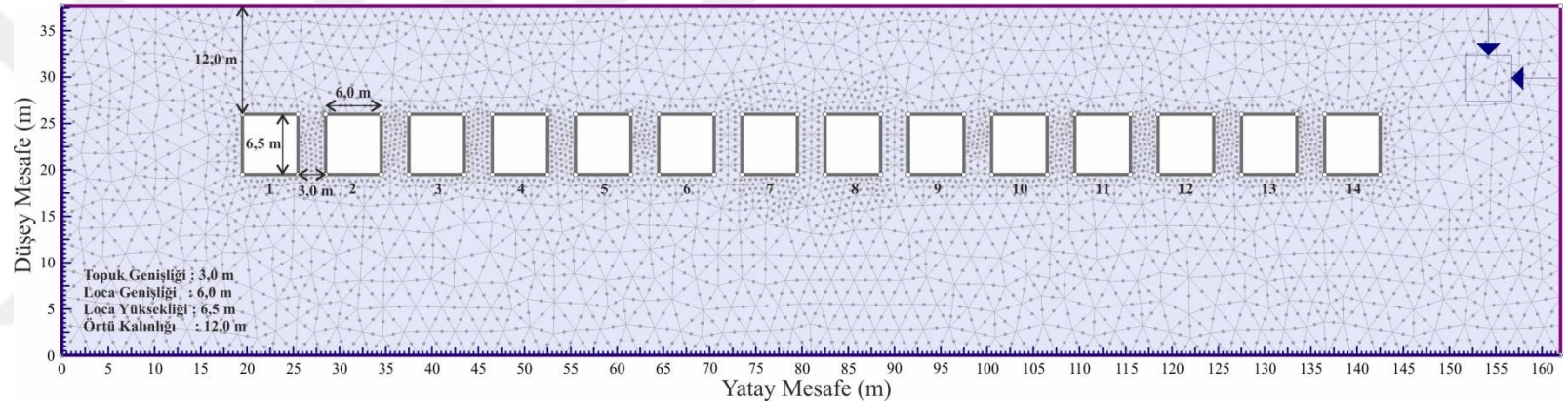
Modelde topuk genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda ki 3 m olan topuk genişliği incelenmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı ise 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.18).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri her bir locayı birbirinden ayıran topukların alt kotlarında elde edilmiştir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0.92 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 11 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-6). EK-6'da açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.19).

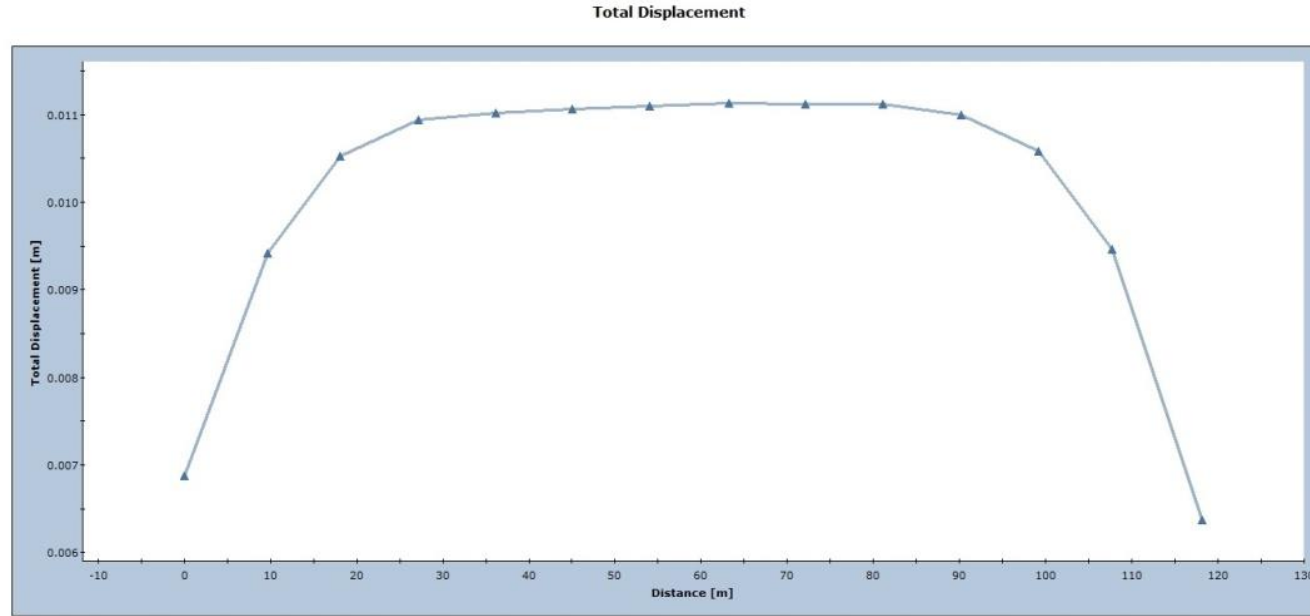
4.4.2.5. Model-05 (Topuk genişliği: 4,0 m)

Modelde topuk genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 3 m olan topuk genişliği 4 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı ise 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.20).

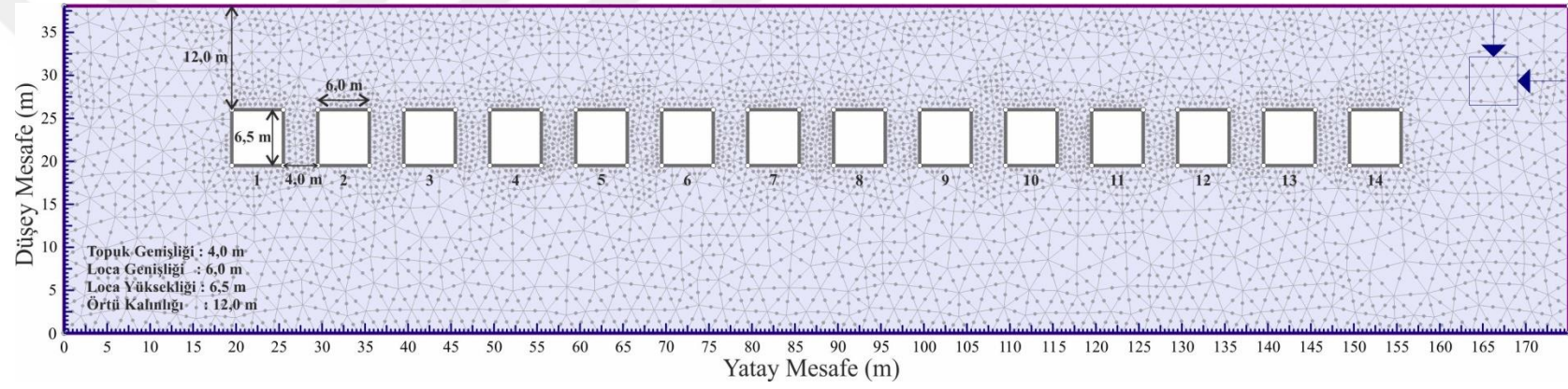
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri her bir locayı birbirinden ayıran topukların alt kotlarında elde edilmiştir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0.85 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 10 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-7). EK-7'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.21).



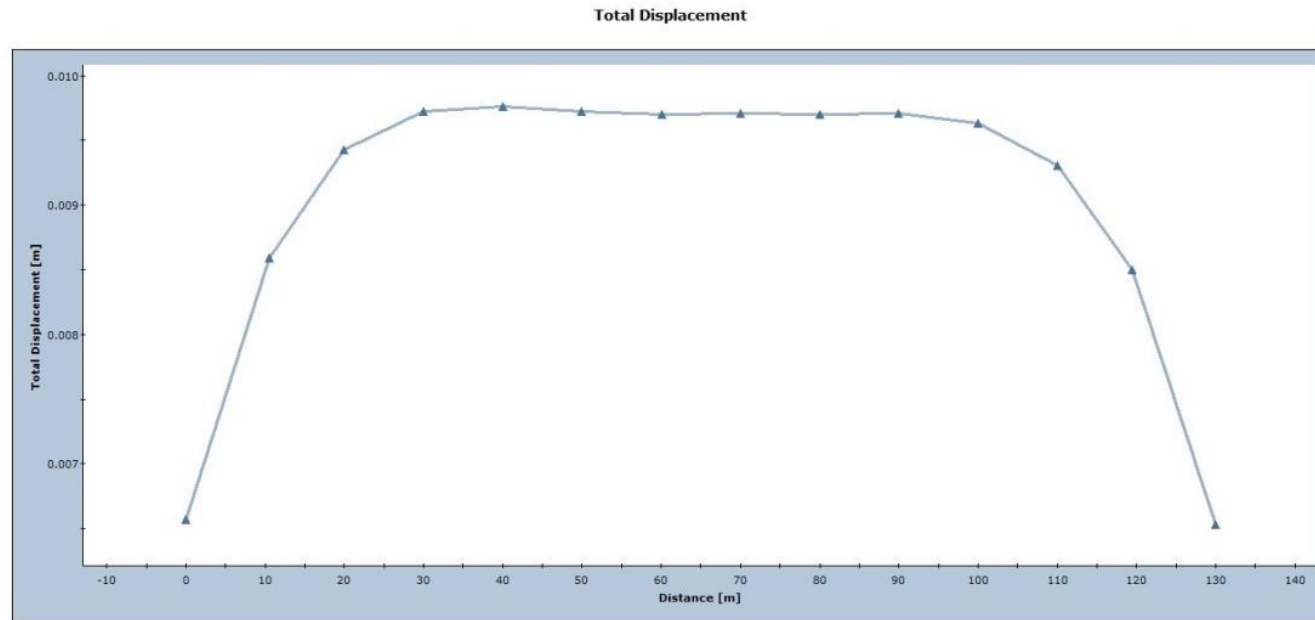
Şekil 4.18 Model-4 (3,0 m topuk genişliği) genel görünümü



Şekil 4.19 Model-4' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.20 Model-5 (4,0 m topuk genişliği) genel görünümü



Şekil 4.21 Model-5' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.2.6. Model-06 (Örtü kalınlığı: 1,0 m)

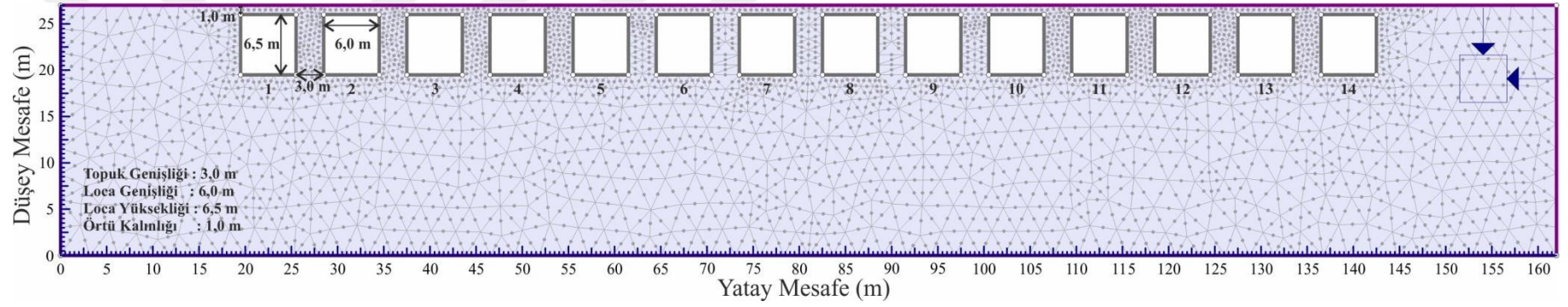
Modelde örtü kalınlığının etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 12 m olan örtü kalınlığı 1 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve topuk genişliği 3 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.22).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri deponun taban kısımlarında elde edilmiştir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,46 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 4 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-8). EK-8'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. 5. ve 10. Loca üzerinde en yüksek değerini alan deformasyon değerleri kenarlara doğru azalmaktadır (Şekil 4.23).

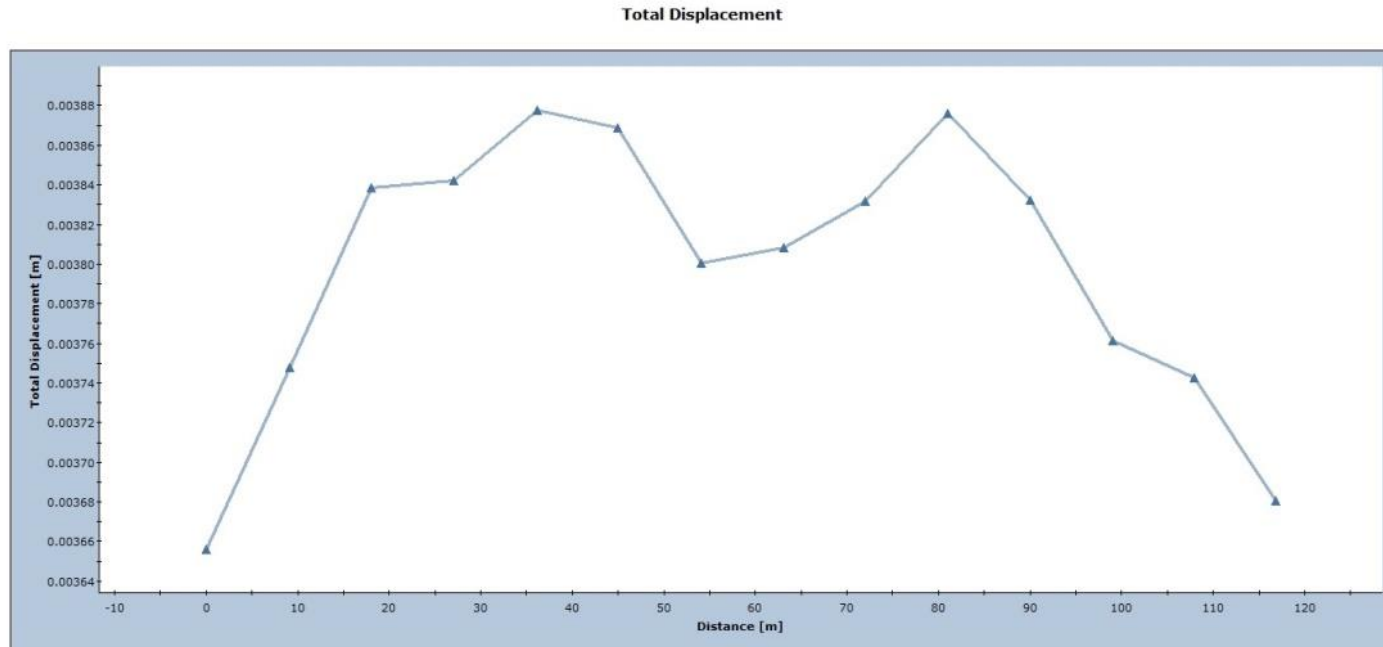
4.4.2.7. Model-07 (Örtü kalınlığı: 2,0 m)

Modelde örtü kalınlığının etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 12 m olan örtü kalınlığı 2 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve topuk genişliği 3 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.24).

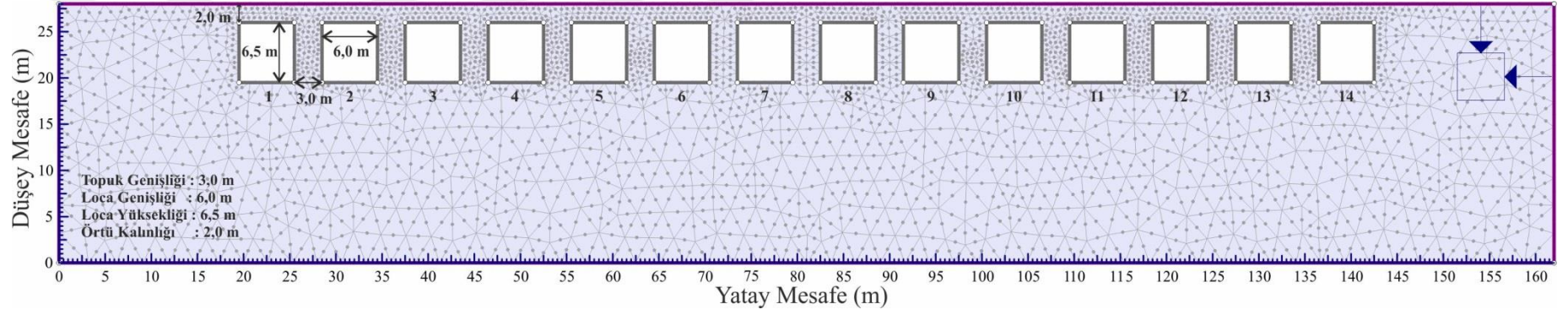
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri deponun taban kısımlarında elde edilmiştir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,47 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 3 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-9). EK-9'da açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Orta loca üzerlerinde özellikle ise 7. Loca üzerinde en yüksek değerini alan deformasyon değerleri kenarlara doğru azalmaktadır (Şekil 4.25).



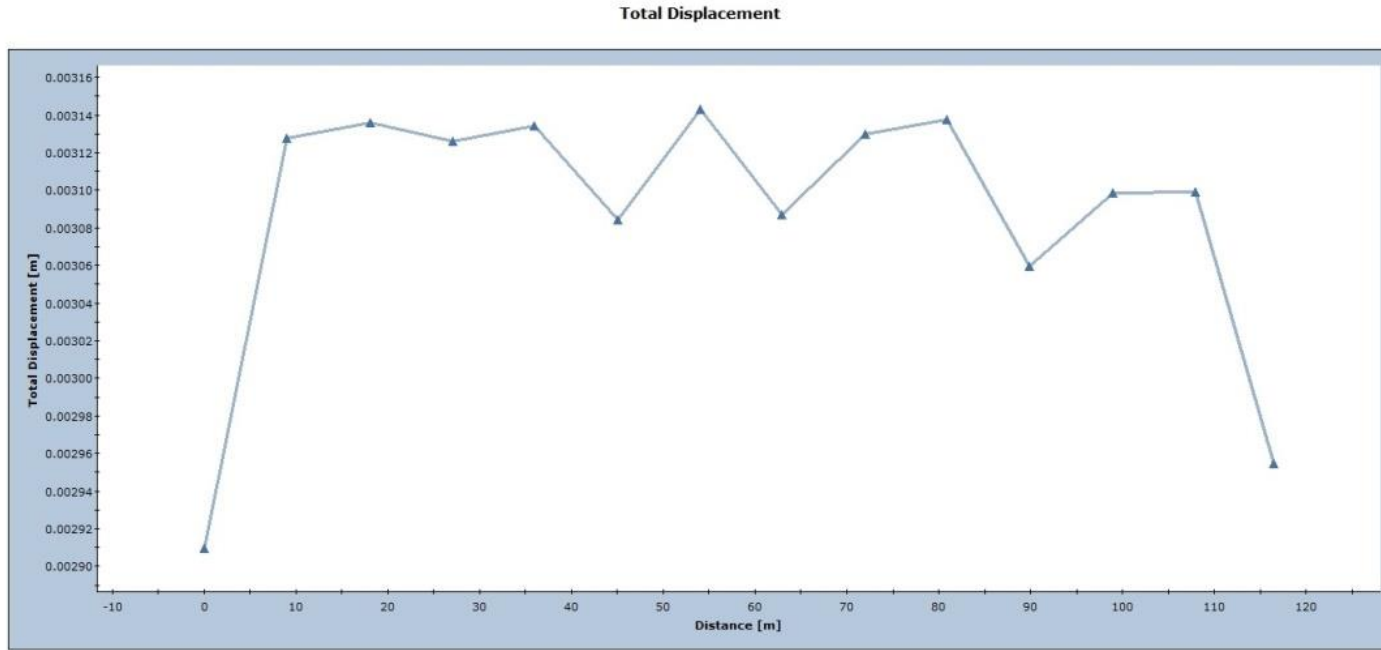
Şekil 4.22 Model-6 (1,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü



Şekil 4.23 Model-6' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.24 Model-7 (2,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü



Şekil 4.25 Model-7' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.2.8. Model-08 (Örtü kalınlığı: 3,0 m)

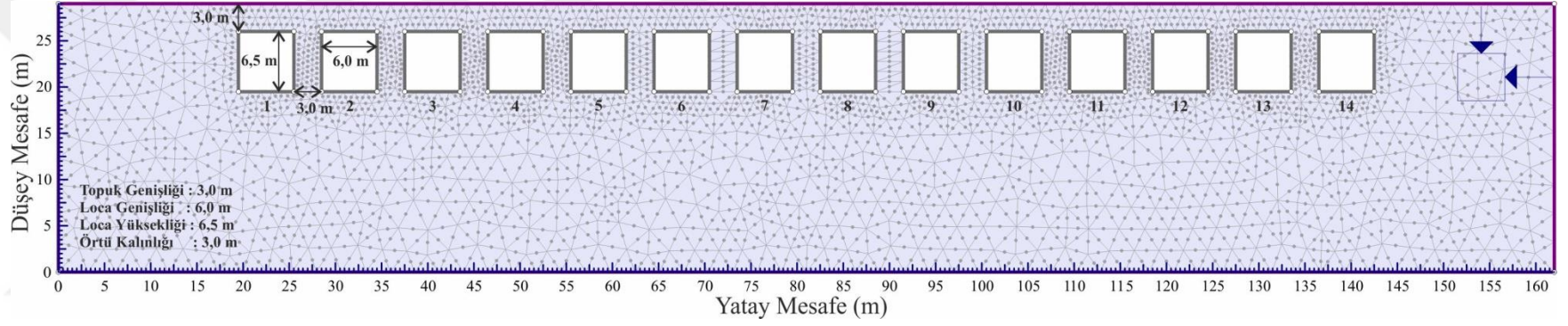
Modelde örtü kalınlığının etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 12 m olan örtü kalınlığı 3 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve topuk genişliği 3 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.26).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri deponun taban kısımlarında elde edilmiştir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,51 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 4 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-10). EK-10'da açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.27).

