

**İKİZ TÜNELLERDE DERİNLİĞİN, TÜNELLER ARASI
MESAFENİN VE KAZI AŞAMALARININ YÜZEY
OTURMALARINA ETKİLERİNİN
İNCELENMESİ**

**INVESTIGATION OF EFFECTS OF DISTANCE BETWEEN
TUNNELS, DEPTH AND EXCAVATION STAGES ON
SURFACE SETTLEMENT IN TWIN TUNNELS**

ABDULKADİR KÖSEOĞLU

Prof. Dr. YILMAZ ÖZÇELİK

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Maden Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ
olarak hazırlanmıştır.

2018

ABDULKADİR KÖSEOĞLU'un hazırladığı "İkiz Tünellerde Derinliğin, Tüneller Arası Mesafenin ve Kazı Aşamalarının Yüzey Oturmalarına Etkilerinin İncelenmesi" adlı bu çalışma aşağıda ismi geçen jüri tarafından MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

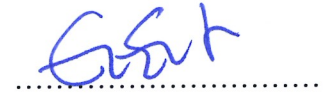
Prof. Dr. Harun SÖNMEZ
Başkan



Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK
Danışman



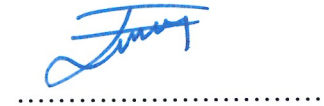
Dr. Öğr. Üyesi Güneş ERTUNÇ
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Ediz Sadık KANBİR
Üye



Dr. Öğr. Üyesi Emre YILMAZKAYA
Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

YAYINLAMA VE FİKRİ MÜLKİYET HAKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe Üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

- Tezimin/Raporumun tamamı dünya çapında erişime açılabilir ve bir kısmı veya tamamının fotokopisi alınabilir.**

(Bu seçenekle teziniz arama motorlarında indekslenebilecek, daha sonra tezinizin erişim statüsünün değiştirilmesini talep etmeniz ve kütüphane bu talebinizi yerine getirse bile, tezinin arama motorlarının önbelleklerinde kalmaya devam edebilecektir.)

- Tezimin/Raporumun 22.06.2020 tarihine kadar erişime açılmasını ve fotokopi alınmasını (İç Kapak, Özet, İçindekiler ve Kaynakça hariç) istemiyorum.**

(Bu sürenin sonunda uzatma için başvuruda bulunmadığım takdirde, tezimin/raporumun tamamı her yerden erişime açılabilir, kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı ve ya tamamının fotokopisi alınabilir)

- Tezimin/Raporumun tarihine kadar erişime açılmasını istemiyorum, ancak kaynak gösterilmek şartıyla bir kısmı veya tamamının fotokopisinin alınmasını onaylıyorum.**

- Serbest Seçenek/Yazarın Seçimi**

22/06/2018



ABDULKADİR KÖSEOĞLU

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserler bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum tüm eserleri kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- ve tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı,

beyan ederim.

22/06/2018

ABDULKADİR KÖSEOĞLU

ÖZET

İKİZ TÜNELLERDE DERİNLİĞİN, TÜNELLER ARASI MESAFENİN VE KAZI AŞAMALARININ YÜZEY OTURMALARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

ABDULKADİR KÖSEOĞLU

Yüksek Lisans, Maden Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK

Haziran 2018, 58 Sayfa

Son yıllarda şehir içi raylı sistem hizmetlerinin yer altına taşınması ile birlikte, karayolu ağının da bilhassa araç yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde yer altına alınması çalışmaları yürütülmektedir. Şehirlerde ulaşım ağının yer altına taşınması bir çok avantajı barındırırken, yüzey oturması gibi yer üstü yapılaşmasını büyük ölçüde etkileyebilecek bir konuyu da beraberinde getirmektedir.

Yakın bir gelecekte farklı alt yapı hizmeti sunan tünel yapılarının yan yana inşa edilmesi gerekliliği ortaya çıkabilecektir. Bu durum yüzey oturması hususunu daha da kritik bir konu haline getirecektir. Bu nedenle bu çalışmada; yan yana inşa edilebilecek, Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ile açılan geniş açıklıklı iki adet tünelin, tünellerin üzerinde halihazırda var olan iki adet binada (Bina A – Bina B) oluşabilecek yüzey oturmalarına etkisinin, tüneller arası açıklık (1D, 2D, 3D), tünellerin derinliği (1H, 2H, 3H ve 5H) ve kazı etabı sayısı (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 aşamada) gibi parametreler göz önüne alınarak 2 boyutlu sayısal modelleme programı (Phase2) kullanılarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Yapılan çalışma sonucunda; modellemede incelenen tünel derinliklerinin (1H...5H) artması ile birlikte binalarda oluşabilecek oturma miktarının arttığı, diğer taraftan tüneller arası mesafenin (1D...3D) artışıyla birlikte binalarda oluşabilecek oturma miktarında azalma meydana geldiği, farklı derinlik ve mesafede inşa edilecek tünellerde kazı etabı

sayısının 2'den 9'a kadar yükseltilmesi neticesinde ise, 4. etaba kadar olan kısımda olası oturmaların miktarında azalma olduğu ancak 5. etaptan itibaren oturma miktarında yeniden artış meydana geldiği ve son 3 etapta etaplara arasında oturma miktarına ilişkin ciddi bir farklılık olmadığı belirlenmiştir. Ayrıca, bina yükü hesaba katılan modelde hesaba katılmayan modele göre sığ tüneller için oturma miktarında artış olduğu, diğer taraftan, tünellerin derinliği artıkça birbirine yakın oturma miktarlarının oluştuğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Tünel, Yüzey Oturması, NATM, Sayısal Modelleme, Kazı Etapı

ABSTRACT

INVESTIGATION OF EFFECTS OF DISTANCE BETWEEN TUNNELS, DEPTH AND EXCAVATION STAGES ON SURFACE SETTLEMENT IN TWIN TUNNELS

ABDULKADİR KÖSEOĞLU

Master of Science, Department of Mining Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK

June 2018, 58 pages

In recent years, with the relocate of city rail system to the underground, also highways are started to built up in underground especially in high traffic jam areas. In cities, underground transportation has many advantages. On the other hand, it brings a subject that can affect the overground construction such as surface settlement.

In future, it would be occur that, the necessity of construction of side by side tunnels which provide different infrastructure. That situation will make surface settlement even more critical. Therefore in this study, it is aimed that; surface settlement that will be occur at two existing building located above the tunnels (Building A – Building B) which are affected by twin tunnels construct in large span with New Austrian Tunneling Method (NATM), will be investigated through some parameters like space between tunnels (1D, 2D, 3D), depth of the tunnels (1H, 2H, 3H and 5H) and number of excavation stage (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 stages). Parameters will be evaluated by 2D numerical modelling programme (Phase2) in this study.

Result of that study, it is determined that; when depth of tunnels (1H...5H) which are investigated with modelling increase, settlement amount which will be occur at buildings also increase. On the other hand, with the rising of the space between tunnels (1D...3D) there is a decreasing at amount of settlement. In tunnels which construct in different depth and distance, with the increasing of excavation stage 2 to 9, it is determined that, the

settlement amount was decrease until stage 4 and than it started to increase again and it stabilized for last 3 stage. It is also ascertained that when comparison of calculation the model with building loaded and unloaded, there is an increase at settlement amount in shallow tunnels in loaded model and when the depth of tunnels increase, settlement amounts come close to each other.