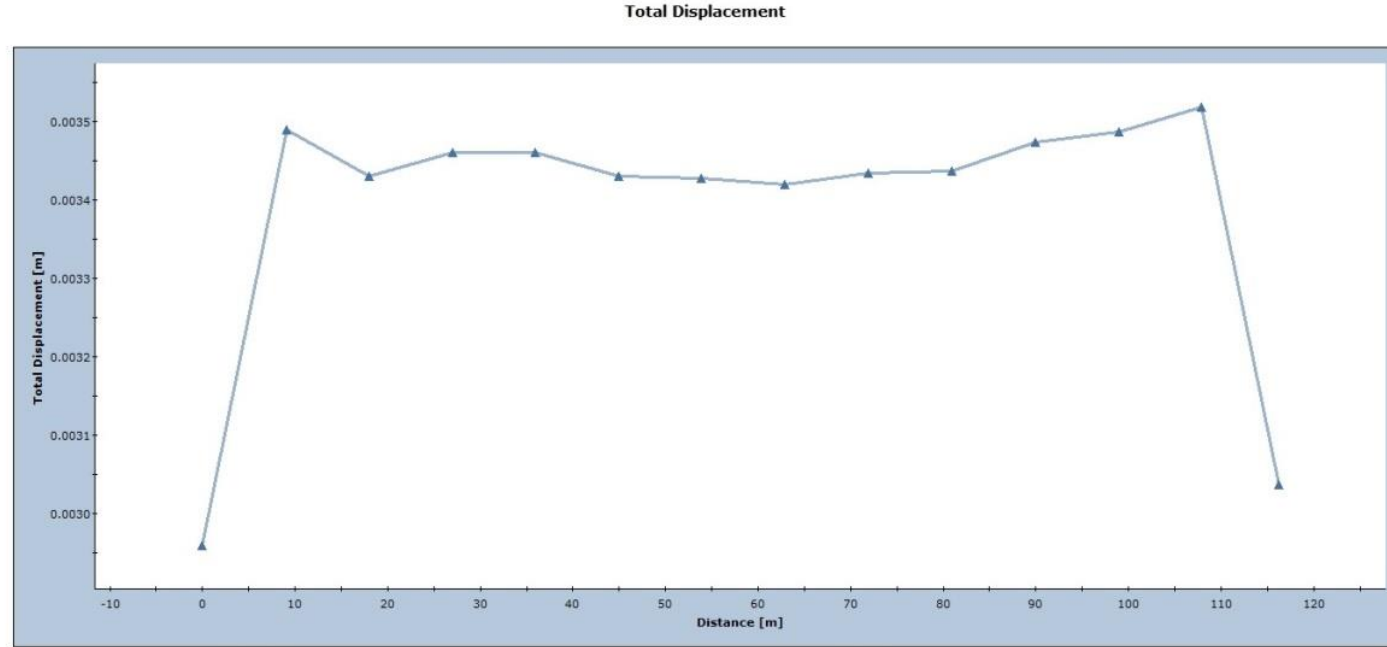
4.4.2.9. Model-09 (Örtü kalınlığı: 4,0 m)

Modelde örtü kalınlığının etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 12 m olan örtü kalınlığı 4 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve topuk genişliği 3 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.28).

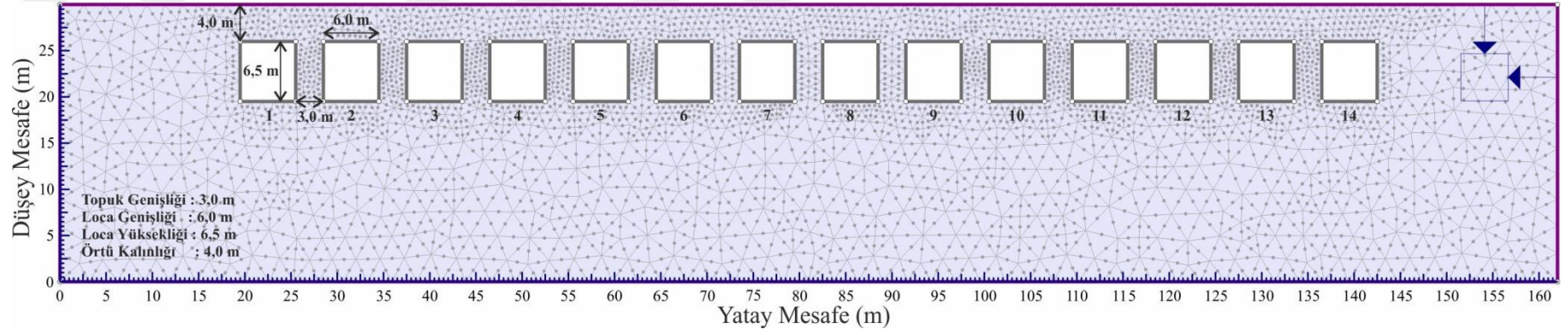
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri deponun taban kısımlarında elde edilmiştir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,52 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 4 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-11). EK-11'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.29).



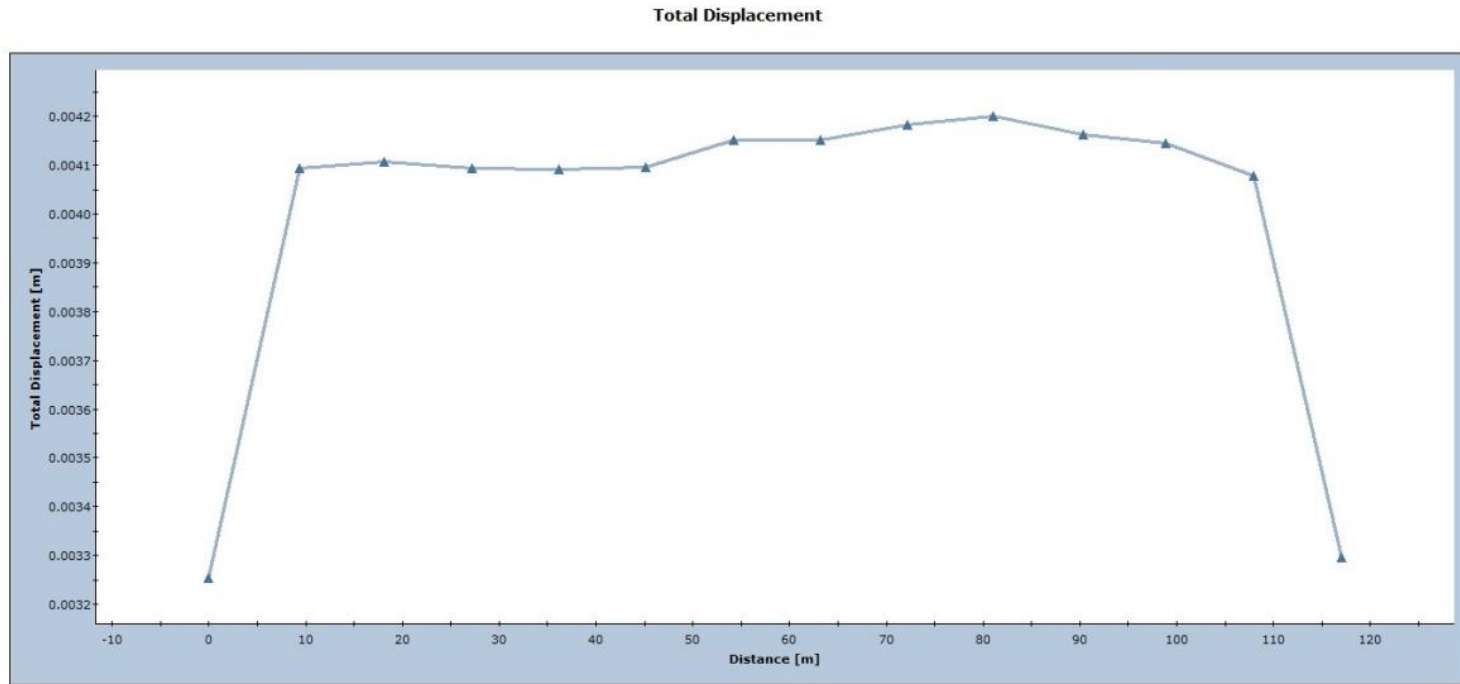
Şekil 4.26 Model-8 (3,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü



Şekil 4.27 Model-8' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.28 Model-9 (4,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü



Şekil 4.29 Model-9' deki localar üzerindeki toplam değişim değişimi

4.4.2.10. Model-10 (Örtü kalınlığı: 8,0 m)

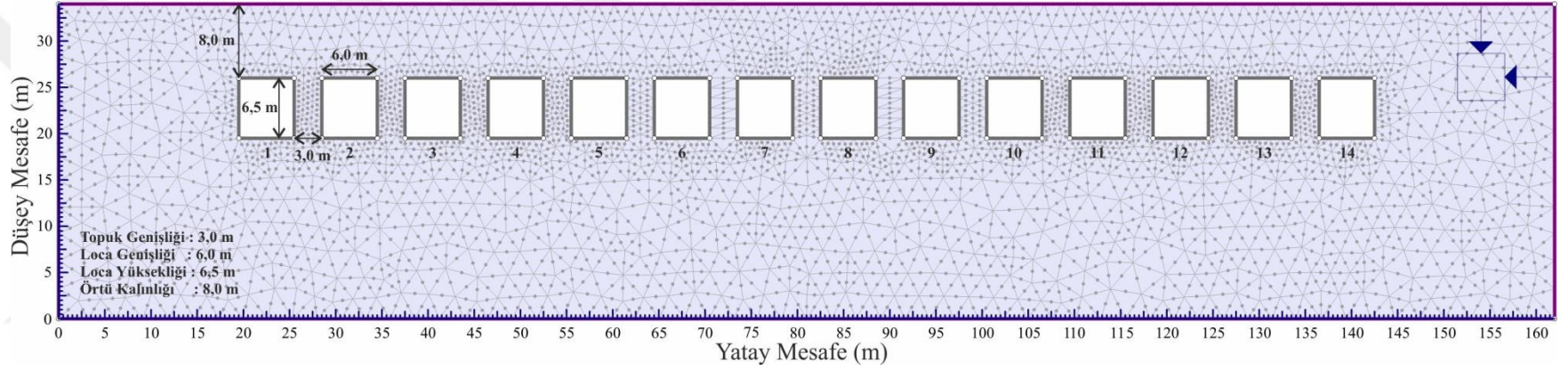
Modelde örtü kalınlığının etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 12 m olan örtü kalınlığı 8 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca genişliği 6 m, yüksekliği 6,5 m ve topuk genişliği 3 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.30).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri depo topuklarının alt köşelerinde ve depo tabanında meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,67 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 8 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-12). EK-12’de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.31).

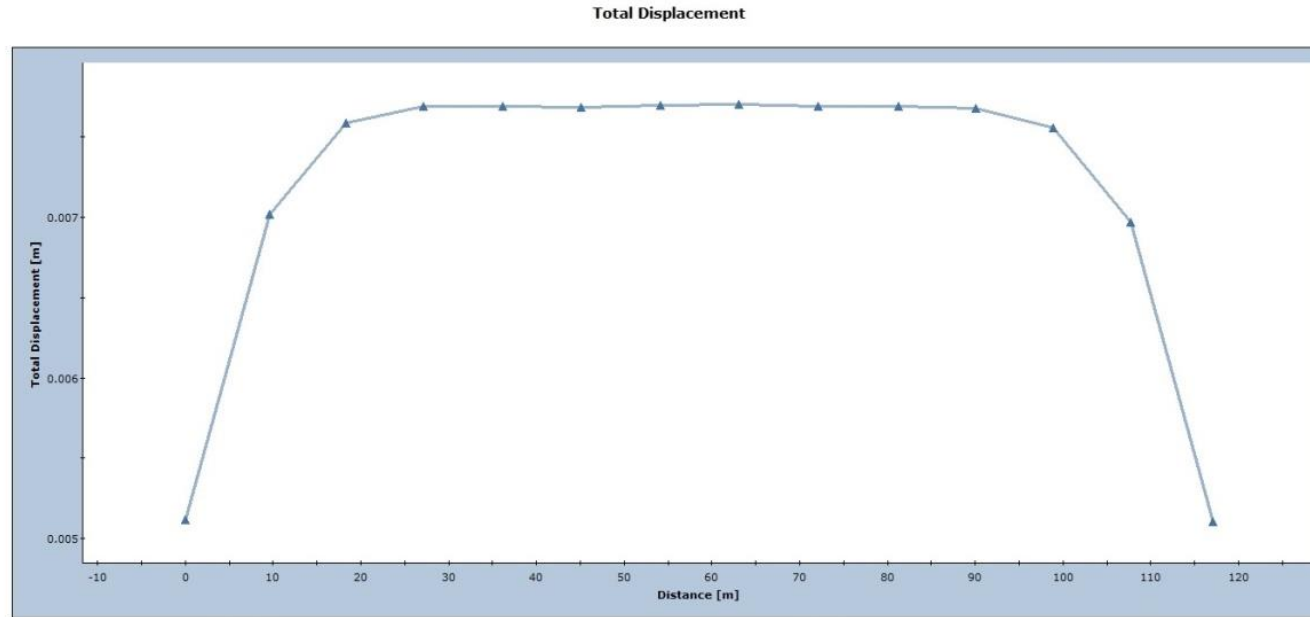
4.4.2.11. Model-11 (Loca genişliği: 7,0 m)

Modelde loca genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 7 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m, topuk genişliği 3 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.32).

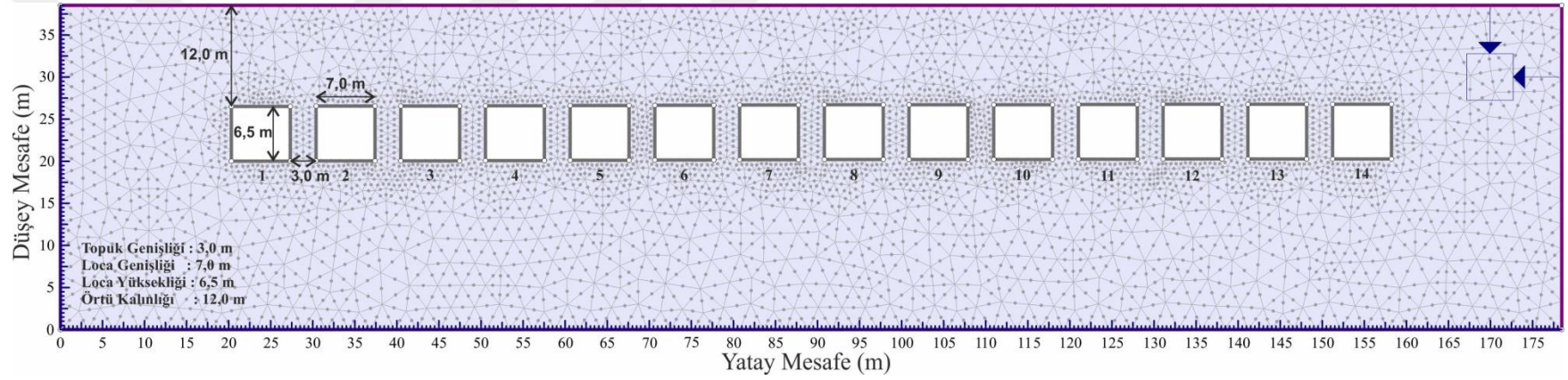
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri depo topuklarının alt köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,90 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 13 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-13). EK-13’de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.33).



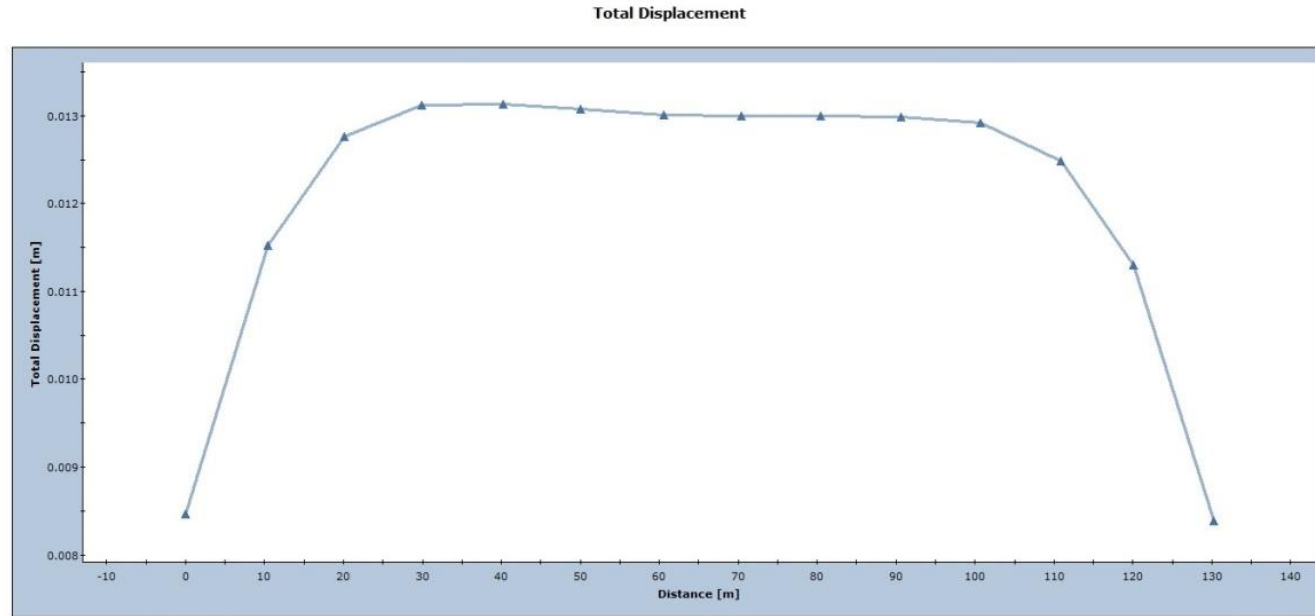
Şekil 4.30 Model-10 (8,0 m örtü kalınlığı) genel görünümü



Şekil 4.31 Model-10' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.32 Model-11 (7,0 m loca genişliği) genel görünümü



Şekil 4.33 Model-11' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.2.12. Model-12 (Loca genişliği: 8,0 m)

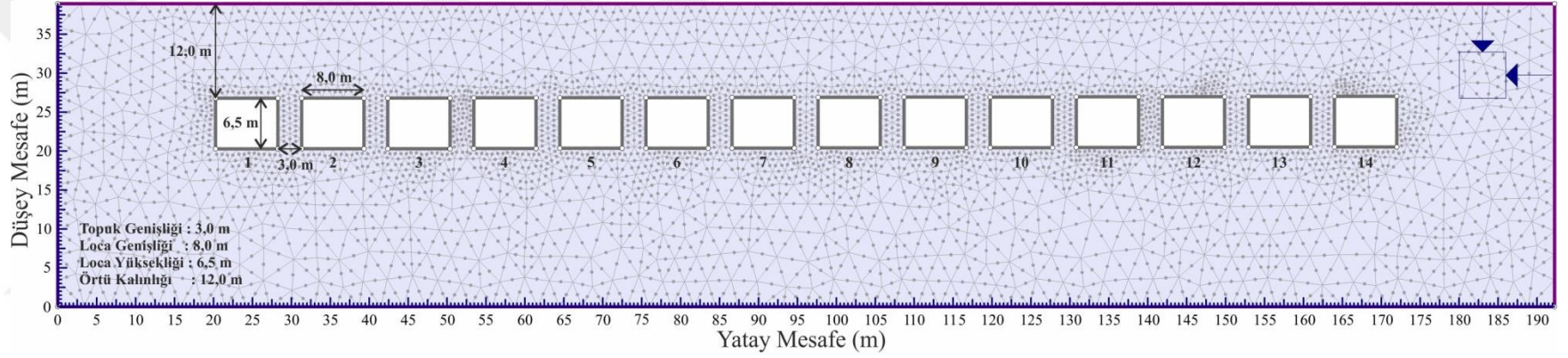
Modelde loca genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 8 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m, topuk genişliği 3 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.34).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri depo topuklarının alt ve üst köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 0,99 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 15 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-14). EK-14'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümünde yer alan loca tavanlarında meydana gelen deformasyon artmaktadır. Kenarlara doğru ise deformasyon değerleri azalmaktadır (Şekil 4.35).