Key Words: Tunnel, Surface Settlement, NATM, Numerical Modelling, Excavation Stage

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bilgi ve tecrübesini benden esirgemeyen, bana yeni ufuklar açan, dostane yaklaşımı ve yapıcı eleştirileriyle mesleki gelişimime büyük katkılar sunan tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Yılmaz ÖZÇELİK'e,

Özellikle modelleme konusunda yaptıkları yardımlarla tez çalışmama kıymetli katkıları bulunan Dr. Rohola HASANPOUR'a ve İnşaat Yüksek Mühendisi Alp YILMAZ'a,

Tez çalışmama altlık oluşturan verileri paylaşan ve tezimin geliştirilmesinde büyük pay sahibi olan Yüksel Proje A.Ş.'den Raylı Sistemler Grup Müdürü İsmail ENGİN'e ve İnşaat Yüksek Mühendisi M. Erdem İSPİR'e,

Çalışmamda desteğini ve bilgisini esirgemeyen Dr. Fırat ATALAY'a,

Gerek bilgi ve tecrübeleriyle gerekse, iş yerimde sundukları imkanlarla mesleki gelişimime katkı sunan Ankara Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Dairesi Başkanlığı Etüd ve Projeler Şube Müdürü Ahmet Nazım AKKAYA'ya ve Sanat Yapılar Şefi Seçkin AŞICI'ya,

Gerek iş gerek eğitim gerekse sosyal hayatımda benden muhabbetlerini ve güler yüzlerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, dostlarıma ve akrabalarıma,

Tezimi tamamlayabilmem adına teşvik edici konuşmaları ile mesleki ve kişisel gelişimime yönelik kıymetli katkılarından dolayı Teyzem Belma ÇALIŞKAN'a,

Hayatıma anlam katan, maddi ve manevi desteklerini benden bir an olsun esirgemeyen, karşılaştığım her zorlukta bana kol kanat geren, Annem Birsen KÖSEOĞLU'na, Babam Abdulhalik KÖSEOĞLU'na ve kardeşim N. Benün KÖSEOĞLU'na,

teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
TEŞEKKÜR.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı.....	2
1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı.....	3
1.3. Araştırma Yöntemleri.....	4
1.4. Literatür Özeti.....	4
2. ÜMRANIYE – ATAŞEHİR – GÖZTEPE METRO PROJESİ	8
3. JEOLJİK VE JEOTEKNİK ÇALIŞMA	10
3.1. Genel Jeoloji	10
3.2. Yerel Jeoloji.....	11
3.3. Stratigrafi.....	13
3.4. Yapısal Jeoloji ve Tektonizma.....	18
3.5. Hidrojeoloji.....	19
3.6. Depremsellik.....	19
3.7. Kesit Alanı Jeomekanik Özellikleri.....	20
4. SAYISAL MODELLEME ÇALIŞMASI.....	28
5. SONUÇ ve TARTIŞMA	52
6. KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1 Kohezyonsuz zemin birimi için jeoteknik parametreler	22
Çizelge 3.2 Kohezyonlu zemin birimler için jeoteknik parametreler.....	22
Çizelge 3.3 Analizlerde kullanılan kaya kütle puanlamaları	24
Çizelge 3.4 Analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri.....	24
Çizelge 3.5 Analizlerde kullanılan kaya parametreleri.....	27
Çizelge 4.1. BİNA - A için öngörülen oturma değerleri (mm).....	39
Çizelge 4.2. BİNA - B için öngörülen oturma değerleri (mm).....	40
Çizelge 4.3. Nokta - A için öngörülen oturma değerleri (mm).....	46
Çizelge 4.4. Nokta - B için öngörülen oturma değerleri (mm).....	46

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Ümraniye – Ataşehir – Göztepe Metro Projesi	8
Şekil 2.2. Metro Projesi yer bulduru haritası.....	9
Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası	12
Şekil 3.2. Çalışma alanının stratigrafik istifi	14
Şekil 3.3. İstanbul ili ve çevresi diri fay haritası ve deprem bölgeleri haritası	19
Şekil 3.4. Kesit A-A T1.2 tüneli vaziyet planı	20
Şekil 3.5. (Kesit A-A) Çok – tümüyle ayrılmış Pendik formasyonuna (Dpk / Dpkz – W5) ait normal gerilme – kesme dayanımı grafiği (H = 5.00 m).....	25
Şekil 3.6. (Kesit A-A) Pendik formasyonuna (Dpk / Dpkz) ait normal gerilme – kesme dayanımı grafiği (H = 40.00 m).....	26
Şekil 4.1. Bina A, Bina B ve eksen konumları ile tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) parametreleri.....	28
Şekil 4.2. Modelleme çalışması ana akım şeması	29
Şekil 4.3. Referans model çalışması akım şeması	31
Şekil 4.4. Referans model çalışması ağ yapısı.....	32
Şekil 4.5. Referans model düşey yer değiştirme konturları.....	32
Şekil 4.6. Teze konu model çalışması akım şeması.....	33
Şekil 4.7. Sınır koşulları ve tünel geometrisi oluşturulmuş model.....	34
Şekil 4.8. Yerinde şartlar oluşturulmuş model.....	34
Şekil 4.9. 2D-2H 5 aşamalı kazı modeli.....	35
Şekil 4.10. 1D-1H 2 aşamalı kazı modeli.....	35
Şekil 4.11. 5 aşamalı kazı modeli.....	36
Şekil 4.12. 2 Aşamalı kazı yüzey oturma ölçümü.....	36
Şekil 4.13. 6 Aşamalı kazı yüzey oturma ölçümü.....	37

Şekil 4.14. 9 Aşamalı kazı yüzey oturma ölçümü.....	37
Şekil 4.15. 1D-1H 6 Aşamalı kazı modeli (Bina yükü göz ardı edilmiş.).....	38
Şekil 4.16. 2D-3H 4 Aşamalı kazı modeli (Bina yükü göz ardı edilmiş.).....	38
Şekil 4.17. 3D-5H 8 Aşamalı kazı modeli yüzey oturma ölçümü (Bina yükü göz ardı edilmiş.).....	39
Şekil 4.18. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Bina - A).....	41
Şekil 4.19. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Bina - B).....	42
Şekil 4.20. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Nokta - A).....	47
Şekil 4.21. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Nokta - B).....	48

1. GİRİŞ

Başta metropol şehirler olmak üzere, yerleşim birimlerinde nüfus yoğunluğunun gün geçtikçe artması, ulaşım hizmeti sunan sistemler (raylı sistemler, karayolu), altyapı hizmetleri vb. birçok hizmetin kapasitelerinin arttırılması ihtiyacını doğurmuştur. Şehirlerin büyümesinde benimsenen anlayış kısıtlı alanlarda birçok hizmetin aynı anda sunulmasını zorunlu kılmaktadır. Bu durumun neticesinde nüfus yoğunluğunun fazla olduğu şehirlerde, ulaşım hizmetleri yeraltına alınmaya, mevcut altyapı hizmetlerinin de kapasitesi arttırılmaya başlanmıştır. Önümüzdeki yıllarda birçok tünel yapısının yakın mesafede inşası zorunlu hale gelebilecektir.

Yerleşim birimlerinde tünel ve altyapı çalışmalarının hızla artması, yüzey oturması (tasman) konusunu öncelikli olarak araştırılması gereken, kritik öneme sahip bir husus haline getirmiştir.

Yüzey oturması (tasman); “madencilik faaliyetleri sebebiyle yer altında oluşan boşluklardan dolayı, üst formasyonların oturması sonucu yeryüzünde meydana gelen çöküntü, göçük” [1] olarak tanımlanmaktadır. Yerleşim yerlerinde yürütülen tünel ve altyapı projelerinde gerek Tam Cepheli Tünel Açma Makinası (TBM), gerek Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM), gerekse delme – patlatma olsun tercih edilen her yöntemde üzerinde titizlikle durulması gereken bir konu olan yüzey oturması, sayısal modelleme programlarının da gelişmesiyle birlikte daha öngörülebilir hale gelmiştir.

Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) tarihte ilk defa Prof. L. v. Rabcewicz tarafından ortaya konmuş olup, kendisi NATM’i; “İnce geçici bir destekleme yerleştirmek ve deformasyonlara izin vermek yoluyla kaya basıncının düşürülmesi ve bu basıncın çevreleyen kayaya dağıtılmasıdır. Böylece son destekleme daha az yüklenecek ve daha sonra daha da ince bir yapı halinde son destekleme yerleştirilebilecektir. Deformasyonlar ölçümler ile gözlenmeli ve sonuçlar yapısal analiz ve tasarım ile birlikte değerlendirilmelidir.” şeklinde ifade etmiştir [2]. Sonraları farklı araştırmacılar ve kurumlar tarafından NATM için farklı tanımlamalar da yapılmıştır. Gerek tanımı gerekse uygulaması kişiler ve ülkeler bazında değişiklik arz etse de yöntemin dayandığı temel prensipler hali hazırda halen kabul görmektedir.

Bu temel prensipler;

- 1) “Tüneli çevreleyen kayanın veya zeminin iç dayanımı muhafaza edilmeli ve mümkün olduğunca maksimuma ulaştırılmalıdır.
- 2) Zeminin veya kayanın tüm dayanımına güvenli olarak ulaşması adına kontrollü deformasyon gerekmektedir. Lakin, dayanım kaybına veya kabul edilemeyecek oturmalara sebebiyet verecek aşırı deformasyonların önüne geçilmelidir.
- 3) Bu şartlar sistematik bulonlama, ince - yarı esnek püskürtme beton kaplaması ile temin edilebilir. Lakin hangi tahkimat kullanılırsa kullanılsın bu tahkimat sistemi tüneli çevreleyen zemin veya kaya kütlesi ile tam temasta olmalı ve beraber deforme olmalıdır.
- 4) Tahkimatın ve ön püskürtme beton halkasının kapatılma zamanı deformasyonların kontrolü açısından büyük önem arz etmektedir.
- 5) İlk tahkimat, gereken tüm tahkimatın bir kısmını veya tamamını temsil edebilir. İkincil (son) tahkimatın boyutlandırılması ilk tahkimat elemanlarındaki gerilmelerin ve tünelin deformasyonlarının ölçülmesi (gözlenmesi) ile tesis edilebilir.
- 6) İmalat sırasında tünelin tahkim edilmeden bırakılmış kısmının uzunluğu mümkün olduğunca az olmalıdır.
- 7) Projenin tasarım ve imalat safhalarında bulunan tüm taraflar (proje, kontrol elemanları, müteahhit elemanları, v.b.) NATM’in yaklaşımını ve prensiplerini iyi kavranmış olmalı ve karar verme ve problem çözülmesi safhalarında beraber hareket etmelidirler”.

şeklinde ifade edilmektedir [2].

1.1. Tez Çalışmasının Amacı

Bu tez çalışmasının esas gayesi, yan yana inşa edilebilecek Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM) ile açılan geniş açıklıklı iki adet tünelin, tünellerin üzerinde halihazırda var olan iki adet binada (Bina A – Bina B) ve bu binalar olmadan oluşabilecek yüzey oturmalarına etkisinin tüneller arası açıklık (1D, 2D, 3D), tünellerin derinliği (1H, 2H, 3H ve 5H) ve kazı etabı sayısı (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 aşamada) gibi parametreler göz önüne alınarak 2 boyutlu sayısal modelleme programı (Phase2) kullanılarak incelenmesidir.

Literatürde, bilhassa geniş açıklıklı ikiz NATM tünellerde kazı etabı sayısının çalışılmış olmaması, yakın gelecekte yer altı sanat yapılarında ciddi bir artış olabileceği düşünüldüğünde, bu çalışmayı dikkate değer kılmaktadır.

Bu çalışma ile tüneller arası mesafe, tünel derinliği ile birlikte kazı etap sayısının yüzey oturmalarına etkisi mevcut topoğrafik ve jeolojik koşullar altında değerlendirilecek olup, çalışma sayesinde optimum mesafe, derinlik ve kazı etabı sayısı seçimleri yapılarak daha güvenli ve stabil imalatlar gerçekleştirilebileceği gerçeği ortaya konacaktır.

1.2. Tez Çalışmasının Kapsamı

NATM yöntemi ile birbirine paralel olarak, aynı anda açılması muhtemel iki adet geniş açıklıklı tünelin, tünellerin üzerinde halihazırda var olan iki adet binada (Bina A – Bina B) oluşabilecek yüzey oturmalarına etkisinin tüneller arası açıklık (1D, 2D, 3D), tünellerin derinliği (1H, 2H, 3H ve 5H) ve kazı etabı sayısı (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 aşamada) gibi parametreler göz önüne alınarak 2 boyutlu sayısal modelleme programı (Phase2) kullanılarak değerlendirilmesi çalışmanın konusunu teşkil etmektedir.

Tez kapsamında yürütülen modelleme çalışmasında sismik yükler ve yer altı suyunun etkisi göz ardı edilmiş olup, uygulama pratiği açısından uygun olmadığı düşüldüğünden kazı etabı sayısı 9 Etap, tünel derinliği ise en fazla 5H ile sınırlı tutulmuştur.

Bina A ve Bina B arasında bir nokta (0, 0) eksen olarak kabul edilmiş, tüneller arası mesafe değişkeni, eksen göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Tüneller binalara konumlarına göre aksenal olarak sabit tutulmuş olup, eksen değiştirilip tüneller konumsal hareket ettirildiğinde sonuçların değişebileceği unutulmamalıdır.

Bu konu bünyesinde yürütülecek çalışmalar aşağıda ifade edilmiştir.

- a. Modellemeye konu bölgenin jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik bilgilerinin ve vaziyet planının temin edilmesi.
- b. Temin edilen bilgilerin modellemeye uygun parametreler haline getirilmesi.
- c. Doğrulama için kullanılacak çalışmaya uygun model oluşturulması ve model doğrulaması.
- d. Temin edilen jeolojik, jeoteknik ve topografik bilgiler ve vaziyet planı doğrultusunda, düz bir topoğrafya için bina yükü olmaksızın modellemenin yapılması.
- e. Hazırlanan modelin; 1D, 2D, 3D mesafeleri, 1H, 2H, 3H, 5H derinlikleri ve 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 katı etabı için yinelenmesi.