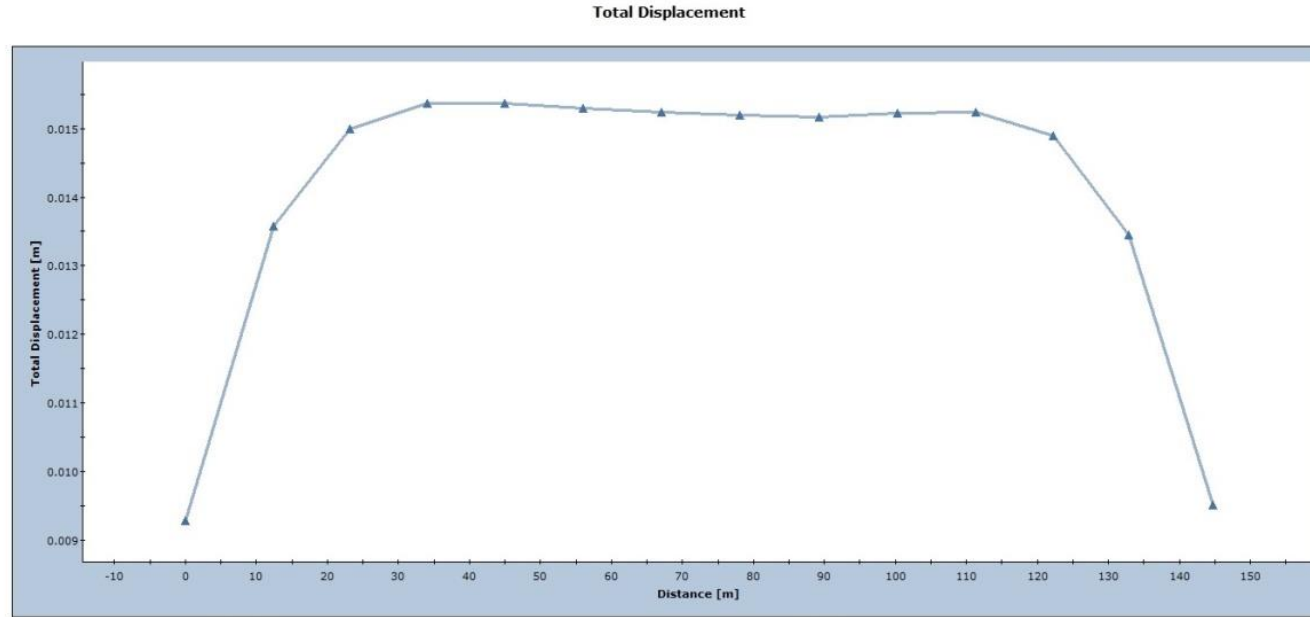
4.4.2.13. Model-13 (Loca genişliği: 9,0 m)

Modelde loca genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 9 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m, topuk genişliği 3 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.36).

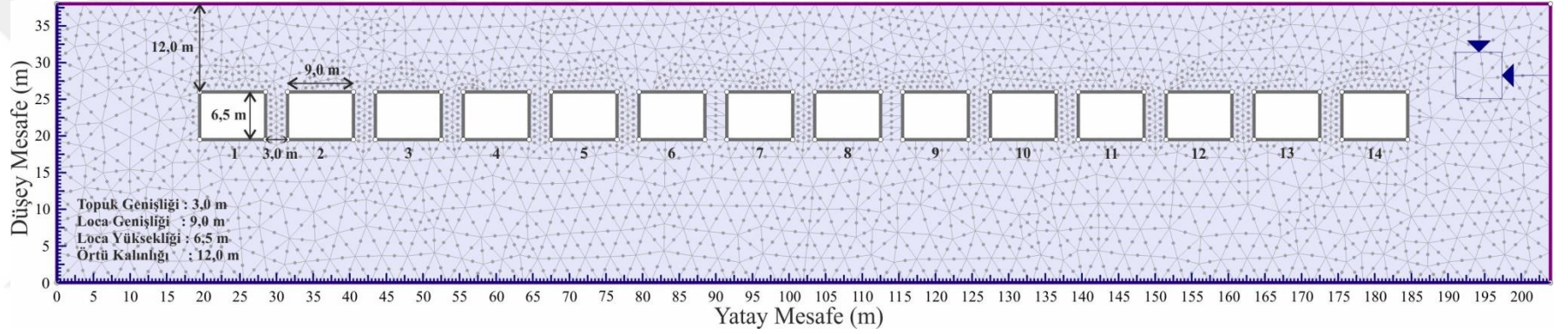
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri depo topuklarının alt köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,05 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 18 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-15). EK-15'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümdeki localardan kenarlara doğru deformasyon 4, 5, 10 ve 11. localarda maximum değerini alıp tekrar azalmaktadır (Şekil 4.37).



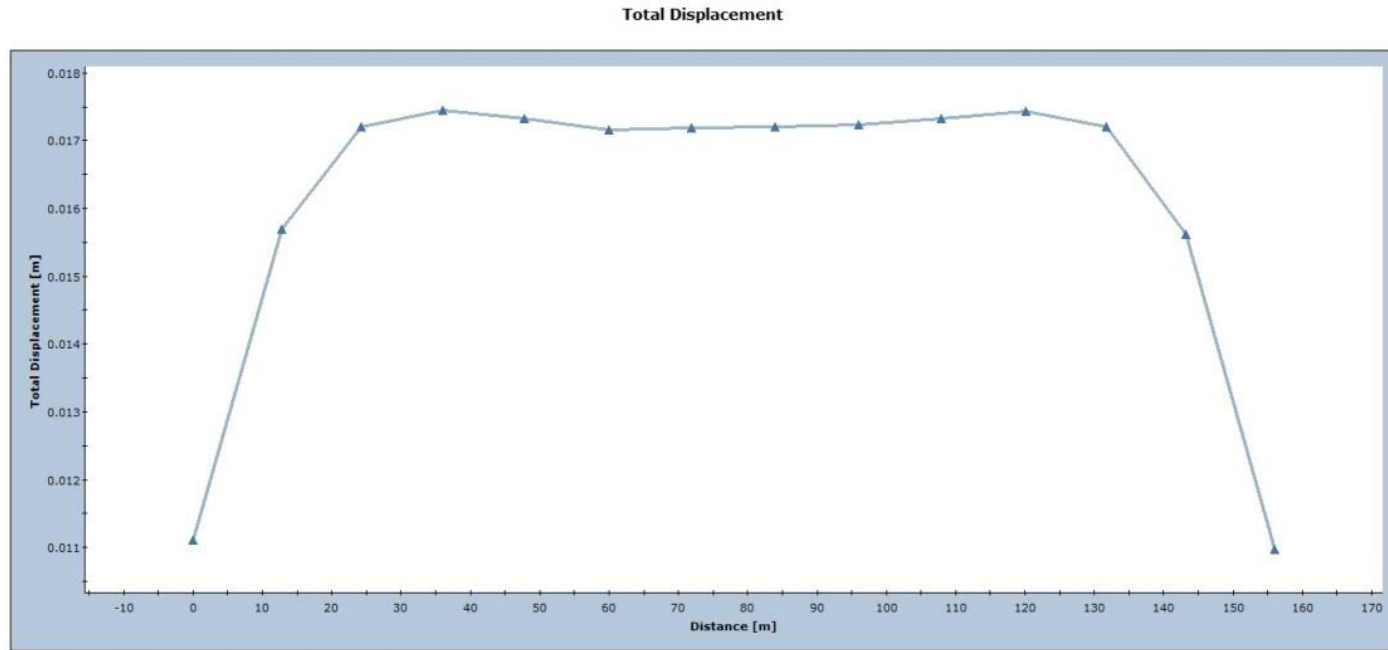
Şekil 4.34 Model-12 (8,0 m loca genişliği) genel görünümü



Şekil 4.35 Model-12' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.36 Model-13 (9,0 m loca genişliği) genel görünümü



Şekil 4.37 Model-13' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.2.14. Model-14 (Loca genişliği: 10,0 m)

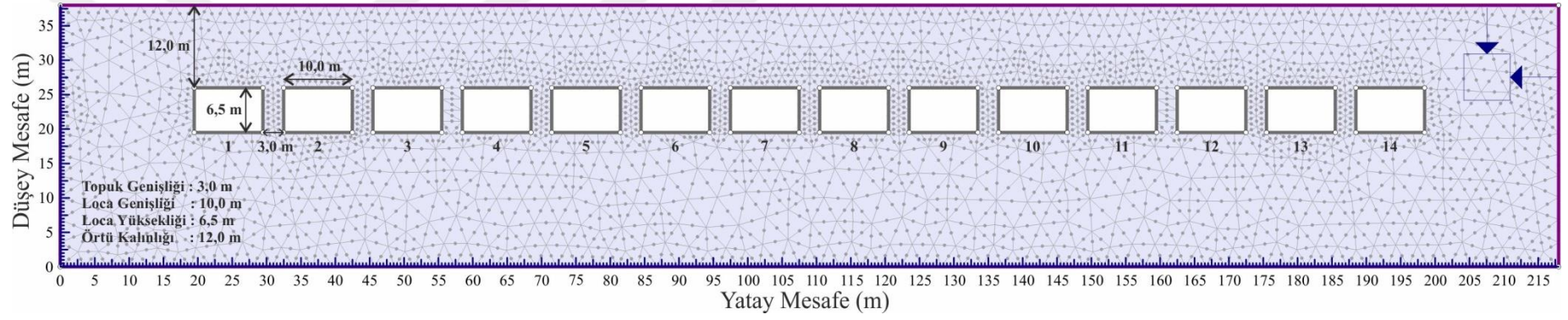
Modelde loca genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 10 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m, topuk genişliği 3 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.38).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri depo topuklarının alt köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,14 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 20 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-16). EK-16'da açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümdeki localardan kenarlara doğru deformasyon 4, 5, 10 ve 11. localarda maximum değerini alıp tekrar azalmaktadır (Şekil 4.39).

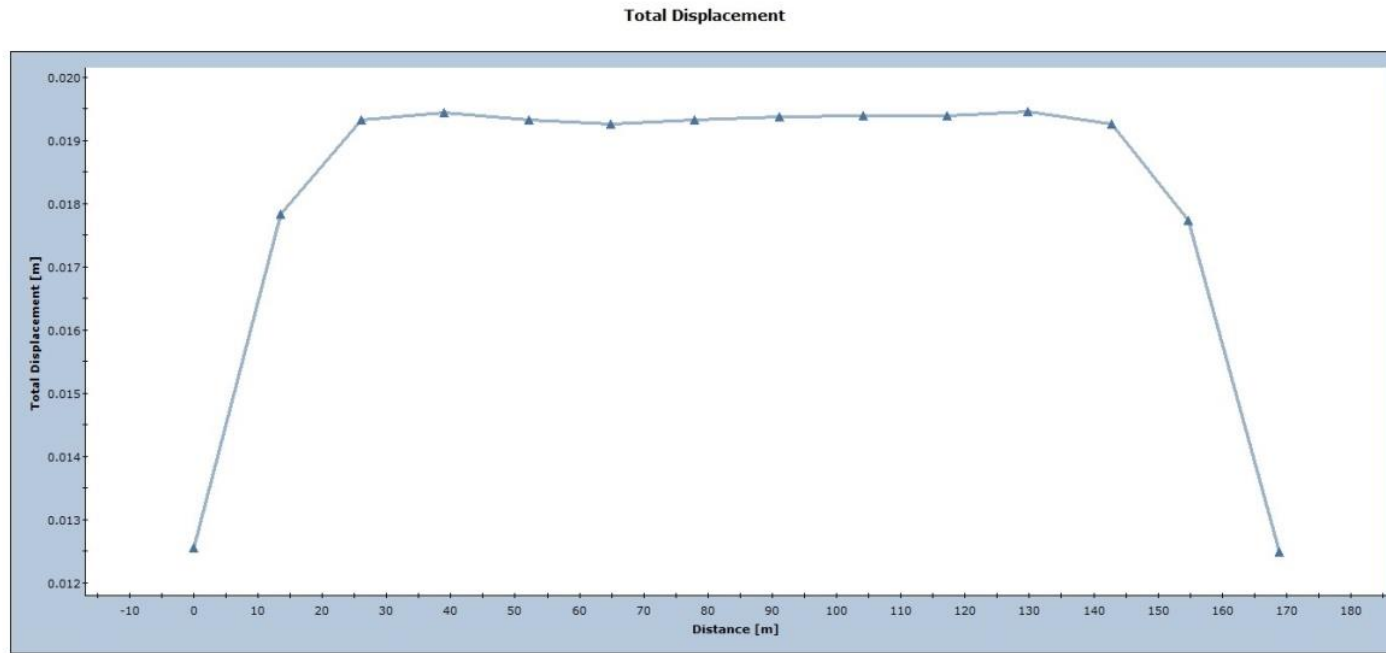
4.4.2.15. Model-15 (Loca genişliği: 11,0 m)

Modelde loca genişliğinin etkisi incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 11 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m, topuk genişliği 3 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.40).

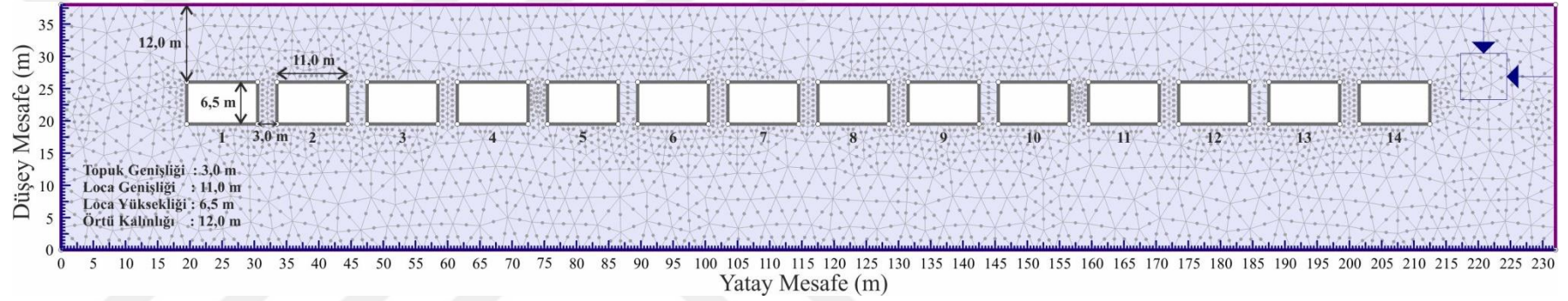
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri depo topuklarının alt köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,23 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 22 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-17). EK-17'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümdeki localardan kenarlara doğru deformasyon 3, 4, 11 ve 12. localarda maximum değerini alıp tekrar azalmaktadır (Şekil 4.41).



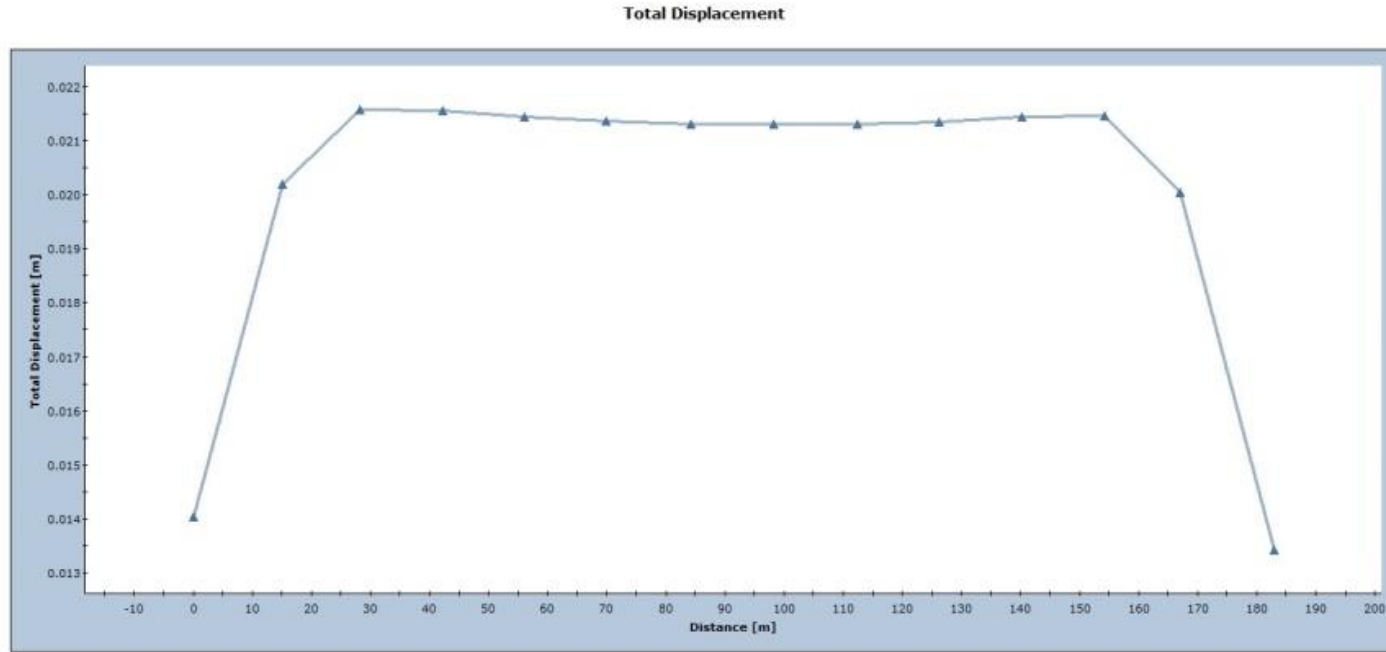
Şekil 4.38 Model-14 (10,0 m loca genişliği) genel görünümü



Şekil 4.39 Model-14' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.40 Model-15 (11,0 m loca genişliği) genel görünümü



Şekil 4.41 Model-15' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişim

4.4.2.16. Model-16 (Loca genişliği: 7,0 m – Topuk genişliği: 2,0 m)

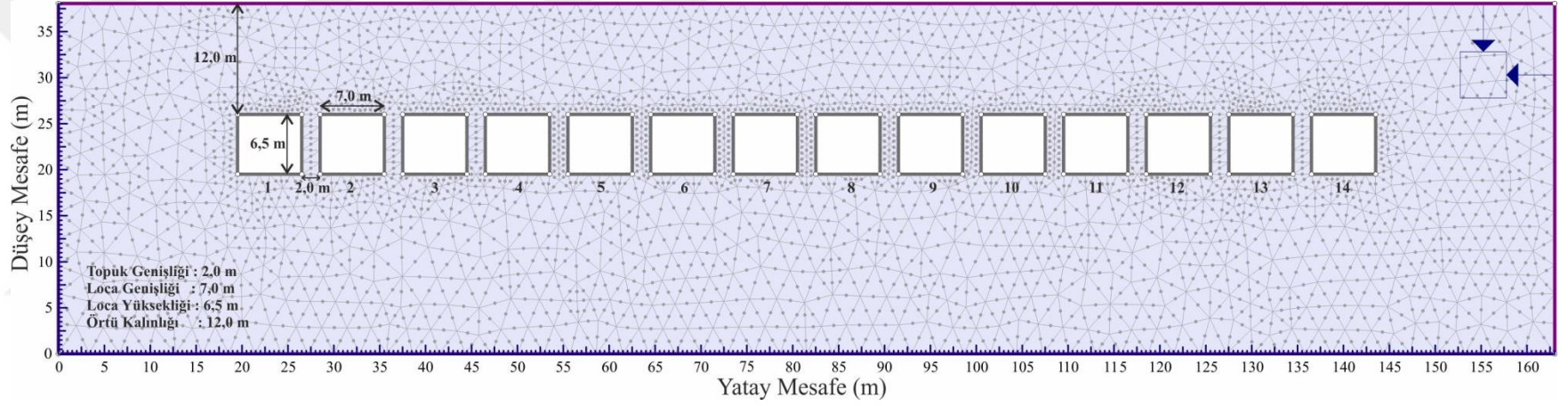
Modelde loca genişliği ile topuk genişliğinin etkisi beraber incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 7 m, 3 m olan topuk genişliği ise 2 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.42).

Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri orta bölümde yer alan depo topuklarının alt köşelerinde meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,10 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 18 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-18). EK-18'de açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümdeki localardan kenarlara doğru deformasyon 5, 6, 9 ve 10. localarda maximum değerini alıp tekrar azalmaktadır (Şekil 4.43).

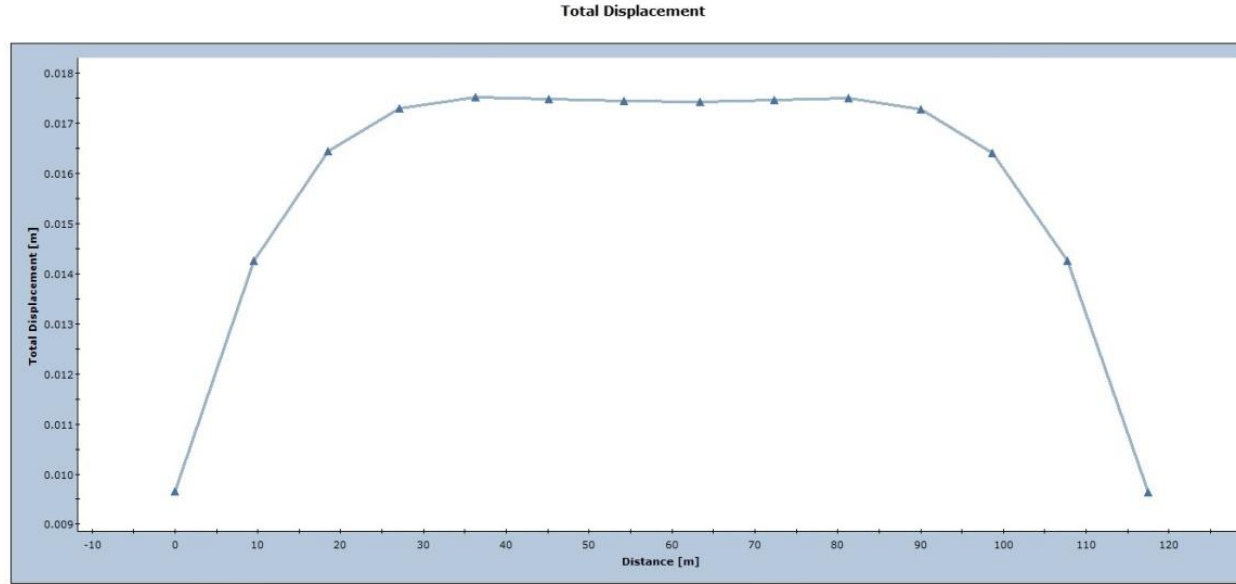
4.4.2.17. Model-17 (Loca genişliği: 8,0 m – Topuk genişliği: 1,0 m)

Modelde loca genişliği ile topuk genişliğinin etkisi beraber incelenmiş olup, mevcut durumda 6 m olan loca genişliği 8 m, 3 m olan topuk genişliği ise 1 m olarak kabul edilmiştir. Bununla birlikte loca yüksekliği 6,5 m ve örtü kalınlığı 12 m olarak yani mevcut projede olduğu gibi kabul edilmiştir (Şekil 4.44).

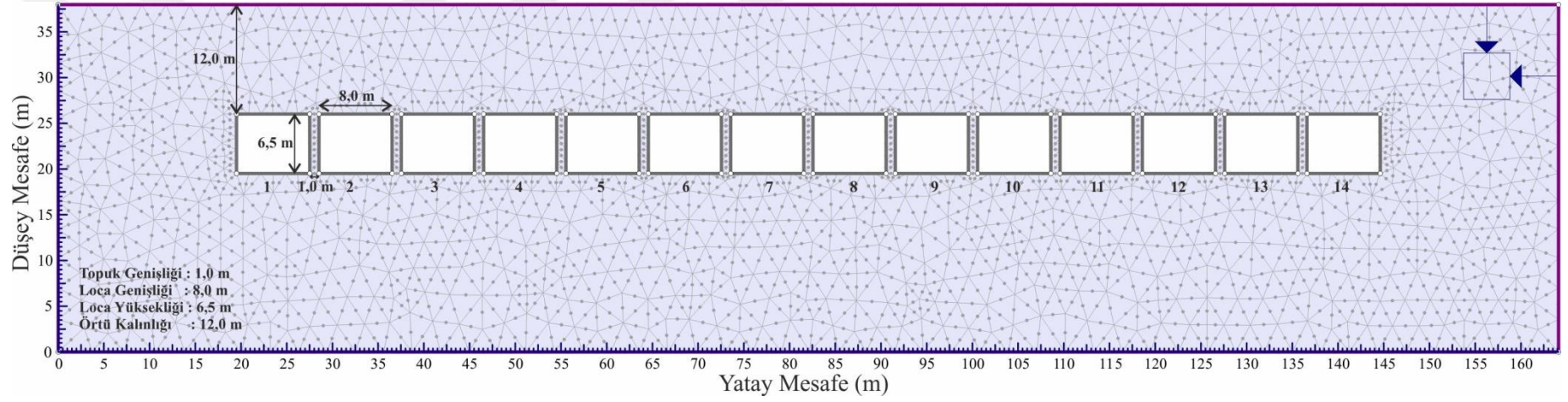
Yapılan nümerik analiz sonuçlarına göre, maksimum gerilme değerleri orta bölümde yer alan depo topuklarında meydana gelmektedir. Söz konusu noktalarda ulaşılan maksimum gerilme değeri 1,96 MPa olarak belirlenmiştir. Buna karşılık gerçekleşen deformasyon değerleri ise 32 mm civarında locaların tavan bölümünde gerçekleşmiştir (EK-19). EK-19'da açık bir şekilde görülmektedir ki, doğal deponun orta bölümdeki localardan kenarlara doğru deformasyon 5, 6, 9 ve 10. localarda maximum değerini alıp tekrar azalmaktadır (Şekil 4.45).



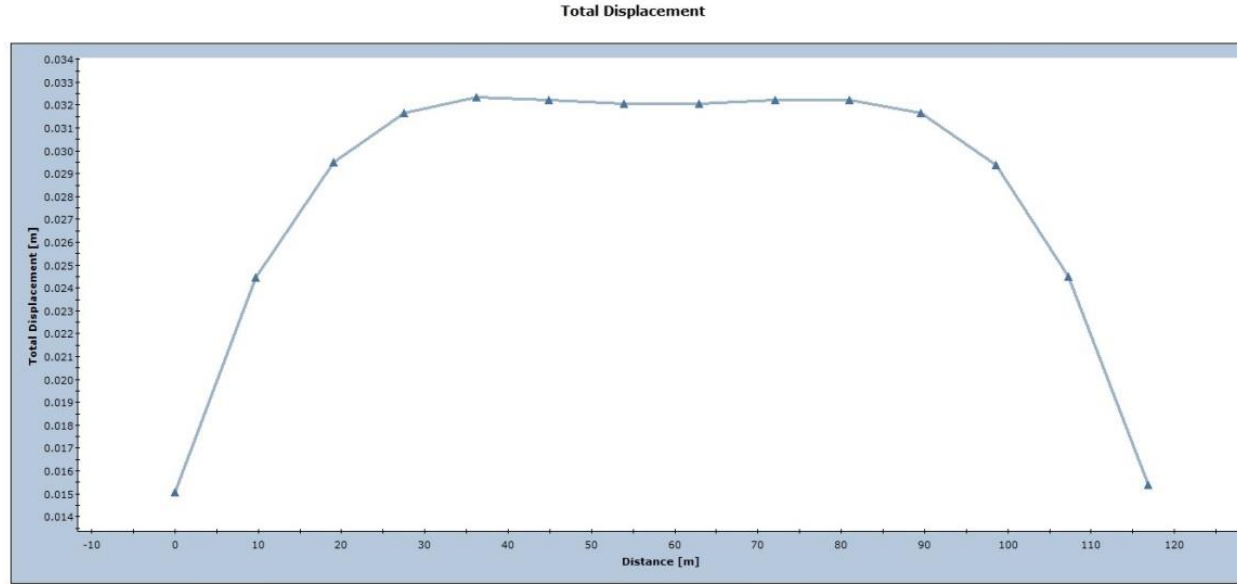
Şekil 4.42 Model-16 (7,0 m loca-2,0 m topuk genişliği) genel görünümü



Şekil 4.43 Model-16' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi



Şekil 4.44 Model-17 (8,0 m loca-1,0 m topuk genişliği) genel görünümü



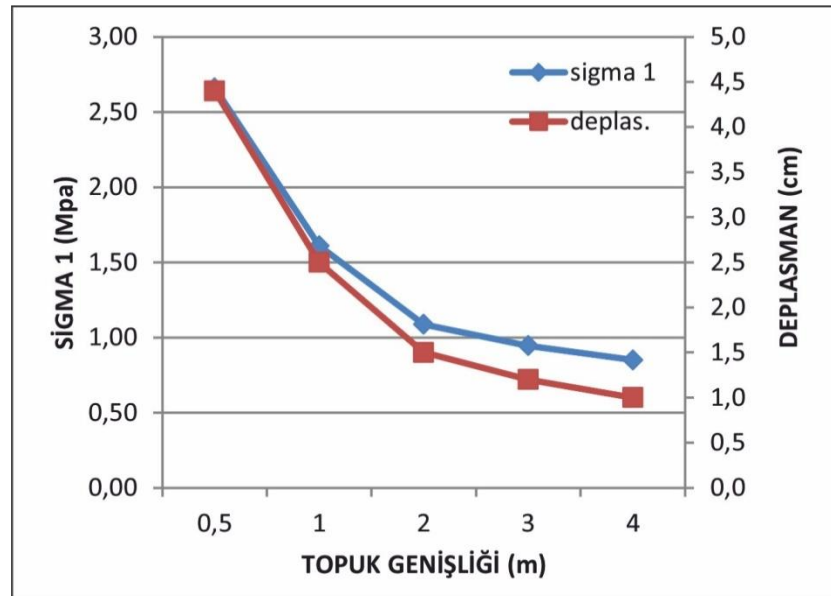
Şekil 4.45 Model-17' deki localar üzerindeki toplam deformasyon değişimi

4.4.3. Doğal depolarda optimum koşulların değerlendirilmesi

Nevşehir'in farklı bölgelerinde kalın ignimbirit ve tuf seviyelerinin içerisinde açılan doğal soğuk hava depoları genel olarak 3 m topuk genişliğine, 6 m loca genişliğine sahip olacak şekilde inşa edilmektedir. Mevcut durumun daha ekonomik hale getirilmesi için bu çalışma kapsamında farklı topuk genişliği, loca genişliği ve örtü kalınlığı koşulları sayısal analizler yardımıyla jeoteknik açıdan incelenmiştir.

Öncelikle topuk genişliğinin gerilme-deformasyon davranışına etkisi araştırılmıştır. Bunun için 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m ve 4 m topuk genişlikleri değerlendirilmiştir. İncelenen deponun gerçek durumda 3 m olan topuk genişliğinin 0,5 m'den 4 m'e kadar çıkarılması sonucu oluşan gerilme ve toplam deformasyon değişimleri Şekil 4.46' da verilmiştir. Buna göre;

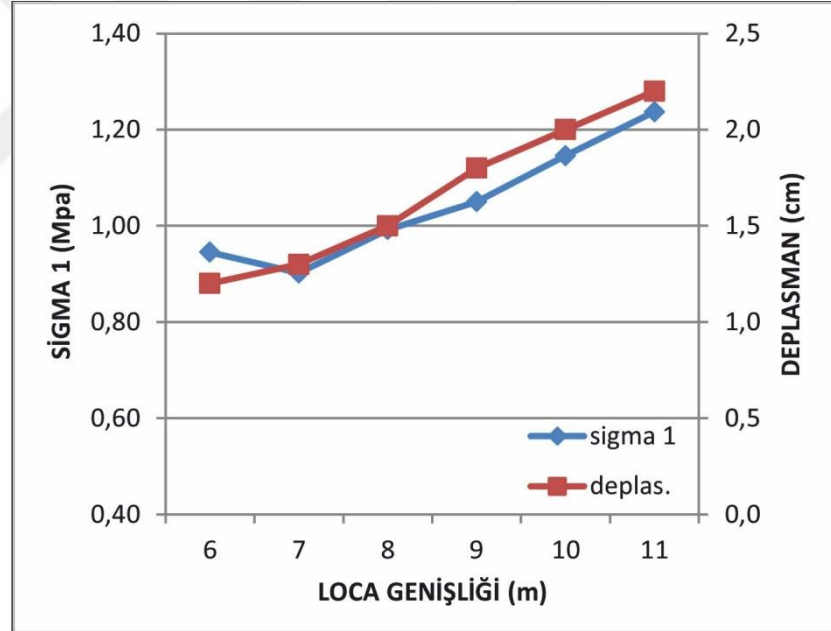
Topuk genişliği 0,5 m iken 2,66 MPa olan gerilme ile 4,4 cm olan toplam deplasman, topuk genişliği 3 m olunca 0,94 MPa ile 1,2 cm kadar hızlı bir şekilde düşmektedir. 3 metreden sonrasında ki değişimlerin azalmakta olduğunu ve grafikte eğimin giderek azaldığını gözlemlemekteyiz. Buda bize 3 m olan topuk genişliğinin ideal olduğunu göstermektedir. Fakat topuk genişliğinin 2 m olması durumunda da gerilme-deformasyon davranışlarında önemli bir değişiklik olmamaktadır. Bundan dolayı topuk genişliği 2 m' e kadar düşünülebilir.



Şekil 4.46 Topuk genişliğinin gerilme-deformasyon davranışına etkisi

Mevcut durumda 6 m olan loca genişliği, depo verimini arttırmak için diğer boyutlar sabit kalmak koşuluyla 6 m, 7 m, 8 m, 9 m, 10 m ve 11 m'lik loca genişlikleri incelenmiştir. Buna göre gerilme-deformasyon davranışlarında meydana gelen değişimler Şekil 4.47'de verilmiştir. Şekilden açık bir şekilde görüleceği üzere;

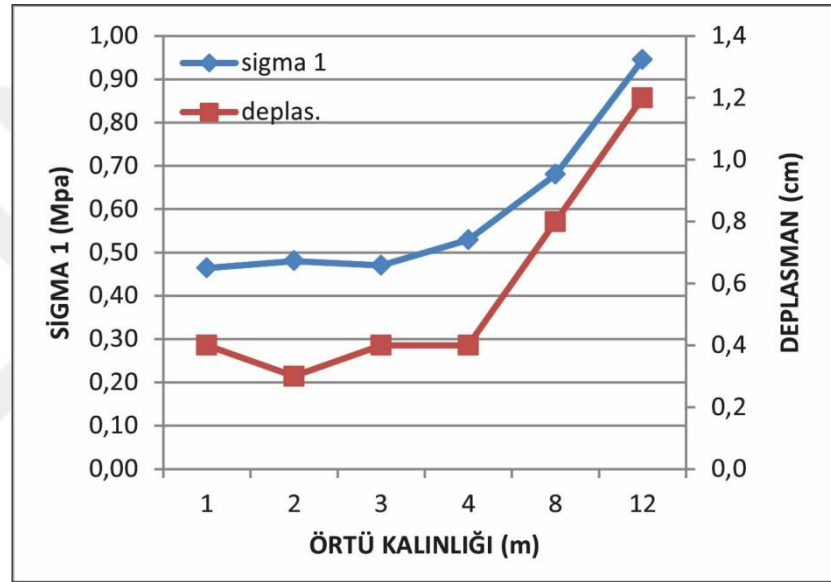
Loca genişliği 6 m iken 0,94 MPa olan gerilme ile 1,2 cm olan toplam deplasman, loca genişliği 11 m oluncaya kadar arttığını ve gerilmenin 1,23 cm toplam deplasmanın ise 2,2 cm çıktığını göstermektedir. Buda bize 6 m olan loca genişliğinin ideal olduğunu göstermektedir. Fakat loca genişliğinin 7 m olması durumunda da gerilme-deformasyon davranışlarında önemli bir değişiklik olmamaktadır. Bundan dolayı loca genişliği 7 m' e kadar düşünülebilir.



Şekil 4.47 Loca genişliğinin gerilme-deformasyon davranışına etkisi

Topografik koşullara bağlı olarak bölgede açılan kayadan oyma dopal depolar farklı örtü kalınlıklarına sahip olacak şekilde açılmaktadır. Optimum örtü kalınlığını belirlemek için 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 8 m ve 12 m'lik örtü kalınlıkları sayısal analizler yardımıyla incelenmiş ve gerilme-deformasyon davranışında meydana gelen değişimler Şekil 4.48'de verilmiştir. Buna göre;

Örtü kalınlığı 1 m iken 0,46 MPa olan gerilme ile 0,4 cm olan toplam deplasman, örtü kalınlığı 4 m oluncaya kadar yaklaşık aynı kaldığını göstermektedir. Örtü kalınlığı 12 m'e çıktığında gerilme 0,94 MPa'a, toplam deplasman ise 1,2 cm değerlerine hızlı bir şekilde çıkmaktadır. Fakat 4 m'e kadar olan örtü kalınlığının incelendiği sayısal modellemelerde bazı lokasyonlarda çekme gerilmeleri belirgin hale gelmekte olup örtü kalınlığının 4 m'den az olmaması önerilir.