- f. Modelde yer alan Nokta A ve Nokta B için öngörülen oturma miktarlarının ölçülerek yorumlanması.
- g. Temin edilen jeolojik, jeoteknik ve topografik bilgiler ve vaziyet planı doğrultusunda, mevcut topoğrafya için bina yükleri göz önünde bulundurularak modellenmenin yapılması.
- h. Hazırlanan modelin; 1D, 2D, 3D mesafeleri, 1H, 2H, 3H, 5H derinlikleri ve 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 katı etabı için yinelenmesi.
- 1. Son olarak modelde yer alan Bina A ve Bina B için öngörülen oturma miktarlarının ölçülerek yorumlanmasıdır.

1.3. Araştırma Yöntemleri

Çalışmanın modelleme kısmının doğrulanması adına aşağıda belirtilen basamaklar gerçekleştirilmiştir.

- a. Temin edilen topografik bilgiler ve vaziyet planı doğrultusunda modelin dış sınırlarının belirlenmesi,
- b. Dış sınırların belirlenmesinin ardından eldeki mevcut jeolojik bilgiler doğrultusunda formasyonlar uygun derinliklere uygun eğimlerde tanımlanması,
- c. Tanımlanan formasyonlar için düzenlenmiş jeoteknik parametrelerin girilmesi,
- d. Model sınırları için yer değiştirme koşullarının tanımlanması,
- e. Modele mevcut binalara ait yüklerin tanımlanması (Bina yükü dikkate alınan modelleme için),
- f. Model için ağ yapısı oluşturularak (mesh) yerinde (in - situ) şartların tesis edilmesi,
- g. Yerinde şartların oluşturulmasının ardından, rehber çalışmaya uygun mesafe ve derinliğe göre tünel geometrisinin uygun kot ve koordinatlarda oluşturulması,
- h. Rehber çalışmaya uygun şekilde, kazı ve tahkimat sırası ile elemanlarının modele girilmesi,
- 1. Nihayetinde referans binalarda oluşması öngörülen oturmaların ölçülerek rehber çalışma ile karşılaştırılması ve gerekirse modelin revize edilmesi,

1.4. Literatür Özeti

Bu bölümde NATM ve TBM yöntemi kullanılarak açılan veya açılması muhtemel tünellerde oluşabilecek yüzey oturmalarına ilişkin literatürde yer alan daha önce farklı araştırmacıların yürütmüş olduğu; parametrik, deneysel, hesaba dayalı veya sahaya yönelik çalışmalar sunulmuştur.

Farklı araştırmacıların çalışmalarına göre, tüneller arası etkileşimin yüzey oturmalarında en etken parametrelerden biri olduğu ortaya konmuştur. Tüneller arası etkileşim, tünel derinlikleri, kazı sırası ve yöntemleri ile bu parametrelerin yüzey oturmalarına etkisi, birçok yaklaşım ortaya konularak araştırılmıştır. Yerinde gözlem, fiziksel model testi ve sayısal modelleme yüzey oturmalarının ve tüneller arası etkileşimin analizinde sıklıkla kullanılmıştır[11-17], [23-25].

Chakeri vd. [3] tarafından yürütülen bir çalışmada 3 Boyutlu Sayısal Modelleme ile farklı seviyelerde açılacak tünellerin birbirleri ile olan etkileşimleri analiz edilmiştir. Çalışmada; tünel etkileşimlerinde tüneller arası mesafenin etkisi, tüneller arası yatay mesafenin tünel tahkimatı üzerindeki etkisi ile kazı sırasının yüzey oturmasına etkisi detaylı olarak incelenmiştir. Yürütülen alışma neticesinde; tüneller arası mesafenin arttırılmasının merkezde oluşacak oturmayı azaltacağı ve tünel üzerindeki oturmayı stabil hale getirebileceği, farklı kazı sırasının yüzey oturmasına etkisinin az olduğu ortaya konmuştur.

Bir diğer çalışmada; Mahdi ve Shariatmadari [4] yumuşak zeminlerde yürütülen tünel çalışmalarının yüzey oturmalarına etkisini analiz etmiştir. Çalışmada, yan yana inşa edilecek 3 adet tünel için farklı kazı sırasının yüzey oturmasına etkisi incelenmiştir. Sonuçta, tünel inşa prosedürünün yüzey oturmalarını azaltmada etkin olduğu, kazı etabının da zemindeki hareket miktarına büyük etkisi olduğu ortaya konmuştur.

Sharifzadeh vd. [5] tarafından yürütülen bir diğer çalışmada ise; geniş açıklıklı zayıf zemin şehir içi tnelerde uygun kazı metodu, kazı sırası ve farklı kazı etapları arasındaki uygun gecikme aralığı konuları ele alınmıştır. Çalışmanın sonucunda; çalışmaya konu tünelin Side Drift (SD) Metodu ile kazılmasının yüzey oturmalarını büyük ölçüde kontrol ettiği, bu sayede yüzey yapılarında meydana gelebilecek zararın azaldığı, uygun kazı sırasının Sıralı Kazı Metodu Tnelciliği için (Sequential Excavation Method - SEM) en önemli faktör olduğu, farklı kazı aşamaları için halka kapanma zamanı, kazı etabı sayısı, alt bölünmüş alan ve merkez galerideki kazı basamağı gibi parametrelerin tünel performansına etkisi ortaya konmuştur. Ayrıca; gecikme mesafesindeki artışın, tetiklenen tünel oturmalarında çift yönlü etkisinin olduğu, yüzey oturmalarını sınırlandırırken diğer taraftan tahkimat halkasının kapanmasını geciktirdiği sonucuna varılmıştır.

Hasanpour vd. [6] tarafından yapılan çalışmada; sayısal ve yarı ampirik metotlar kullanılarak, NATM metodu ile kazılan ve boru çatı sistemi ile desteklenen ikiz tnelerde

maksimum yüzey oturması tahmini üzerinde durulmuştur. Tünel kazısı sonrası farklı örtü tabakası basınçlarının, tüneller arası açıklığın ve yüzey oturmasına etkisinin belirlenmesi ile yüzey oturmalarına ilişkin sayısal, ampirik ve direkt ölçümlerin karşılaştırılması çalışmanın temel amaçları arasında yer almaktadır. Çalışmanın sonucunda; tüneller arası mesafenin arttırılmasının merkezde oluşacak oturmayı azaltacağı ve tünel üzerindeki oturmayı stabil hale getirebileceği, 5D mesafe üzerinde tünellerin inşasının birbirini etkilemediği, boru çatı sisteminin tünelde meydana gelebilecek deformasyonu sınırlandırdığı, bu sayede oturmanın %65 oranında azaldığı sonuçları ortaya konmuştur.

Das vd. [7] tarafından yürütülen çalışmada ise; kısmen eklemli kaya kütlelerinde açılan asimetrik paralel tünellerin sayısal modelleme ile stabilitesinin belirlenmesi, yüzey topoğrafyasının, tünel geometrisinin ve boyutlarının yüzey oturmasına etkilerinin aydınlatılması amaçlanmıştır. Çalışma neticesinde; tabandan tavana doğru gidildikçe tahkimatlı ve tahkimatsız koşullar için yer değiştirme büyüklüğündeki farkın sıfıra yaklaştığı, bu durumun taban seviyesinin tavana göre daha stabil olduğunun bir göstergesi olduğu, tünel tavanı üzerindeki maksimum yer değiştirmenin aksine, her iki tünel merkezindeki maksimum yer değiştirmelerin çok az farklılık gösterdiği ortaya konmuştur.