Şekil 4.48 Örtü kalınlığının gerilme-deformasyon davranışına etkisi

5. BÖLÜM

SONUÇLAR

Nevşehir bölgesinde açılan doğal soğuk hava deposunun mühendislik jeolojisi açısından incelendiği bu çalışma ile aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

Çalışmaya konu oluşturan depo tamamen Ürgüp formasyonuna ait Kavak ignimbiritleri içerisinde açılmıştır. Çalışma alanındaki kavak ignimbiritlerinin ortalama birim hacim ağırlık değeri $15,07 \text{ kN/m}^3$ olup NBG sınıflamasına göre çok düşük birim hacim ağırlıklı kaya grubunda yer almaktadır. Çalışma alanındaki kavak ignimbiritlerinin ortalama görünür porozitesi % 25,53 olup NBG sınıflamasına göre çok yüksek poroziteli kayaç grubunda yer almaktadır. Yapılan tek eksenli deney sonuçlarına göre elde edilen değerler 4,23- 7,99 MPa arasında değişmekte olup Deere ve Miller sınıflamasına göre çok düşük dayanımlı kaya grubunda yer almaktadır.

Topografyanın eğimli oluşu ve locaların konumuna göre üzerlerindeki gerilme ve deformasyonların davranışları farklılık göstermektedir. Topografya düz iken en büyük gerilme ve deformasyonlar orta localar üzerinde meydana gelirken, mevcut yani eğimli topografya da örtü kalınlığının arttığı özellikle 10, 11, ve 12. localarda en yüksek değere ulaşmaktadır. Fakat son 13 ve 14. localarda devamında başka loca olmadığı için örtü kalınlığı daha da arttığı halde yanal devamlılıktan dolayı deformasyon azalmaktadır.

Topuk genişliklerinin gerilme-deformasyon açısından değişimi incelenirken 0,5 m, 1 m, 2 m, 3 m ve 4 metreler göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre 2 ile 4 metre arasında oluşan gerilme ve deformasyon değerleri büyük değişiklik göstermezken, topuk genişliğinin 2 m'den daha az olduğu durumlarda ani bir değişimin olduğu gözlenmiştir. 2 ile 4 metre arası topuk genişliğinin ideal olduğu sonucu ile, mevcut durumdaki 3 metre olan topuk genişliği homojen zemin koşullarında 2 metre olarak planlanabilir.

Örtü kalınlıkları gerilme-deformasyon davranışlarına olan etkileri incelenirken 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 8 m 12 metreler göz önünde bulundurulmuştur. Buna göre örtü kalınlığı 1 ile 4 metre arasında oluşan gerilme ve deformasyon değerleri büyük değişiklik göstermemektedir. 4 ile 12 metre arasında gerilme ve deformasyon değerlerinde lineer bir artış gözlenmektedir. Ancak 4 metreye kadar olan örtü kalınlıklarında loca

üzerlerindeki bazı lokasyonlarda özellikle orta bölümde önemli sayılabilecek çekme gerilmeleri belirgin hale gelmektedir. Bundan dolayı, eğer üzerine ekstra bir dış yük gelmeyecekse örtü kalınlığının 4 metreden az olmaması önerilir.

Loca genişlikleri açısından doğal kaya oyma depolar incelendiğinde 6 m, 7 m, 8 m, 9 m, 10 m ve 11 m'lik loca genişlikleri göz önünde bulundurulmuştur. 7 metreye kadar gerilme ve deplasman değerlerinin değişmediği görülmektedir. Ve buna göre mevcut durumda 6 metre olan genişlikler 7 metre olarak planlanabilir. Fakat 7 m'den daha geniş loca genişliklerinde ciddi değişimler görülmektedir.

Tüm bu sonuçlar değerlendirildiğinde mevcut durumda 3 metre olan topuk genişliği 2 metre ve mevcut durumda olan 6 metre olan loca genişliği de 7 metre olarak planlanabilir. Bu çalışma kapsamında teorik olarak ortaya konulan bu sonucun uygulanarak gerçek performansın belirlenmesi önerilir.

KAYNAKLAR

1. Kaygısız, H., “Kayseri Yöresindeki Yapıtaşlarının Fiziko-Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi”. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Y. Lisans Tezi, Maden Mühendisliği ABD, 75s, Adana, 2010.
2. Dirik, K., “Kapadokya Bölgesi’nin jeolojisi, jeomorfolojisi ve bunların bölgedeki medeniyetler üzerindeki etkisi” 1. Tıbbi Jeoloji Çalıştayı, 30 Ekim-1 Kasım, Ürgüp/ Nevşehir, 2009.
3. Boyraz, Z., Zeren, C., “Kavak ve Ortahisar (Nevşehir) kasabalarındaki doğal soğutmalı yer altı depoları” ZfWT Zeitschrift für die Welt der Türken Journal of World of Turks ZfWT. s:23-40. Vol.4, No: 1, 2012.
4. Karaçalı, İ., “Bahçe Ürünleri Muhafazası ve Pazarlaması” Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 494, İzmir, 1993.
5. Karaçalı, İ., “Bahçe Ürünlerinin Muhafazası ve Pazarlanması” Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 494, Bornova, s.486, İzmir, 2009.
6. Öztürk, T., “The potato storage in the volcanic tuff storages in Turkey” Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi Dergisi, 27 (2), 113-120, Tokat, 2010.
7. Yılmaz, I., “Engineering geologic factors in the design of a large underground structure in a tuff sequence in Cappadocia”, Engineering Geology, 40, 3-4, 235-241, (1995).
8. Ulusay, R., Aydan, Ö., Geniş, M., “Stability Assessment of Avanos Underground Congress Centre (Cappadocia, Turkey) in Soft Tuffs Through an Integrated Scheme of Rock Engineering Methods”, Springer-Verlag, s:1319-1320, Wien, 2013.
9. RocScience. RS². Toronto, Ontario: RocScience, Inc, 2018.
10. Aydar, E., Schmitt, A.K., Çubukçu, H.E., Akin, L., Ersoy, O., Şen, E., Duncan, R.A., Atici, G., Correlation of ignimbrites in the central Anatolian volcanic province using zircon and plagioclase ages and zircon compositions. Journal of Volcanology and Geothermal Research 213–214, 83–97, 2012.
11. Le Pennec, J.-L., Bourdier, J.-L., Froger, J.-L., Temel, A., Camus, G., Gourgaud, A., Neogene ignimbrites of the Nevşehir Plateau (Central Turkey), stratigraphy,

- distribution and source constraints. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 63, 59–87, 1994.
12. Atabey, E., “1/100000 ölçekli açın-sama nitelikli Türkiye jeoloji haritaları serisi”, MTA, Ankara, 1989.
 13. Atabey, E., Tarhan N., Yusuf oğlu H., ve Canpolat M., “Hacıbektaş, Gülşehir, Kalaba (Nevşehir)- Himmetdede (Kayseri) arasının jeolojisi”, MTA Rapor, No. 8523, s. 15-40, 1988 (yayımlanmamış).
 14. Seğmen, A., “Sulusaray Köyü (NEVŞEHİR) civarının Jeolojik ve Petrografik İncelemesi” Selçuk Üniversitesi, Lisans Tezi, Jeoloji Mühendisliği, S: 11-15, Konya, 2014.
 15. Aydın, N., “Orta Anadolu masifinin Gümüşkent Batısı (Nevşehir) dolayında jeolojik petrografik incelemeler”, A.Ü Fen ve Müh. Fak. Doktora tezi, Ankara, 1984 (yayımlanmamış).
 16. Demircioğlu, R., “Gülşehir-Özkonak (Nevşehir) Çevresinde Kırşehir Masifi Ve Örtü Birimlerinin Jeolojisi Ve Yapısal Özellikleri” . Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, Jeoloji Mühendisliği, s:89, Konya, 2014
 17. Pasquare, G., “Geology of the Cenozoic volcanic area of the Central Anatolia” *Atti Accad. Naz. Lincei*, 9, s. 53-204, 1968.
 18. Dönmez, M., Türkecan, A. ve Akçay, A.E., “Kayseri-Niğde-Nevşehir Yöresi Tersiyer Volkanitler”, MTA Derleme Rapor, No: 10575, s. 35, 2003.
 19. Innocenti, F., Mazzuoli, R., Pasquare, G., Radicati Di Brozolo ve F., “The Neogene calcalkaline volcanism of Central Anatolia”, geochronological data on Kayseri-Niğde area. *Geological Magazine*, 112 (4), s. 349-360, 1975.
 20. Temel, A., “Kapadokya eksplozif volkanizmasının petrolojik ve jeokimyasal özellikleri”, Doktora Tezi, H.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, s. 8-192, Ankara, 1992.
 21. Schumacher, R., Mues, U., ve Koberski, U., “Petrographical and geochemical aspect and K/Ar dating of ignimbrites in Cappadocia”, Turkey. Abstracts of the 6th Congress of the Geol. Soc. Athens, 145 (4), s. 265-280, 1992.
 22. Druitt, T.H., Brenchley, P.J., Gökten, Y.E., Francaviglia, V., Late Quaternary rhyolitic eruptions from the Acıgöl complex, central Turkey”, *J. Geol. Soc.*,

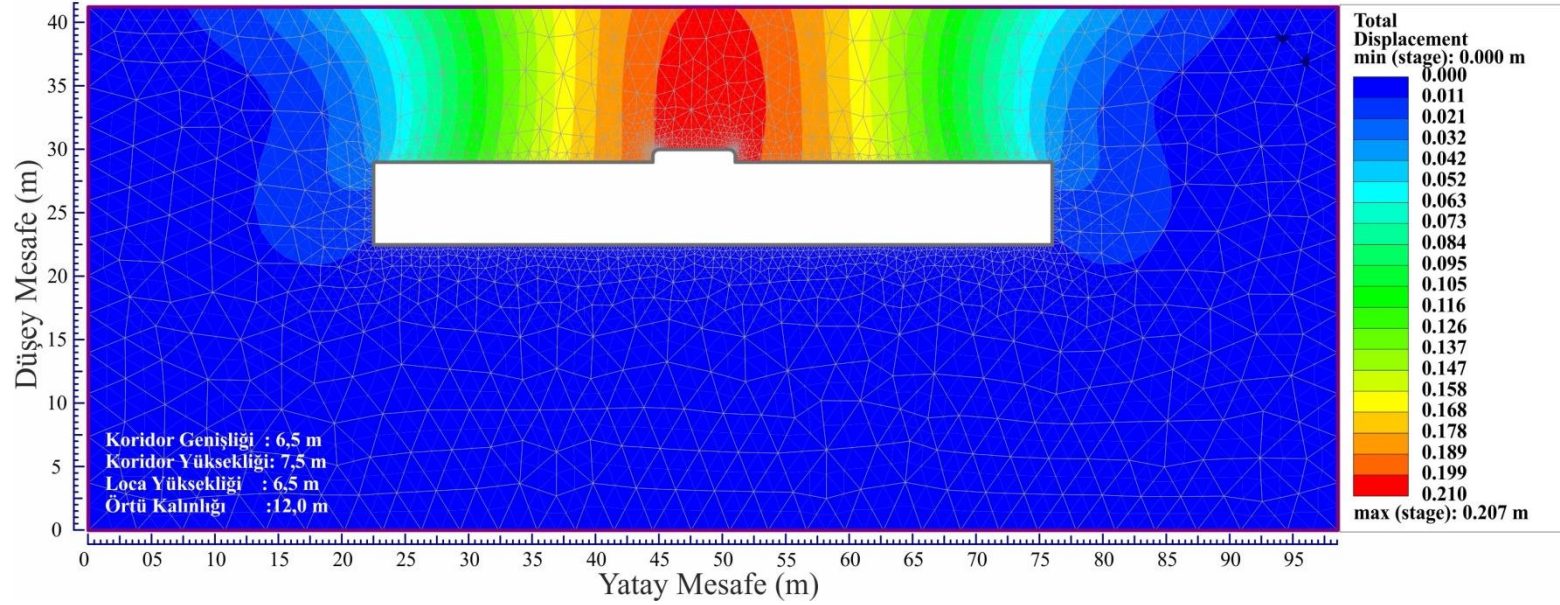
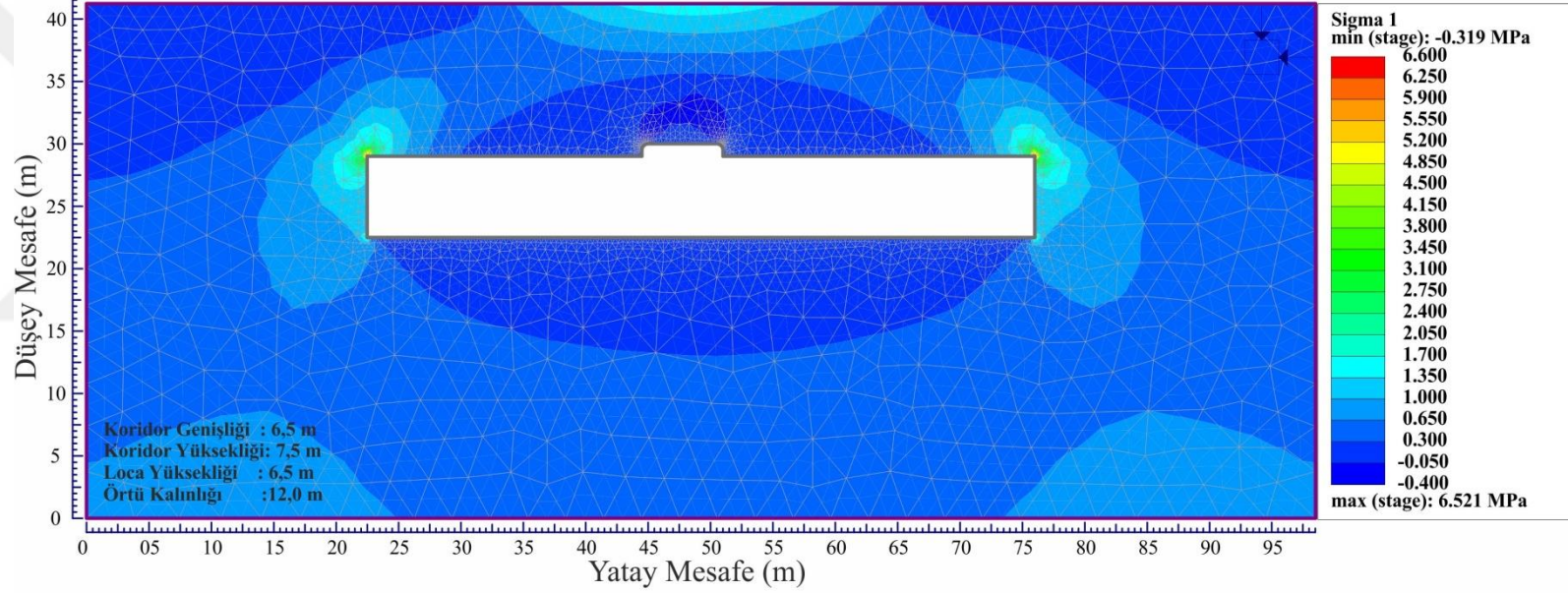
London 152, s. 655-667, 1995.

23. Toprak ve Göncüoğlu MC “Tectonic control on the development of Neogene-quaternary central Anatolian volcanic province, Turkey”, Geol J 28:357–369, 1993.
24. Toprak Ve Keller J, Schumacher R., “Volcano-tectonic features of the Cappadocian Volcanic Province”, In: International volcanological congress-IAVCEI, Excursion Guide, Ankara, (1994).
25. Aydan, Ö., “Seismic characteristics and the occurrence pattern of Turkish earthquakes”, Turkish Earthquake Foundation Report No. TDV/TR 97–007, Istanbul, 1997.
26. Aydan, Ö., Ulusay, R., Geotechnical and environmental characteristics of man-made underground structures in Cappadocia, Turkey. Eng Geol 69(3/4):245–272, 2003.
27. Aydan, Ö., Ulusay R., “Geomechanical evaluation of Derinkuyu antique underground city and its implications in geoengineering”, Rock Mech Rock Eng 46:731–754, 2013.
28. AFAD 2018 Türkiye deprem tehlikesi haritası
29. İnternet: “1900-2019 yılları arası çalışma alanı civarında gözlenen depremler” (<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/zeqdb/>)
30. Yer-Su & Tuğra Planlama Mühendislik, “Nevşehir ili, Merkez ilçe, Nar kasabası, Hüyük mevki, K33.d.09.b.3.c - K33.d.09.b.3.d - K33.d.09.c.2.a - K33.d.09.c.2.b PAFTA, 5640 - 5641 - 5642 - 5643 - 5644 - 5645 - 5646 - 5647 - 5648 - 5649 - 5650 - 5802 - 5808 - 5850 - 5851 - 5852 - 5853 - 5854 - 5855 - 5856 - 5857 - 5858 - 5860 - 5865 - 5866 - 5867 - 5885 - 5886 - 5887 - 5888 - 5889 - 5959 - 7918 - 8848 Parsellere ait mevzi imar planına esas jeolojik – Jeoteknik etüt raporu”, s: 32-35, Nevşehir, 2013.
31. NBG, “Norwegian Rock Mechanics Group: Handbook in engineering geology rock”, Tapir, Trondheim, Norway, 1985.
32. Deere, D. U., Miller, R. P., “Engineering classification and index properties of intact rock”, Technical Report No: AFNL-TR-65-116, Kirtland Air Force Base Weapons Laboratory, New Mexico, 1966.