Kim vd. [19] tünellerin küçültülmüş ölçekte fiziksel modelleri üzerinde çalışmışlardır. Çalışmanın neticesinde, etkileşim mekanizmasının tünel geometrisi ile ilişkili olduğu sonucunu ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, tüneller arası mesafenin tünel çapının 1.5 katı olduğu yan yana ve paralel tünellerde etkileşimin az olduğu bulunmuştur. Farklı kotlardaki çapraz tünellerde üst tünelin yanında yeni bir kazı yapılması halinde oturmaları tetiklediği ortaya konmuştur.

Addenbrooke ve Potts [20] tarafından yürütülen çalışmada çoklu tüneller için lineer olmayan elastik ve tamamiyle plastik zemin modellerinde 2 boyutlu sonlu eleman analizi yapılmıştır. Çalışmanın neticesinde yan yana tünellerde etkileşimin, topuk genişliğinin 7 metrenin üzerinde olması halinde, göz ardı edilebilir olduğu belirlenmiştir.

Hage and Shahrour [21] çalışmalarında, tünel arası mesafenin en az 3D olması halinde belirgin bir etkinin olmadığını ifade etmişlerdir.

Lee vd. [22] NATM yöntemi ile katı kilde açılan, hipotetik geniş paralel ikiz tüneller üzerinde sistematik bir dizi 3B çiftli sonlu eleman analizi yapmışlardır. Çalışmalarında özellikle, iki yapı arasında, aynalar arasındaki gecikme mesafesi (L_T) ile yük transferi

mekanizmalarının etkilerine dikkat çekmişlerdir. Neticede; gecikme mesafesinin yatay yer değiştirmede düşey yer değiştirmeye nazaran daha etkin olduğu, tünellerin yatay yöndeki açıklıklarının kısılmasında belirgin bir şekilde etken olduğunu ortaya koymuşlardır. Çalışmalarında, topuk genişliğindeki değişimin gecikme mesafesinin lineer bir fonksiyonu olduğu belirtilmiştir.

Liu vd. [18] 3B sonlu eleman modeli ile Sidney bölgesinde farklı paralel tünel yapıları için mevcut tahkimat sistemleri üzerinde araştırmalar yapmışlardır. Çalışmanın neticesinde; etkileşimin, genellikle mevcut tünel ile yeni tünellerin bağıl lokasyonları ile ilişkili olduğunu ortaya koymuşlardır.

Farklı araştırmacılar tarafından ikiz tünellerde tünel arası etkileşim üzerine bir çok çalışma yapılsa da yüzey oturma miktarını ve şeklini ampirik olarak ifade eden çalışma sayısı azdır. Herzog [10] ikiz tünellerde maksimum oturma miktarının aşağıdaki şekilde belirlenebileceğini ifade etmiştir.

$$S_{\max} = 4.71(\gamma \cdot Z_0 + \sigma_s) \cdot \left(\frac{D^2}{(3i+a) \cdot E} \right) \quad (1)$$

Burada;

E : formasyonun elastisite modülü (kPa),

γ : birim ağırlık ,

σ_s : yüzey sürşarjı,

a : tünel eksenleri arasındaki mesafe ve Z_0 ise tünel derinliğidir.

2. ÜMRANIYE – ATAŞEHİR – GÖZTEPE METRO PROJESİ

İstanbul; halihazırda Türkiye'nin en kalabalık şehri olmakla birlikte, Dünya'nın da nüfus yoğunluğu en kalabalık şehirleri arasında yer almaktadır. Her geçen gün artan nüfus birçok yeni hizmetin sunulmasını, mevcut hizmetlerinde gerek kapasitesinin gerekse kalitesinin artırılmasını zorunlu kılmaktadır.

Ulaşım hizmeti İstanbul için en önemli hizmetlerin başında yer almaktadır. Her gün milyonlarca insanın, binlerce aracın trafikte olduğu ve her geçen gün yenilerinin eklendiği göz önünde bulundurulduğunda İstanbul için yeni ulaşım projelerinin hayata geçirilmesi gerekmektedir.

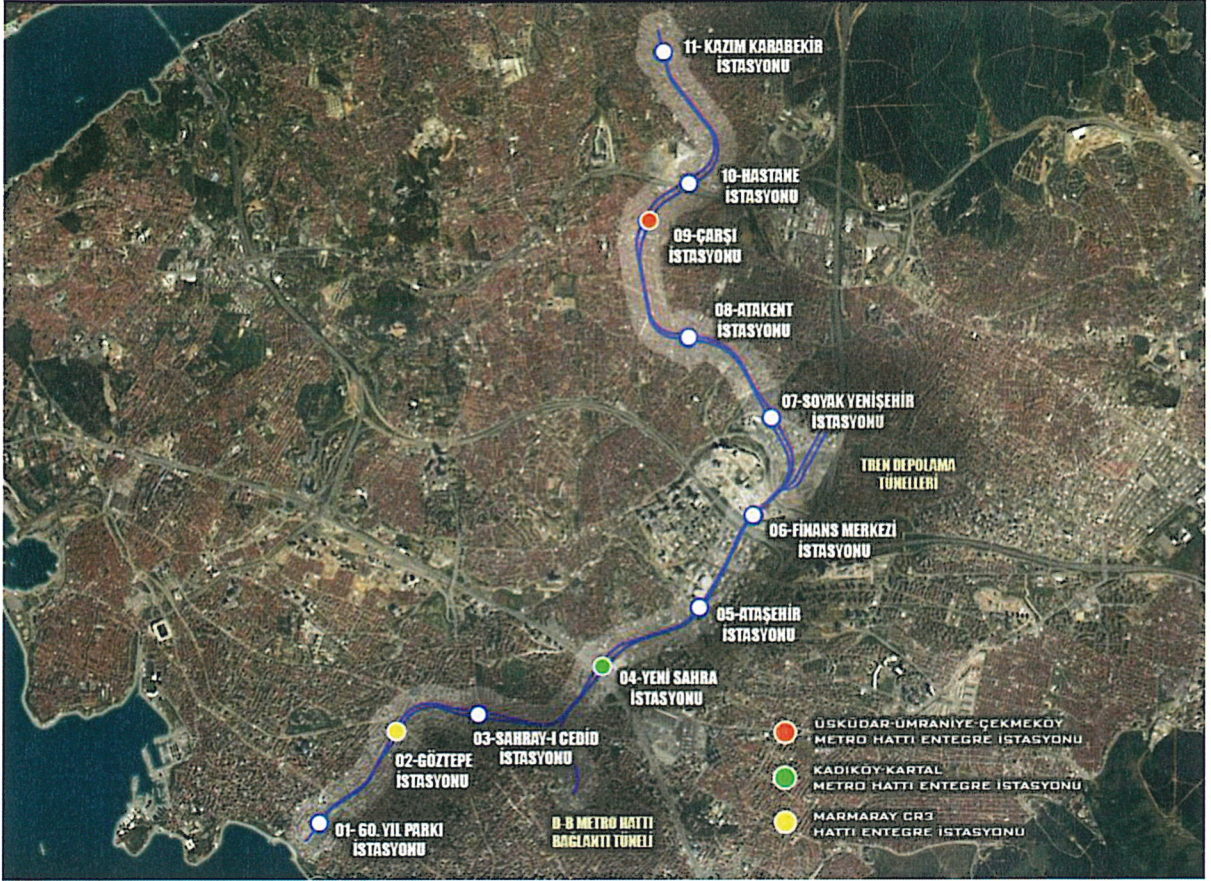
Son yıllarda 3. Köprü ve Kuzey Marmara Otoyolu, Avrasya Tüneli, Marmaray gibi mega projeler ile yeni metro hatları ve şehir içi karayolu tünellerinin hizmete açılması ile birlikte İstanbul'da ulaşım konusunda dikkate değer bir iyileşme sağlanmıştır.