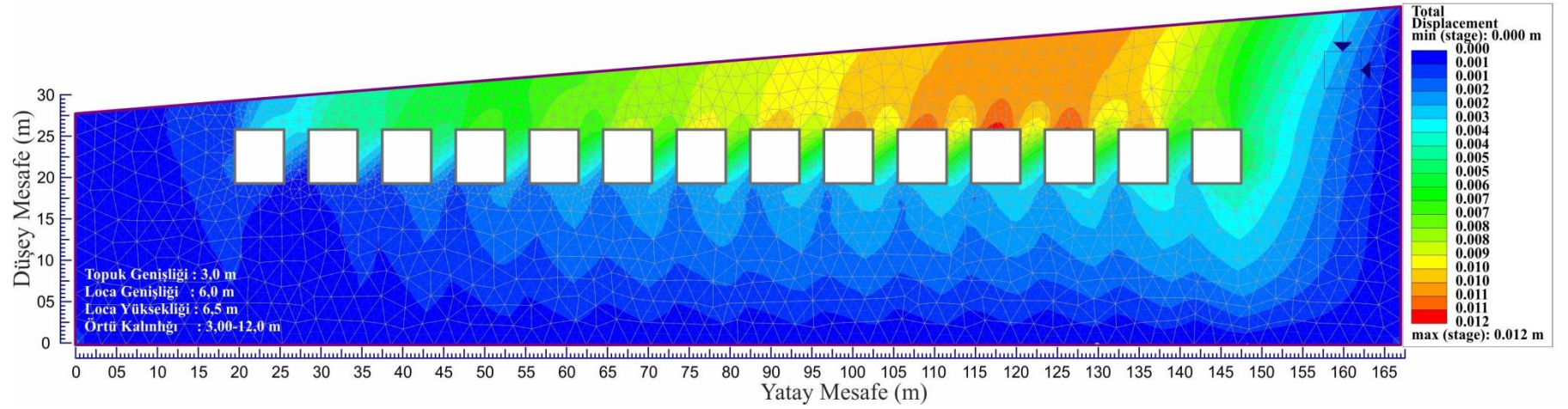
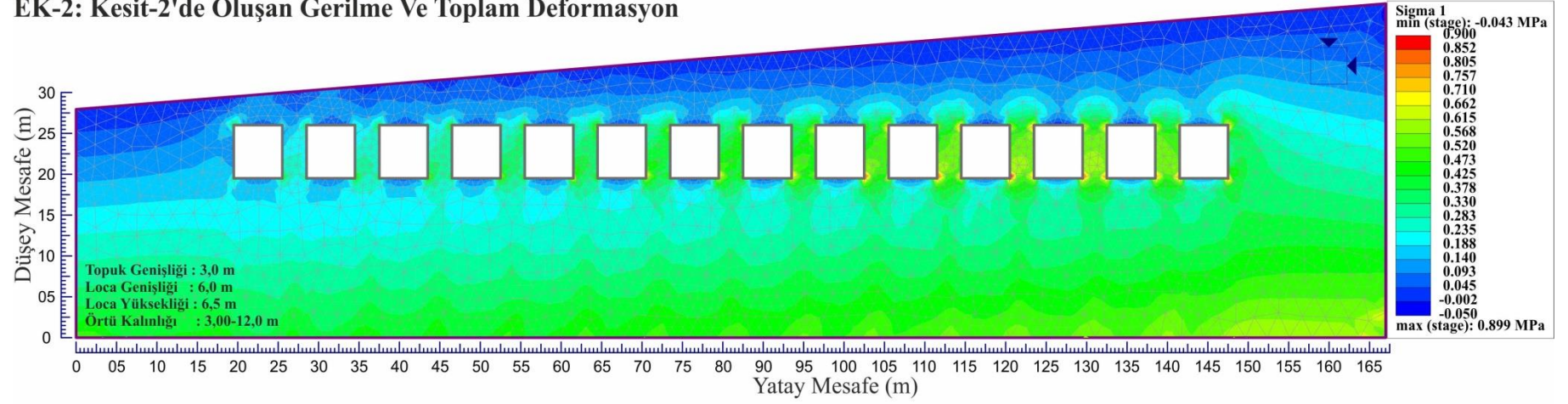


EKLER

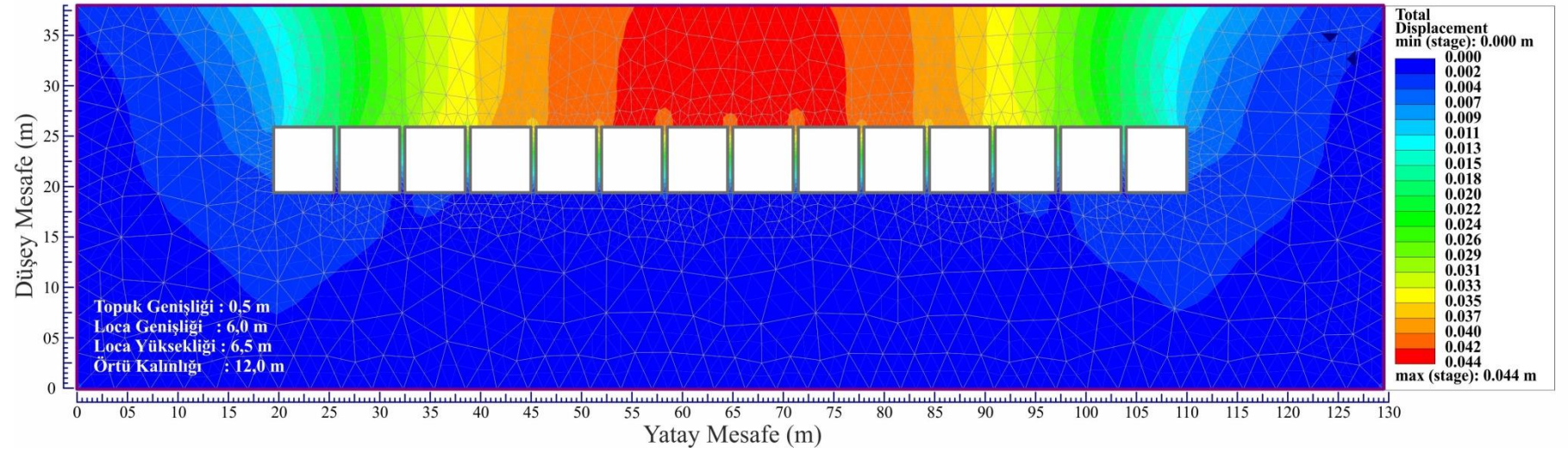
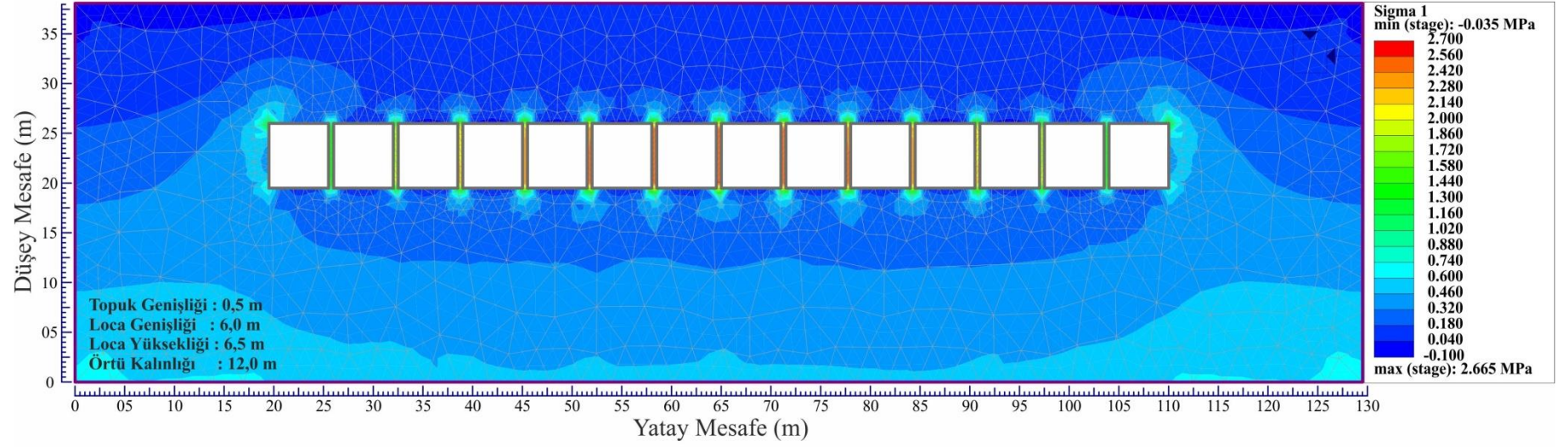
EK-1: Kesit-1'de Oluşan Gerilme ve Toplam Deformasyon



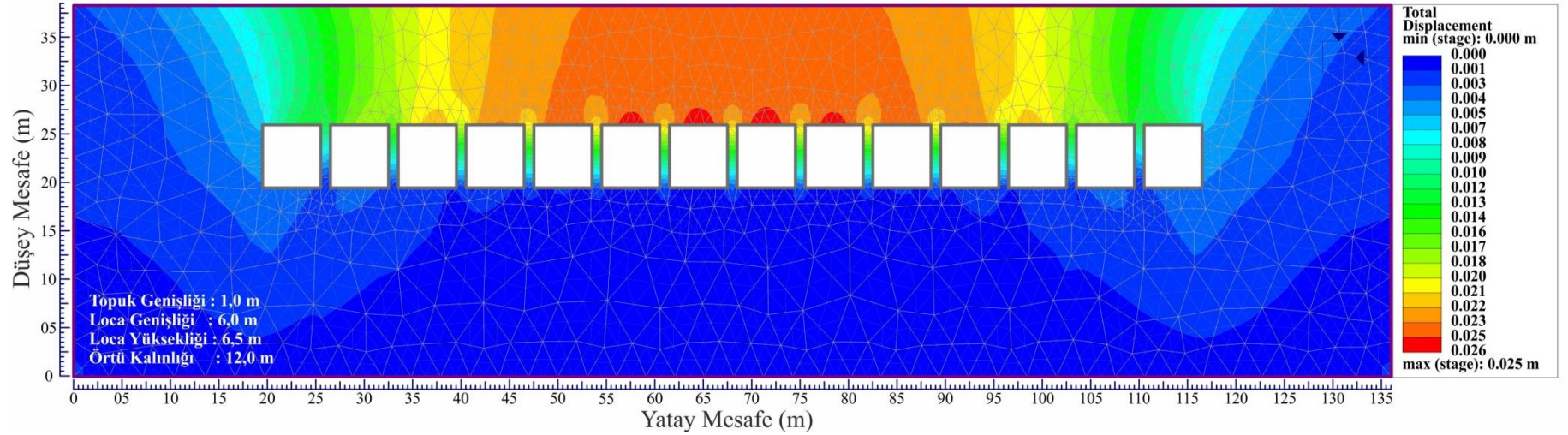
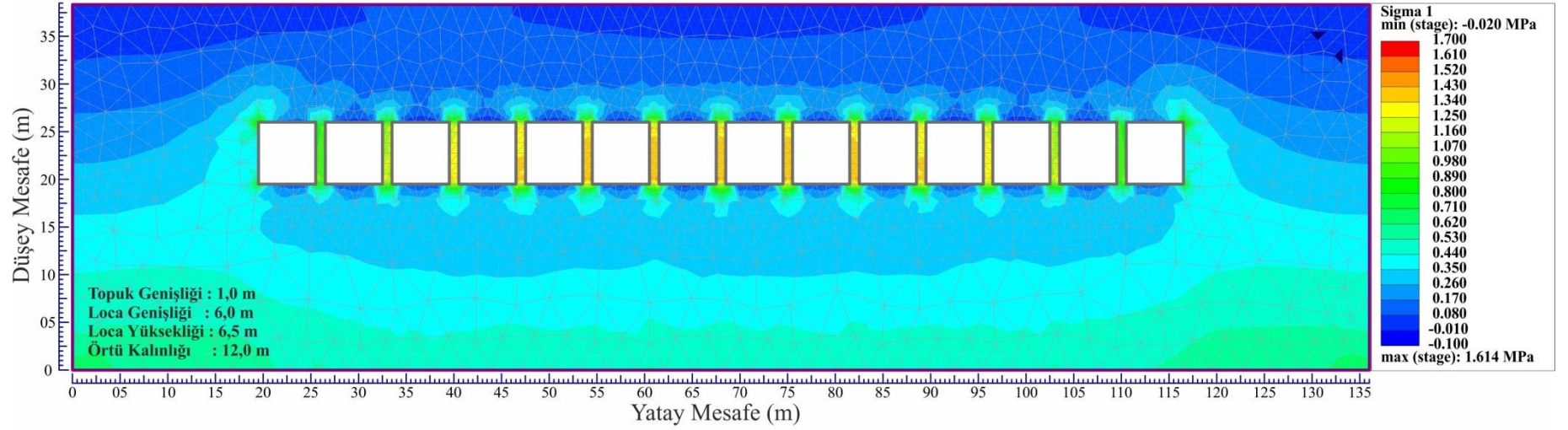
EK-2: Kesit-2'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



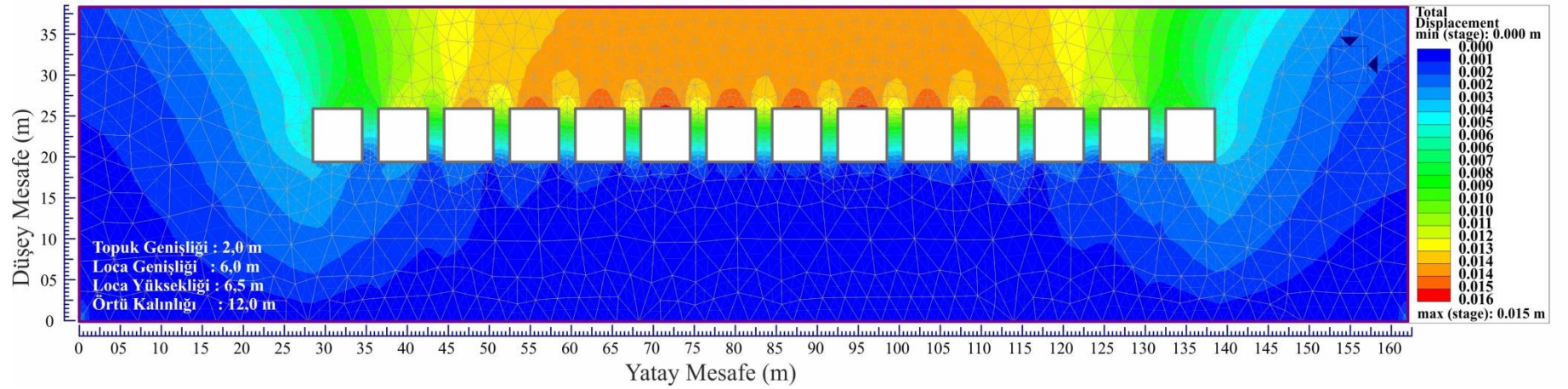
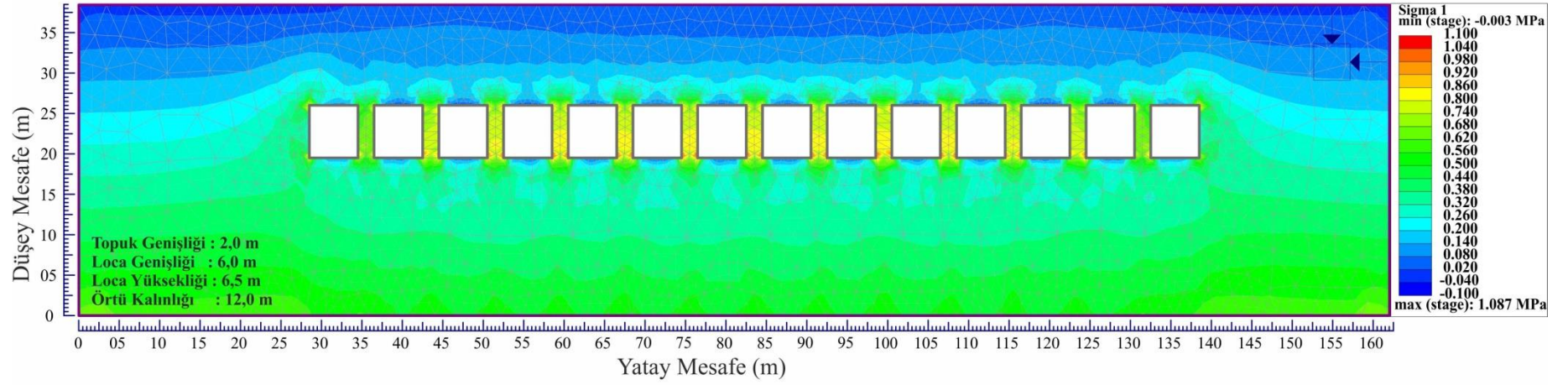
EK-3: Model-1'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



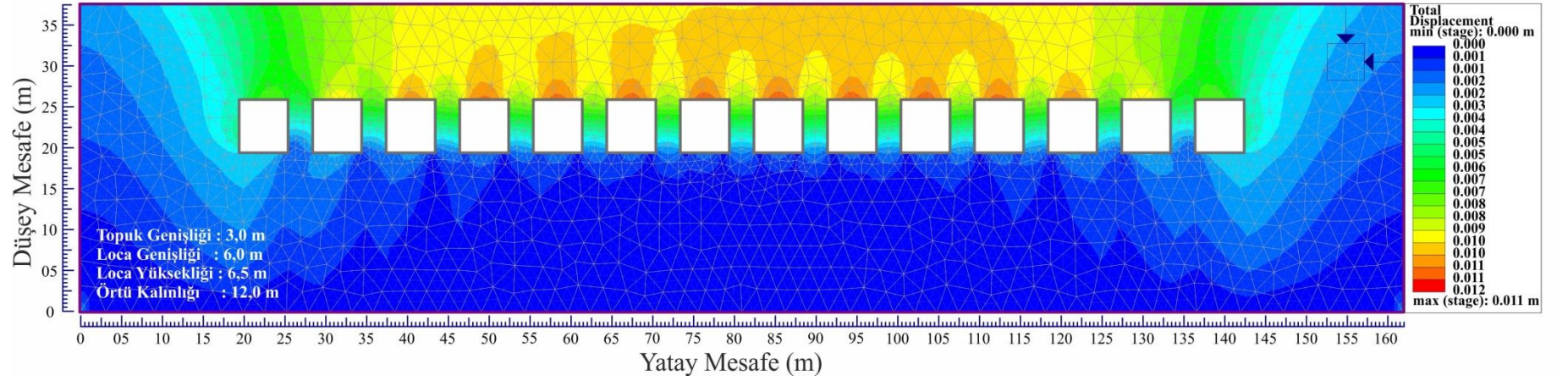
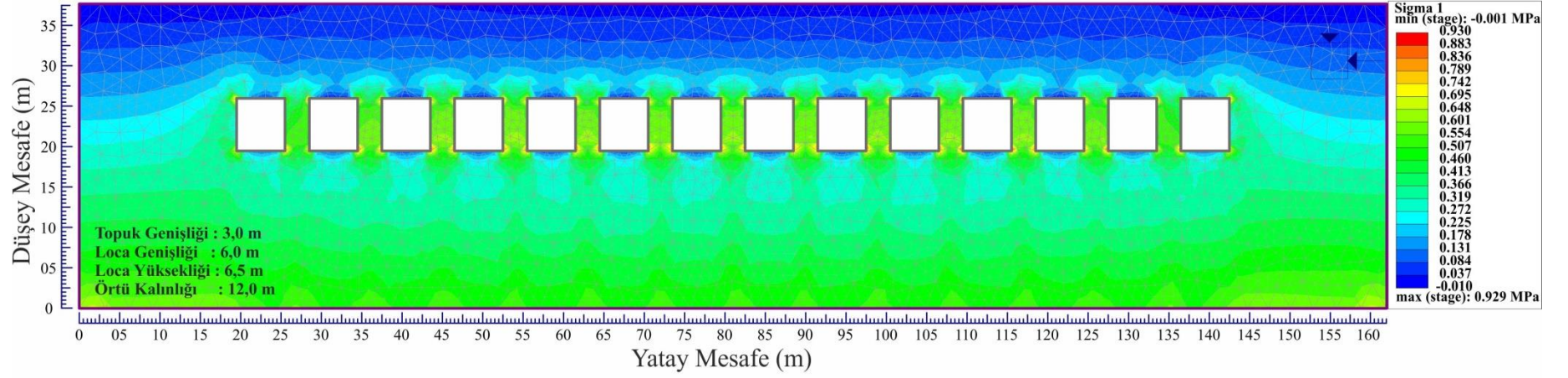
EK-4: Model-2'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



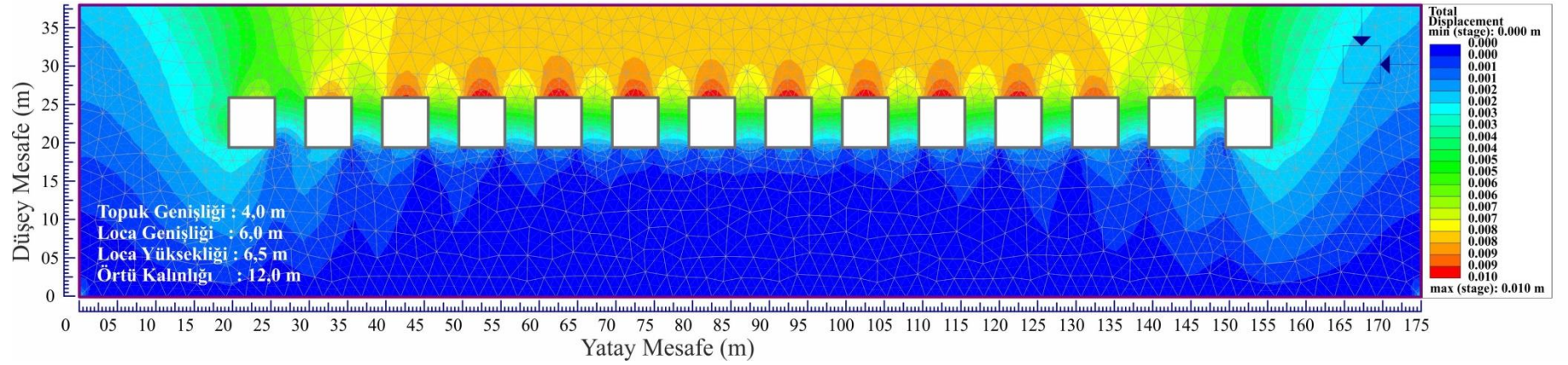
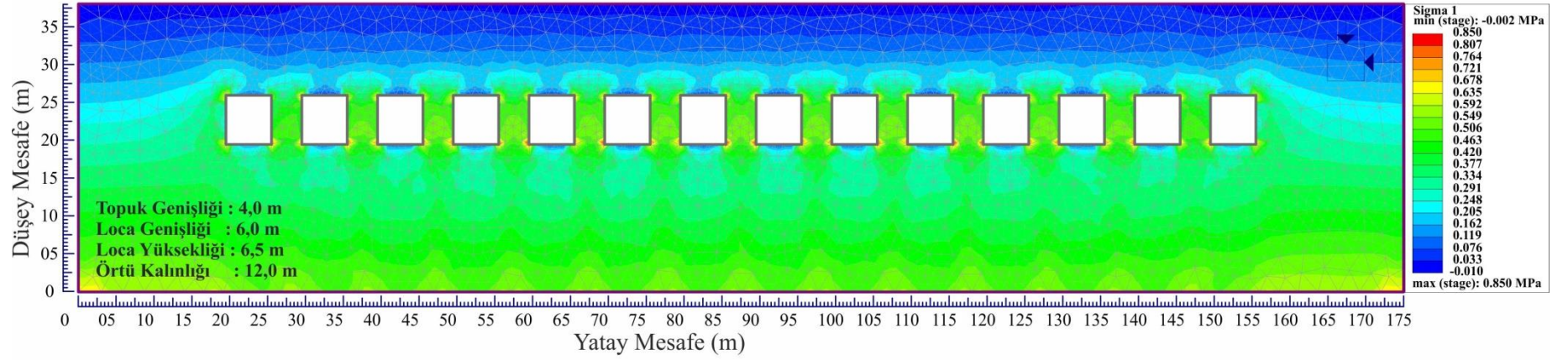
EK-5: Model-3'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