Ümraniye – Ataşehir – Göztepe Metro Projesi de yine İstanbul'da ulaşım adına hizmet edecek projelerden biri konumundadır. İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesinde çalışmaları devam etmekte olan proje, Anadolu yakasında inşa edilmekte olup, Şekil 2.1.'de görüldüğü üzere 3 İlçeyi birbirine bağlamayı hedeflemektedir.



Şekil 2.1. Ümraniye – Ataşehir – Göztepe Metro Projesi

Kadıköy İlçesi sınırları dahilinde başlayacak proje, Ataşehir'den geçerek Ümraniye'de sonlanacaktır. Projenin hat uzunluğu 13 km olup, proje kapsamında "13 km uzunluğunda çift tüp ile tek hat TBM, 2 adet tren depolama tüneli (NATM) ve 1 adet bağlantı tüneli (NATM)" yapılması amaçlanmaktadır. Proje kapsamında 5 adet ana shaft+tünel tipi olmak Şekil 2.2.'de belirtildiği gibi 11 adet istasyon bulunmaktadır [8].



Şekil 2.2. Metro Projesi yer bulduru haritası

3. JEOLJİK – JEOTEKNİK ÇALIŞMA

Bu bölümde sunulan bilgiler “Ümraniye - Ataşehir - Göztepe Metrosu İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri” kapsamında, Yüksel Proje A.Ş. tarafından hazırlanan T1.2 Tipi NATM Tünelleri Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma ve Hesap Raporundan temin edilmiştir [9].

3.1. Genel Jeoloji

“İstanbul şehir sınırları dahilinde metamorfik olan ve metamorfizma göstermeyen iki büyük kaya-stratigrafi birimi topluluğu bulunur. Önem arz eden bir tektonik hatla birbirinden ayrılan, bu iki topluluktan metamorfizma gösteren istif Özgül (2005) tarafından Istranca Birliği, metamorfizma göstermeyen istif ise İstanbul Birliği adlarıyla gruplandırılmıştır. Öte yandan şehir sınırları dahilinde Erken Ordovisiyen – Günümüz aralığında oluşmuş fazla sayıda kaya-stratigrafi birimi de bulunmaktadır”.

Istranca Birliği metamorfitlerinin bazı kısımları Çatalca ilçesinin batı ve kuzey kesimlerinde İstanbul il sınırları dahiline girer. “İstanbul Birliği, İstanbul Boğazi’nin her iki yakasında, özellikle Kocaeli Yarımadası’nda geniş alanlar kaplayan Paleozoyik ve Erken Mesozoyik yaşta metamorfizma göstermeyen kaya birimlerini barındırır”. İstanbul Birliği’nin il alanında yüzeyleyen en yaşlı kaya birimini teşkil eden Alt Ordovisiyen yaşta karasal istifin, İstanbul ve çevresinde tabanı açığa çıkmamıştır. “Armutlu Yarımadası ve Bolu yöresinde şist, gnays ve meta-mağmatitleri kapsayan Neoproterozoyik yaşta metamorfik temeli açısız uyumsuzlukla üstlediği bilinmektedir”.

“Metropolitan alanı ve yakın civarında yüzeye çıkan Kocatöngel Formasyonu ve Kurtköy Formasyonu adlarıyla bilinen Alt Ordovisiyen yaşta karasal çökeller, İstanbul Birliği’nin en yaşlı kaya birimlerini meydana getirir. Alt Ordovisiyen yaşlı istifin, tabanı İstanbul ve çevresinde açığa çıkmamış olsa da, Armutlu yarımadası ve Bolu yöresinde şist, gnays ve granitik meta-mağmatitleri kapsayan İfrakambriyen yaşta metamorfik bir temeli açısız uyumsuzlukla üstlediği bilinmektedir. Erken Ordovisiyen başlangıcında, İstanbul ve yakın dolayımı içeren bir kara parçası üzerinde, Kocatöngel ve Kurtköy formasyonlarıyla temsil edilen akarsu, göl ve lagünlerin yer aldığı karasal ortam koşulları hakim olmuştur”. Çok iyi gelişmiş varvlı yapısıyla Kocatöngel Formasyonu Buzul (Glacial) iklim koşullarını yansıtır. Üst Ordovisiyen – Silüriyen’de delta ile gelgit ortam koşullarını yansıtan “Aydos Formasyonu”nun kuvarsit ve kuvars kumtaşlarıyla temsil edilen genel bir transgresyon

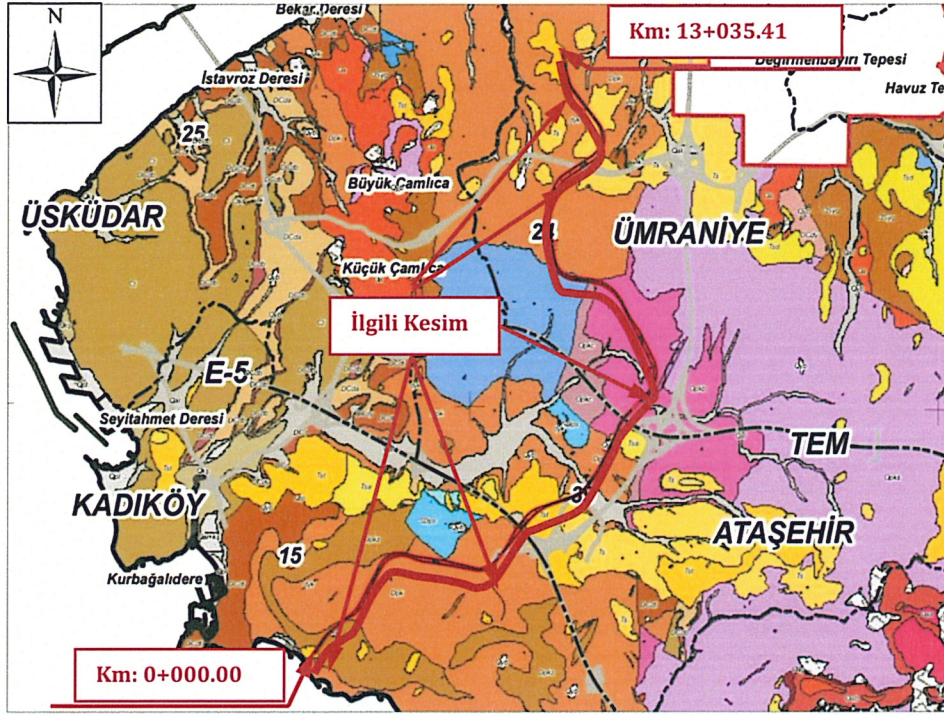
etkin olmuştur. “Geç Ordovisiyen, Silüriyen ve Devoniyen sürecinde bölge, giderek derinleşen ancak, tektonik açıdan duraylı bir denizle kaplanmıştır. Bu süreçte yaşlıdan gence doğru, miltaşı-kumtaşı ile temsil edilen Yayalar Formasyonu (Ordovisiyen – Silüriyen), şelf tipi resif ve sığ deniz karbonat çökelimini yansıtan Pelitli Formasyonu (Silüriyen – Alt Devoniyen), düşük enerjili açık şelf ortamını temsil eden, seyrek kireçtaşı (Kozyatağı Üyesi) aradüzeyle bol makrofosilli, mikalı şeyilleri (Kartal Üyesi) içeren Pendik Formasyonu (Alt – Orta Devoniyen) ile açık şelf-yamaç ortamını temsil eden yumrulu kireçtaşları ve kireçtaşı-şeyil ardışığının yoğun olduğu Denizli Köyü Formasyonu (Üst Devoniyen – Alt Karbonifer) çökelmiştir. Denizli Köyü Formasyonu içerisinde ara düzeyler halinde bulunan ve en üst kesiminde, bu incelemede Baltalimanı Üyesi adı altında araştırılmış olan, Alt Karbonifer yaşlı silisli (lidit) radyolaryalı çökeller, bahse konu denizel havzanın yakınlarında, yoğun silis getirimine sebebiyet veren volkanik etkinliğin bulunduğunu düşündürür”. Ordovisiyen’den Karbonifer başlangıcına kadar tektonik duraylık gösteren havza, Erken Karboniferle beraber, türbiditik akıntıların yoğun olduğu duraysız ortam koşullarının etkisi altına girer ve buna bağlı olarak 1000 metreyi aşan kalınlıkta “Trakya Formasyonu”nun filiş türü türbiditik kumtaşı-şeyil ardışık istifli çökeler. Karbonifer – Permiyen aralığında, olasılıkla Variskiyen tektonik hareketlerinin etkisiyle, bölgenin su dışına çıktığı, tekrardan kara halini aldığı anlaşılmaktadır.

Gebze’nin batısında yüzeyleyen “Sancaktepe Graniti” (Permiyen) ile temsil edilen asidik intrüzyon da bu dönemde gelişmiştir. “Bölgede günümüzdeki yönlere göre yaklaşık olarak K-G eksen gidişli kıvrım ve D-B yönlü bindirmeler gelişmiştir. Söz gelişi, Çamlıca tepelerini oluşturan Aydos Kuvarsiti’nin daha genç Paleozoyik yaştaki birimler üzerinde ilerlemesine sebebiyet veren Çamlıca Fayının bu süreçte geliştiği düşünülmektedir”.

3.2. Yerel Jeoloji

İstanbul Büyükşehir Belediyesi tarafından yapımı planlanan “Ümraniye – Ataşehir – Göztepe Metrosu İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri” dahilinde yapımı planlanan Ümraniye – Ataşehir – Göztepe Metro Hattı güzergahında karşılaşılması beklenen başlıca birimler; Kurtköy formasyonu (Opk), Pelitli formasyonu (SDp), Pendik formasyonu (Dp), Sultanbeyli formasyonu (Ts), Alüvyon (Qal) ile yüzeyde gözlenen Yapay dolgu (Yd) şeklinde sıralanabilir.

Proje alanı ve yakın çevresinde yüzeyleyen formasyonların stratigrafik, yapısal ve litolojik özellikleri aşağıda açıklanmaktadır. İnceleme alanı ve yakın çevresini gösteren genelleştirilmiş jeoloji haritası Şekil 3.1.'de verilmiştir.



Lejant

Güncel Birikintiler / Pleistosen-Günümüz

- Qyb - Yüzelek Birikinti
- Qpl - Plaj Birikintisi
- Qal - Alüvyon
- Qal+kş - Tabanında Qkş Bulunan Alüvyon

Kuşdili Formasyonu / Pleistosen-Günümüz

- Qkş - Kuşdili Formasyonu
- Ts - Sultanbeyli Formasyonu
- Tsa - Altın-tepe Üyesi
- Tst - Tuğlacıbaşı Üyesi

Trakya Formasyonu / Alt Karbonifer

- Ct - Trakya Formasyonu
- DCd - Denizli Köyü Formasyonu
- DCdb - Baltalimanı Üyesi
- DCda - Ayineburnu Üyesi
- DCdy - Yörükali Üyesi
- DCdt - Tuzla Kireçtaşı Üyesi

Pendik Formasyonu / Alt -Orta Devoniyen

- Dp - Pendik Formasyonu
- Dpk - Kartal Üyesi
- Dpkz - Kozyatağı Kireçtaşı Üyesi

Pelitli Formasyonu / Üst Silüriyen-Alt Devoniyen

- SDp - Pelitli Formasyonu
- SDpsğ - Soğanlık Üyesi
- SDps - Sedefadaşı Kireçtaşı Üyesi
- SDpd - Dolayoba Kireçtaşı Üyesi

Yayalar Formasyonu / Üst Ordovisiyen-Alt Silüriyen

- OSyg - Gözdağ Üyesi

Aydos Formasyonu / Alt Ordovisiyen

- Oa - Aydos Formasyonu
- Oab - Başibüyük Üyesi
- Oag - Gülsuyu Üyesi

Polonezköy Gurubu / Alt Ordovisiyen

- Op - Polonezköy Gurubu

Kurtköy Formasyonu / Alt Ordovisiyen

- Opk - Kurtköy Formasyonu
- Opks - Süreyyapaşa Üyesi
- Opkb - Bakacak Üyesi

Kocatöngel Formasyonu / Alt Ordovisiyen

- Opkc - Kocatöngel Formasyonu

Yaşı Bilinmeyen

- vlk - Volkanik
- dyk - Volkanik Dayk

İlçe Sınırı

Karayolu

Şekil 3.1. İnceleme alanı ve yakın çevresinin jeoloji haritası

(İBB DEZİM, 2009'dan sadeleştirilerek alınmıştır.)

3.3. Stratigrafi

Proje güzergahı ve yakın çevresine ait jeolojik ve stratigrafik bilgiler; bu bölgeye ait MTA ve İBB Deprem ve Zemin İnceleme Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilen çalışmalar ile raporlardan sağlanmıştır. İnceleme alanı ve çevresi farklı stratigrafik, litolojik, tektonik ve metamorfik özellikler sunabilen değişik birliklerden oluşmaktadır. Bölgede bulunan formasyonlara ait özellikler yaşlıdan gence doğru esas hatları ile aşağıda özetlenmektedir. Bölgeye ait genelleştirilmiş stratigrafik dikme kesit Şekil 3.2’de sunulmuştur.