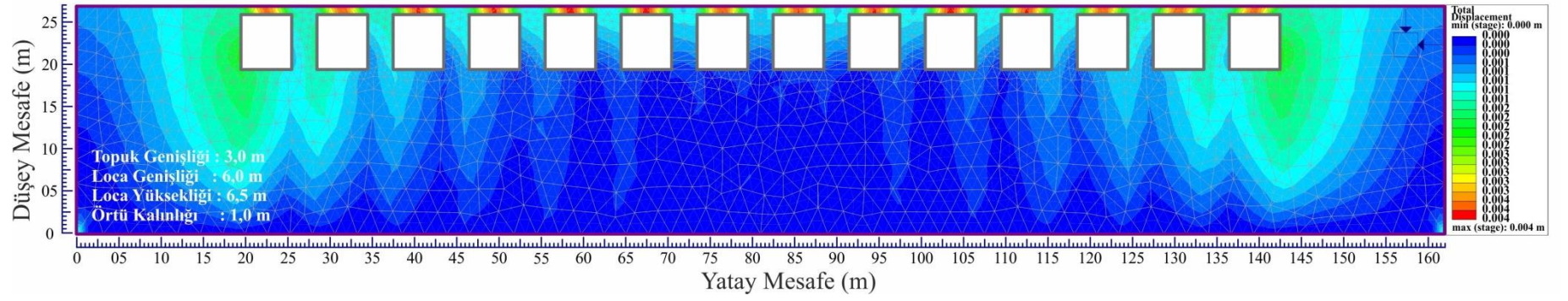
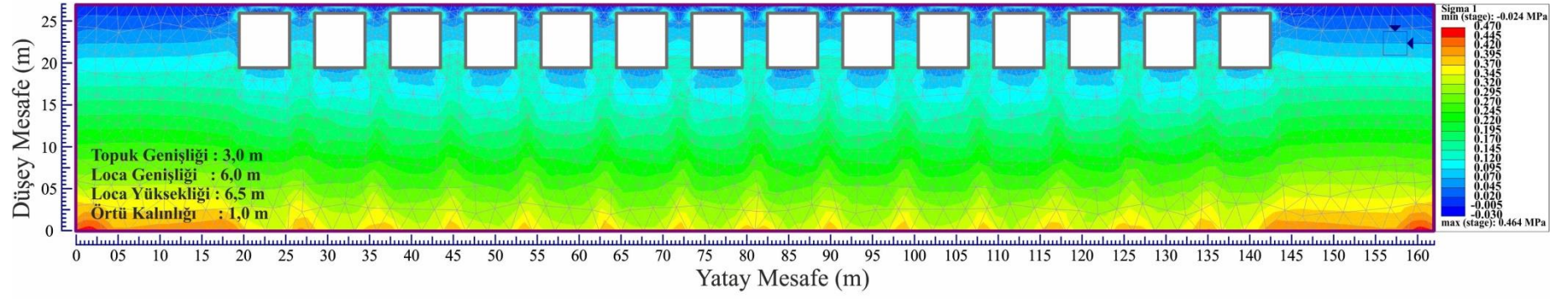
EK-6: Model-4'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



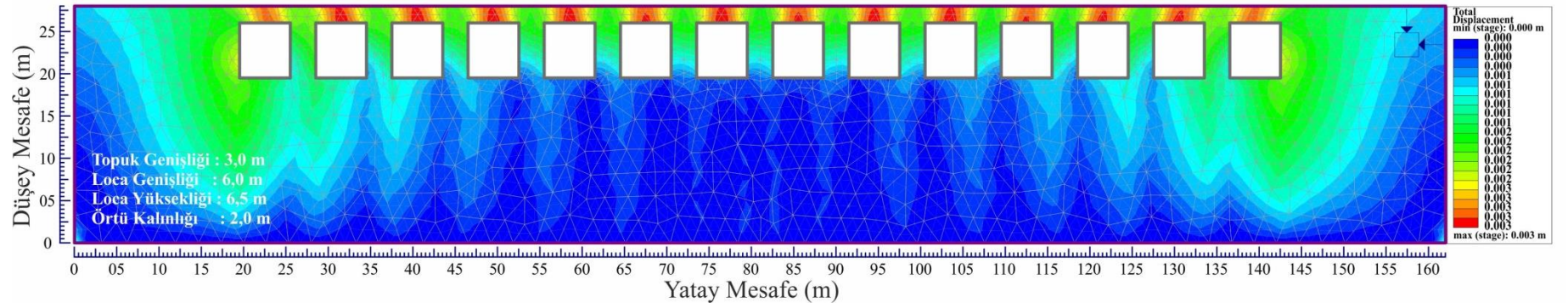
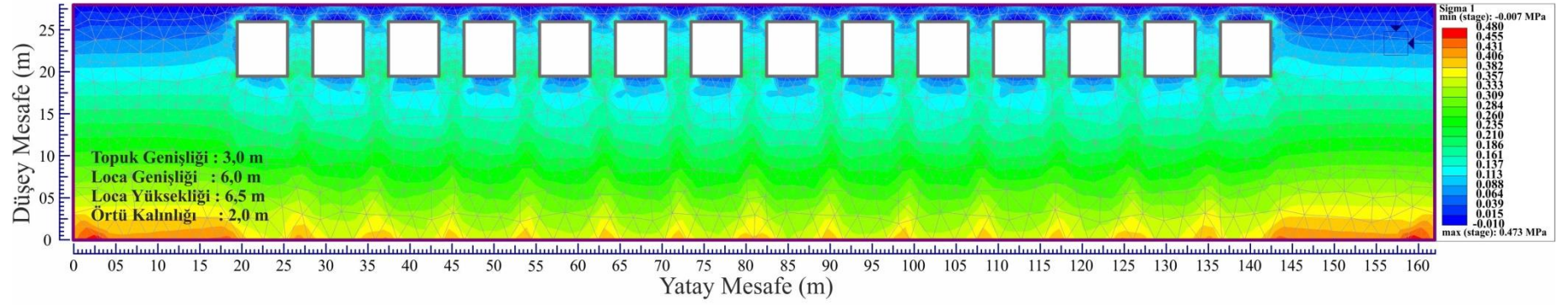
EK-7: Model-5'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



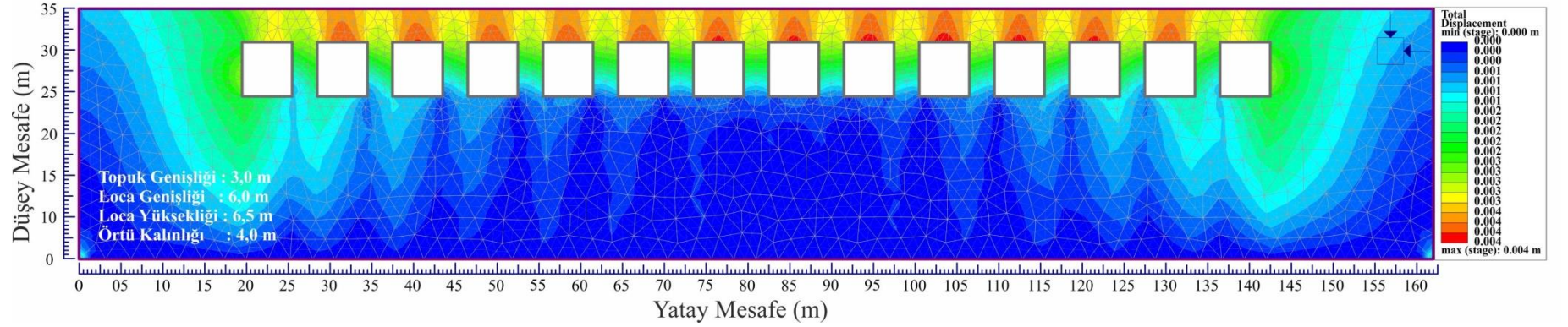
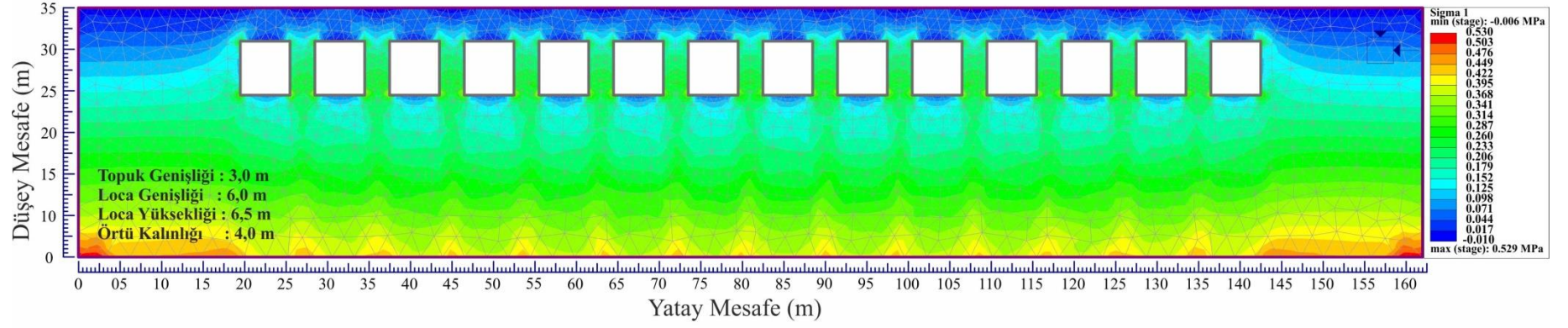
EK-8: Model-6'da Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



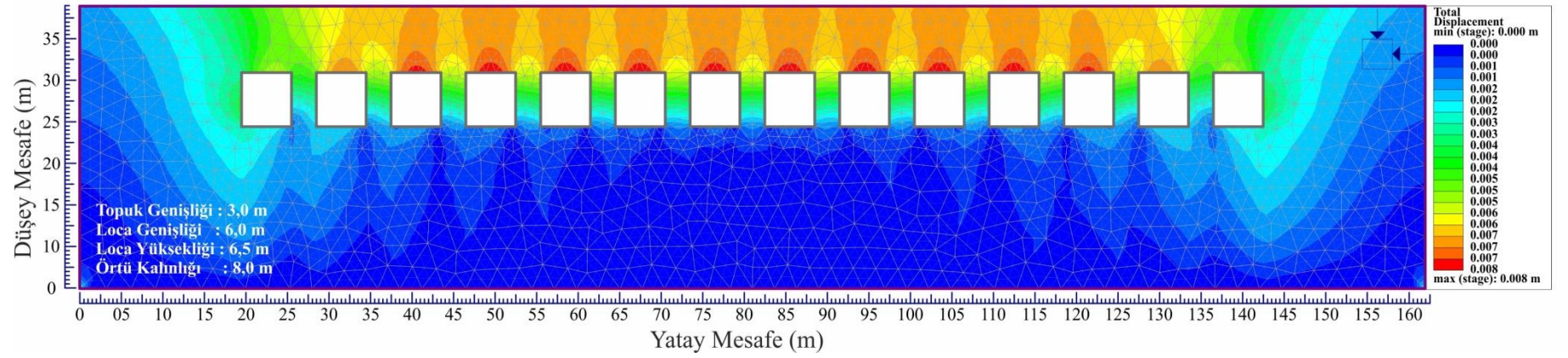
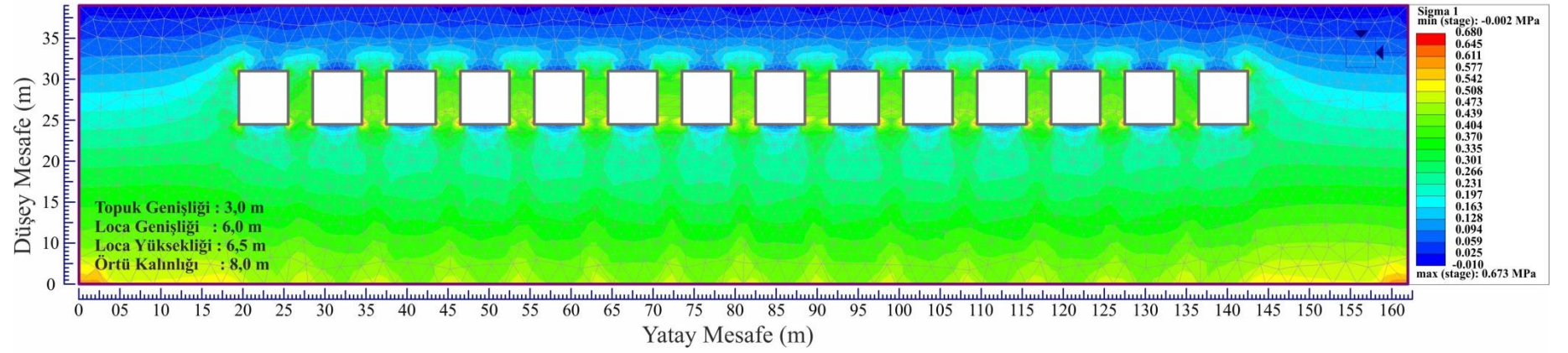
EK-9: Model-7'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



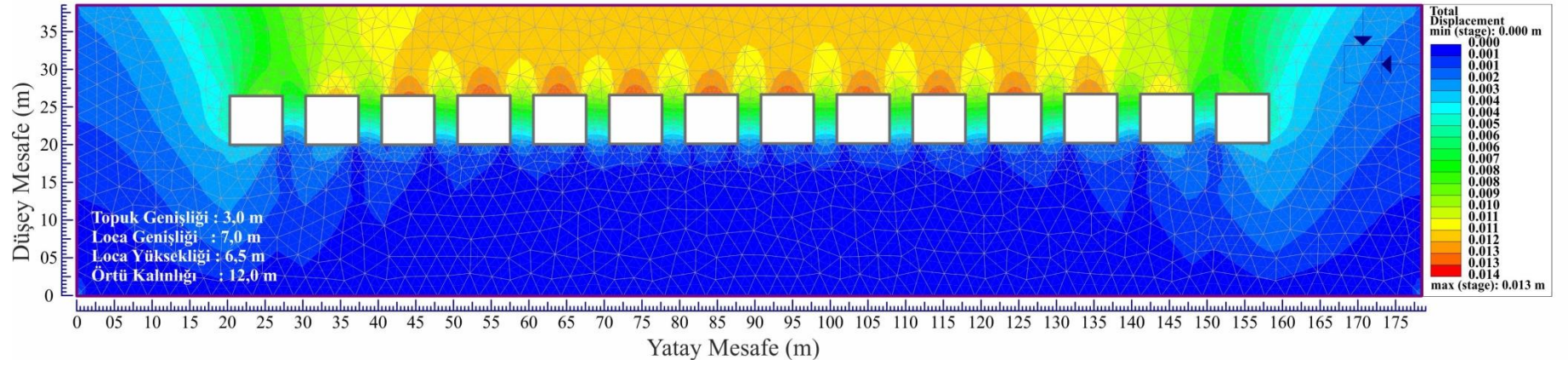
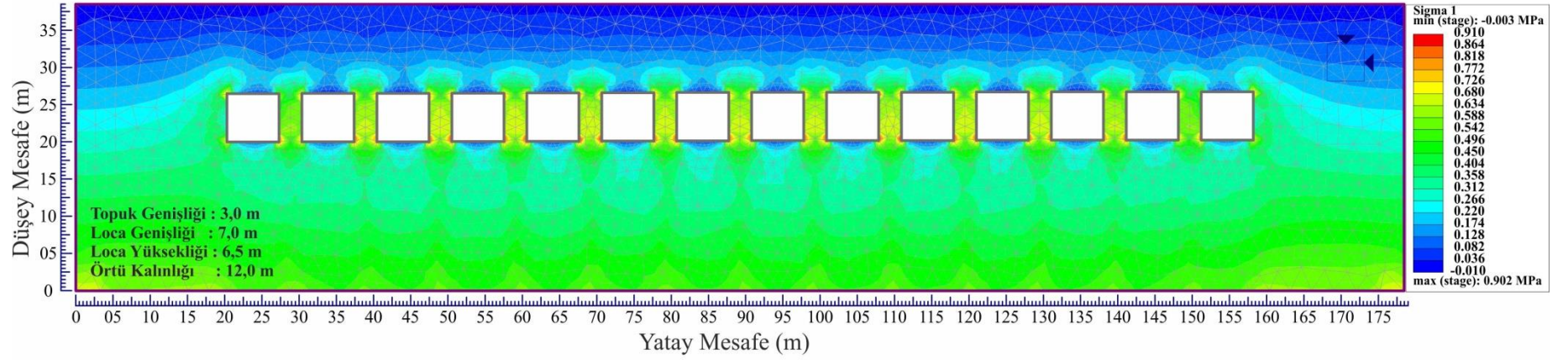
EK-11: Model-9'da Oluşan Gerilme ve Toplam Deformasyon



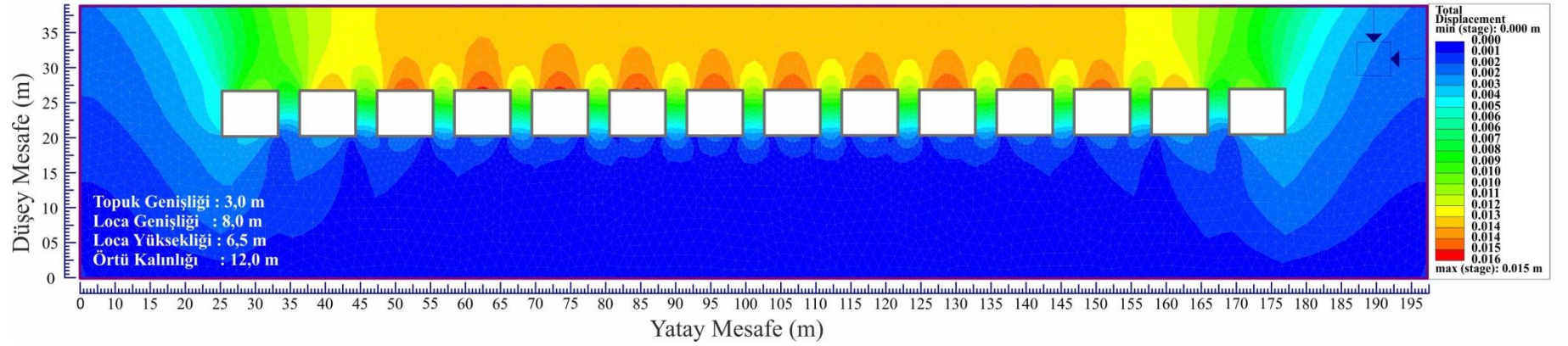
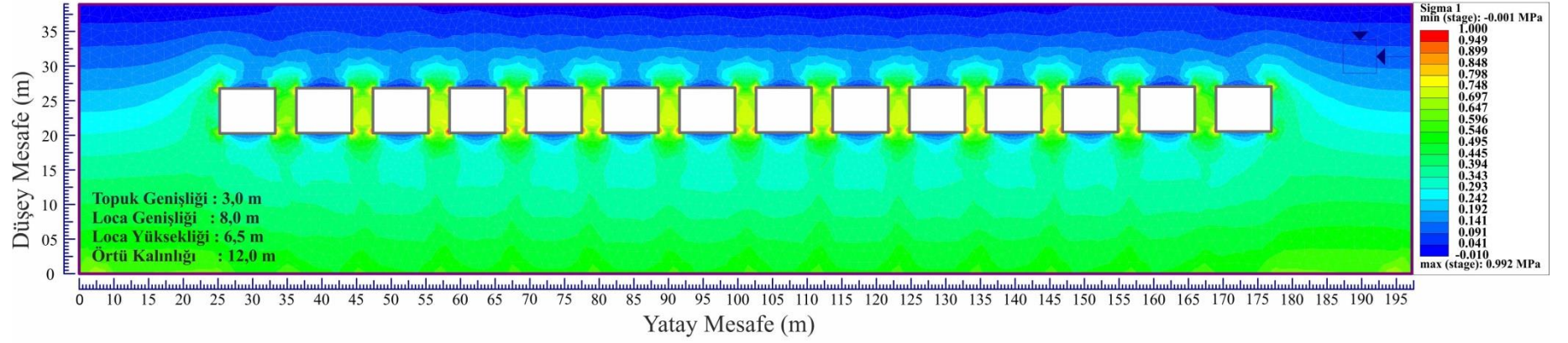
EK-12: Model-10'da Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



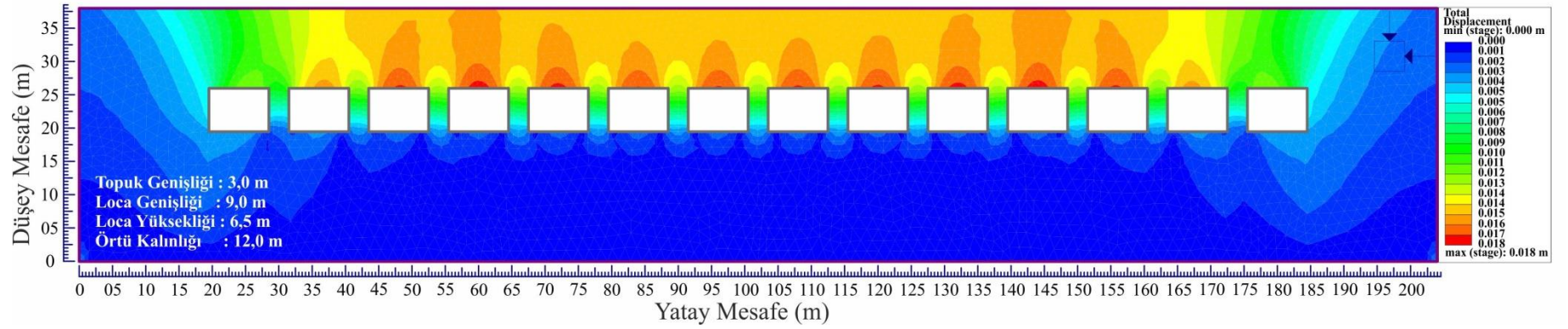
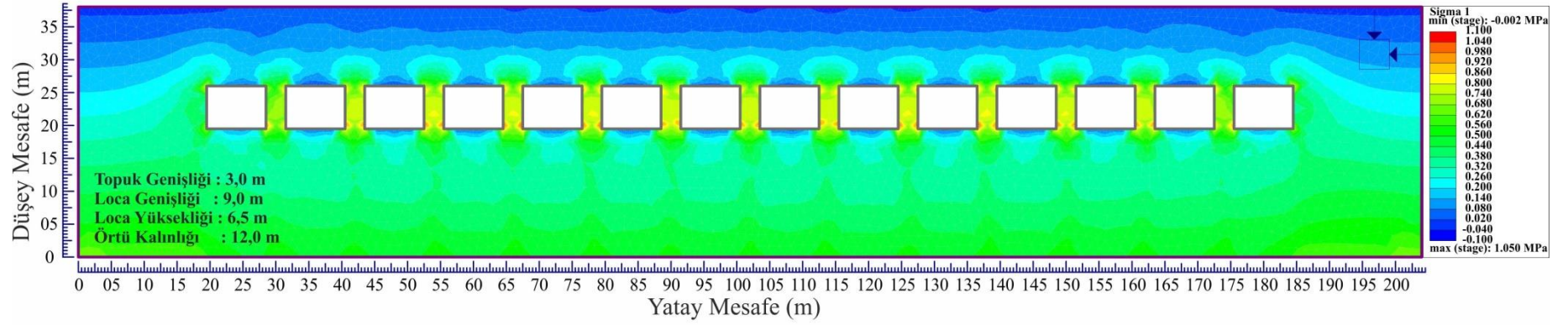
EK-13: Model-11'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deplasman



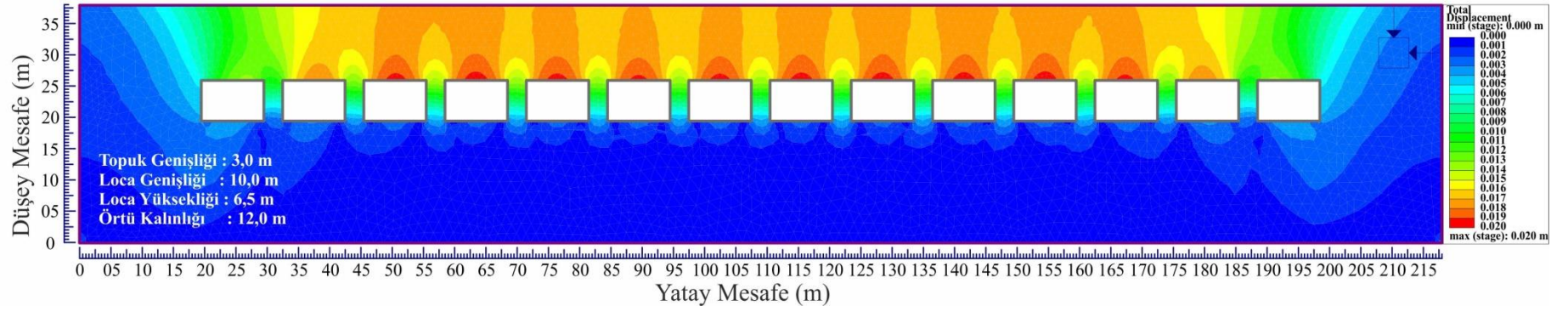
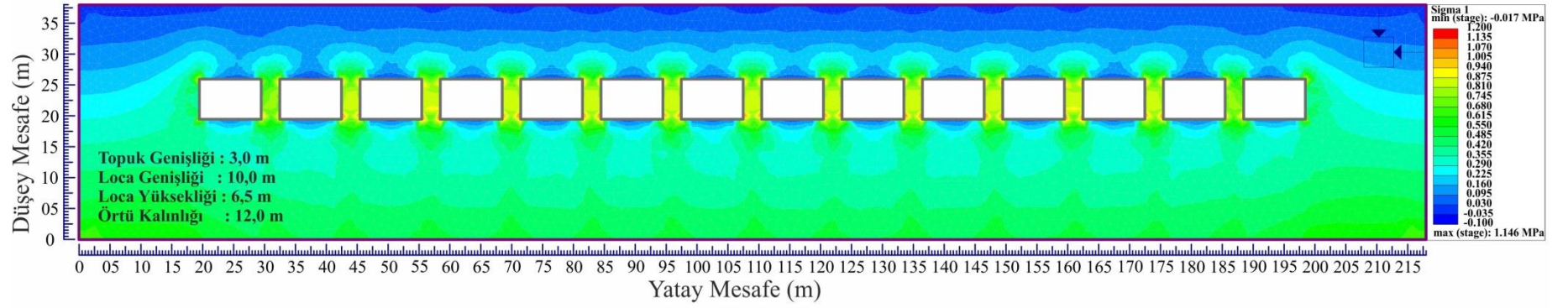
EK-14: Model-12'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



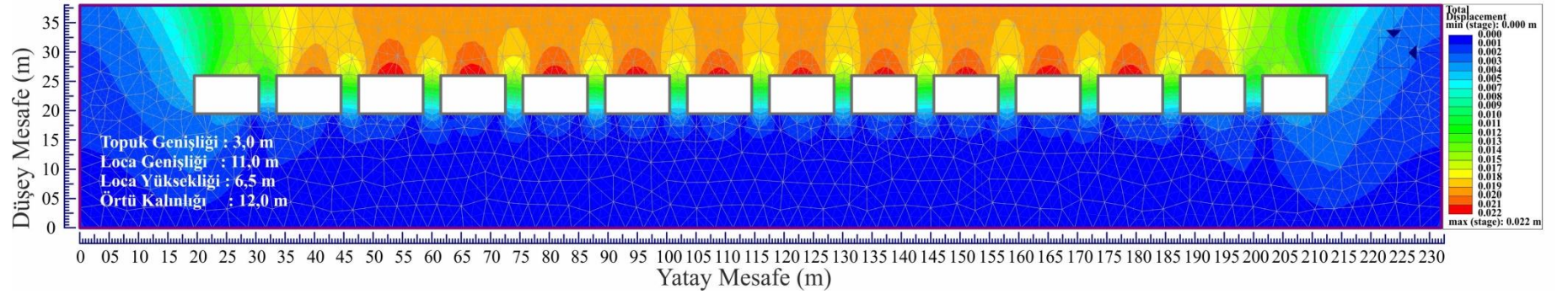
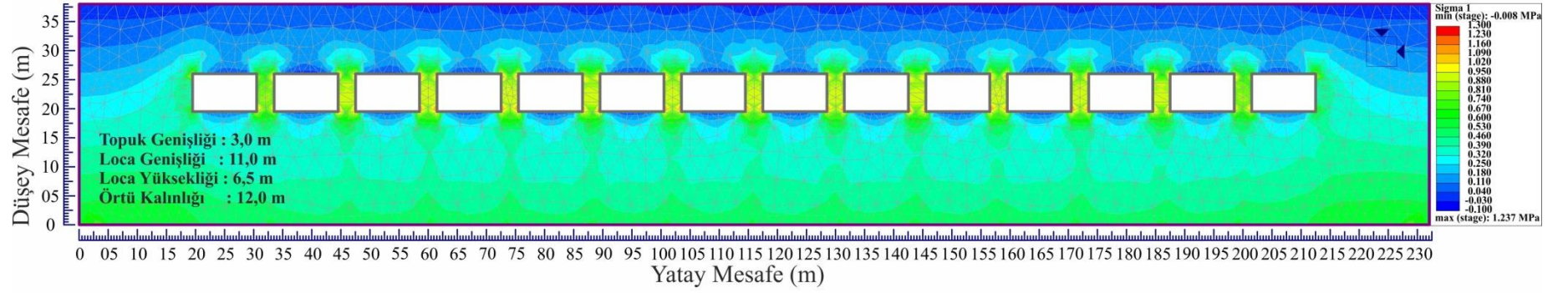
EK-15: Model-13'de Oluşan Gerilme ve Toplam Deformasyon



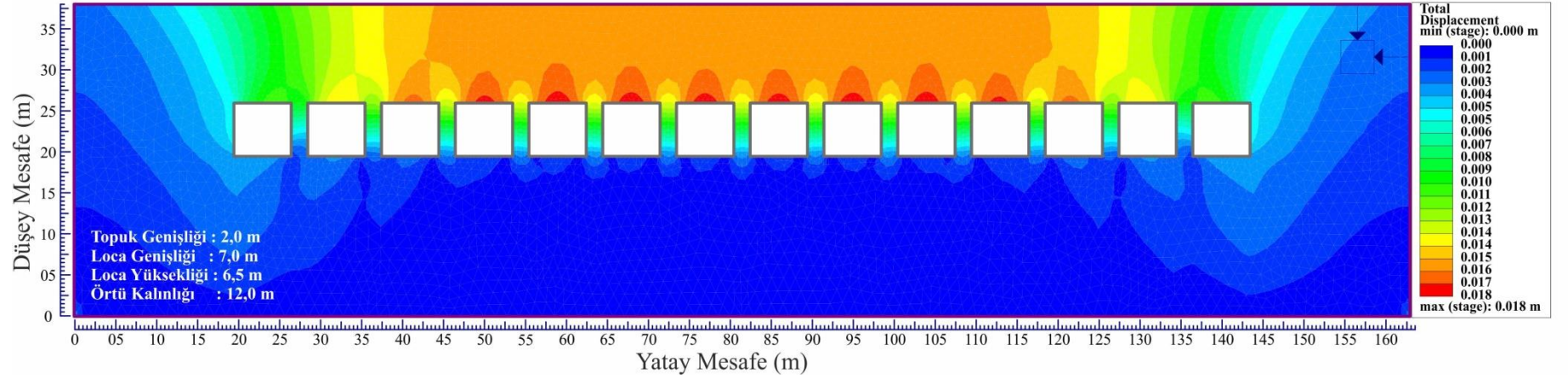
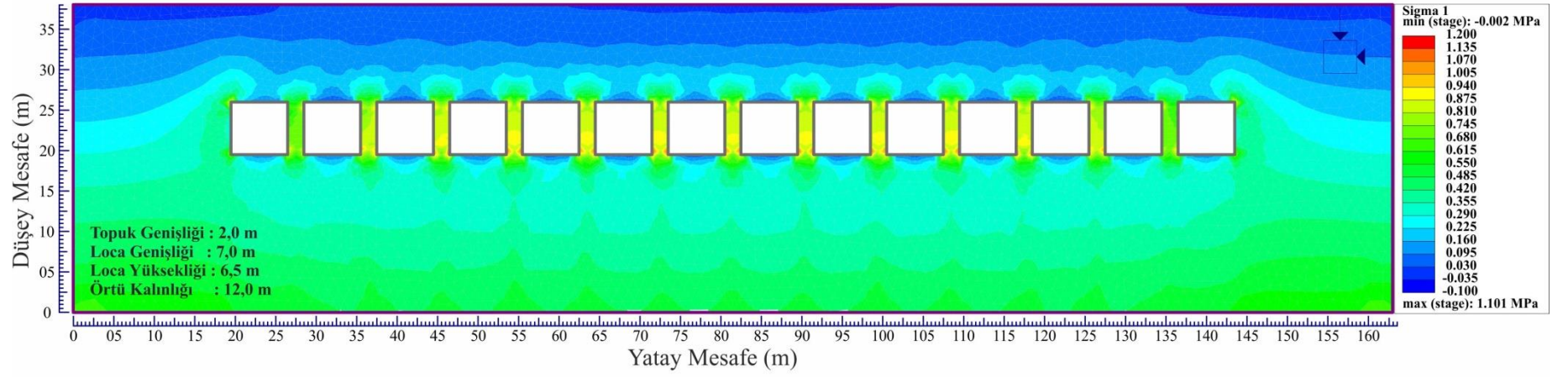
EK-16: Model-14'de Oluşan Gerilme ve Toplam Deformasyon



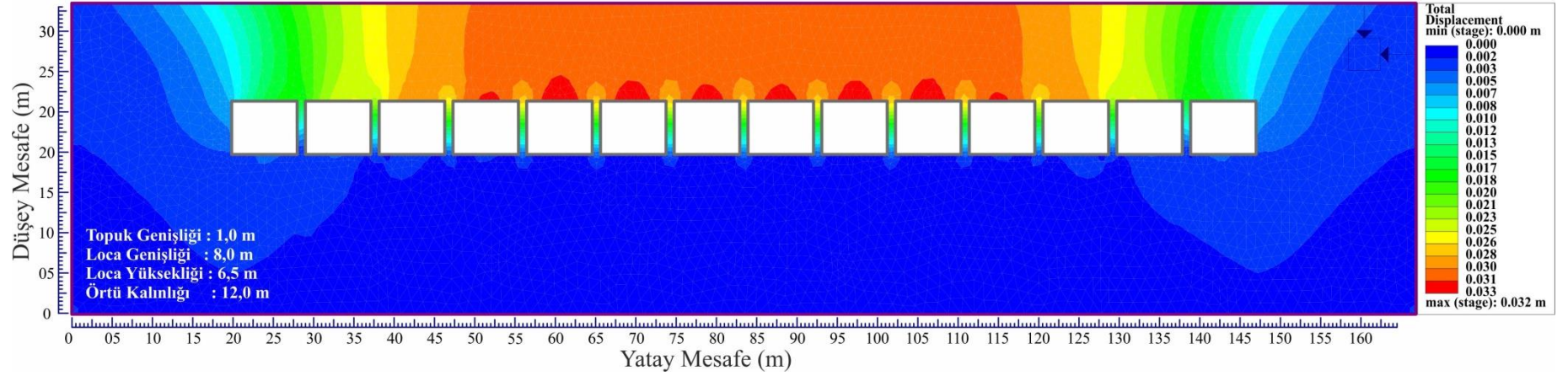
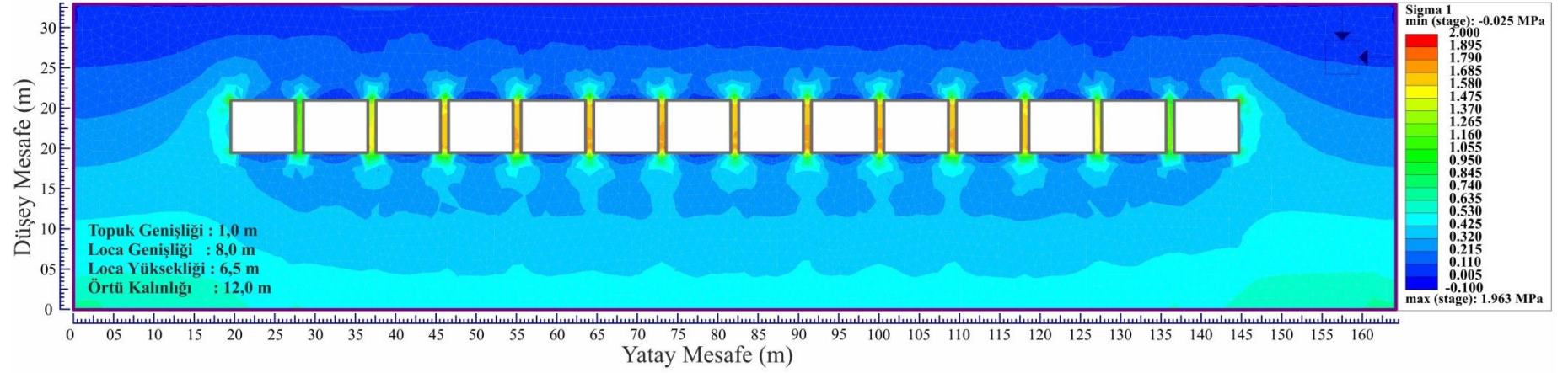
EK-17: Model-15'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



EK-18: Model-16'da Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



EK-19: Model-17'de Oluşan Gerilme Ve Toplam Deformasyon



ÖZGEÇMİŞ

Can DURU, 1991 yılında Kayseri’de doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Nevşehir/Avanos’ da tamamladı. 2010 yılında Selçuk Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2014 yılında mezun olduktan hemen sonra askerlik görevini tamamladı. 2015 yılında yüksek lisans eğitime başladı. 2016 yılından itibaren Maden Tetkik Ve Arama Genel Müdürlüğüne bağlı özel bir firmada çalışmaktadır.

Telefon: 0(554) 920 31 06

E posta: can.duru@hotmail.com