Kurtköy Formasyonu (Opk)

Kurtköy Formasyonu, arkoz türü kızılımsı, mor, eflatun renkli kırıntılı kayalardan meydana gelir. “Özgül (2005), formasyonun boz – mor – eflatun renk ardalanmalı, kumtaşı ara katkılı miltaşlarının hakim olduğu alt düzeyini Bakacak Üyesi; çakıltaşı ara katkılı şarabi – mor kumtaşından oluşan üst düzeyini ise Süreyyapaşa Üyesi adlarıyla incelemiştir. Formasyon Kayış dağı ve Aydos dağı eteklerinde, Akfırat köyünün batı ve kuzeyinde, Alemdağ ile Ömerli kasabaları arasında, Başbüyük semtinin batısında, E5 (D100) karayolunun Maltepe ilçesi sınırları dahilinde kalan kısmının yol yarmalarında geniş alanlar kaplar”.

Kurtköy Formasyonu açık koyulu mor – eflatun, şarabi renkli, arkoz bileşimli, kumtaşı, miltaşı, kıltaşı ve çakıltaşından oluşur. “İstifin alt kesiminde kumtaşı arakatlı, ince laminalı kıltaşı-miltaşı (Bakacak Üyesi), üst kesiminde de farklı boyutlarda çakıltaşı mercek ile ara düzeylerini içeren kaba kumtaşı (Süreyyapaşa Üyesi) egemendir”.

Bakacak Üyesi, Kocatöngel Formasyonu’nun laminalı miltaşı katmanları üzerinde mor-boz-krem renk ardalanmalı, yer yer laminalı miltaşı-ince taneli kumtaşı düzeyi ile başlar. Üst düzeylerinde, ufak çakıllı çakıltaşı arakatlı, mor renkli miltaşı, kumtaşı egemen olur. Mor-boz renk ardalanmasından oluşan alacalı rengi, Kocatöngel Formasyonu’nun tüm düzeylerinde görülen laminalı düzeyleri seyrek olarak kapsayışı ve tane boyunun üste doğru irileşmesiyle Kocatöngel Formasyonu’ndan ayırtdılır. Üst düzeylerinde, özellikle Süreyyapaşa Üyesi’ne doğru yaklaştıkça, kaba kum-çakılcık gereç boyu artar, renk bütünüyle morlaşır. Üye, Kocatöngel Formasyonu ve Süreyyapaşa Üyesi’nin katmanları arasında geçiş zonunu oluşturur.

ÜST SİSTEM		SİSTEM		SERİ	FORMASYON	ÜYE	BİRİM	AÇIKLAMALAR
SENOZOYİK		KUVATERNER			ALÜVYON			Çakıllı killi kum, çakıllı kumlu kil.
	TERSİYER	NEOJEN			SULTANBEYLÜ	DUDULLU		Gevşek-çimentolanmamış, bloklu, kum-kil-silt, siltli kil, kumlu kil. Yer yer karbonat çakıllı çakıl-kum-kil.
PALEOZOYİK		KARBONİFER		ALT	TRAKYA	KÜÇÜKKÖY KARHALTEPE CEBEÇİ BAŞIBÜYÜK		Kumtaşı-miltaşı-şeyl ardışığı alttan üste doğru şeyl-miltaşı (Acıbadem Üyesi), kireçtaşı (Cebeci Kireçtaşı), lidit-şeyl ardışığı (Kartal-tepe Üyesi), çakıltaşı kanal dolgulı türbiditik kumtaşı-şeyl ardışığı (Küçükköy Üyesi)dir.
DEVONİYEN		ORTA ÜST		DENİZLİKÖYÜ	AYINE- BURNU LİMANI			Lidit; kara-koyu kü rengi, ince katmanlı, yer yer laminalı; fosfatlı küresel silis yumrulu.
ALT-ORTA DEVONİYEN		ORTA ÜST		TUZLA YÖRÜKALU				Yumrulu kireçtaşı; alt kesimde açık kü rengi, ince katmanlı, şeyl arakatlı; üst kesimde lidit ve ince kireçtaşı arakatlı şeylleri kapsar.
PENDİK		KARTAL KÖZPATIĞI						Lidit-şeyl; kara-koyu kü rengi, ince katmanlı, şeyl arakatlı, üst kesimde lidit ve ince kireçtaşı arakatlı şeylleri kapsar.
KIREÇTAŞI		KIREÇTAŞI						Kireçtaşı-killi kireçtaşı; kara-koyu kü rengi, ince-orta katmanlı, ince şeyl arakatlı, seyrek fosil kırntılı, yumrulu kireçtaşı ara düzeyli.
KIREÇTAŞI		KIREÇTAŞI						Kireçtaşı-killi kireçtaşı-kireçli şeyl; kü rengi, ince-kalın katmanlı, katmansız, kırntılı, ince dokulu kireçtaşı egemendir. Lidit kireçli kil ara katkıdır.
MİKALİ		MİLTAŞI						Mikalı miltaşı-ince kumtaşı; taze iken koyu kü rengi, yer yer koyu yeşilimsi, ayrıışmış açık kahverengi, ince-orta katmanlı, bol mika pullu şeyl egemen kayatürü. Bol makrofosil içerir.
YUMRULU		KIREÇTAŞI						Yumrulu kireçtaşı; şeyl ve kireçli kil ara katkı.
KIREÇTAŞI		KIREÇTAŞI						Kireçtaşı; koyu kü rengi, ince-orta katmanlı kireçtaşı ile laminalı kireçtaşı ardalanması. Alt kesimde değişen oranda şeyl arakatlı.
RESİFAL		KIREÇTAŞI						Resifal kireçtaşı; açık-koyu pembemsi, açık kü rengi-boz resifal kireçtaşı hakim, bol mercan ve makrofosil içerir.
KIREÇTAŞI		KIREÇTAŞI						Kireçtaşı-killi kumlu kireçtaşı-kireçli kilttaşı, kumtaşı; ince katmanlı ve kavkı kırntılı.
MİKALİ		KUMTAŞI						Mikalı kumtaşı-miltaşı hakim kayatürüdür. Yeşil, grimsi mavi, orta-yer yer ince katmanlı, laminalıdır. Üst kesimlerde yer yer feldispatlı kuvarsit düzeyini kapsar.
KUVARSİT		KUMTAŞI						Kuvarsit; kuvars çakıllı silis çimentolu çakıltaşı düzeyi killi milli şeyl arakatlıdır (Başibüyük Çakıltaşı Üyesi). Çapraz katmanlı, mor, kumtaşı-çamurtaşı ardışığı Kınalıada Ü.'dir.
ARKOZ		TÜRÜ						Arkoz türü kumtaşı, çakıltaşı, miltaşı; mor, eflatun, çapraz katmanlı, orta-zayıf boylanmış, yer yer çapraz laminalanma, derecelenme gösterir.
MİLTAŞI		KUMTAŞI						Miltaşı-kumtaşı ardışığı; boz ve mor renk ardalanmalı.
LAMİNALI		MİLTAŞI						Laminalı miltaşı; şeyl boz, kü rengi, ince katmanlı.

Şekil 3.2. Çalışma alanının stratigrafik istifi (GEODATA, 2016'dan derlenmiştir)

“Kurtköy Formasyonu, alt düzeyini meydana getiren Bakacak Üyesi'nin miltaşı-kumtaşı katmanlarıyla, Kocatöngel Formasyonu'nu uyumlu ve geçişli olarak üstler; Kınalıada Formasyonu'nun Gülsuyu Üyesi tarafından uyumlu olarak üstlenir”.

Değişik tektonik hareketlerin etkisiyle kıvrımlanmış, faylanmış ve yüzeylemeleri genellikle faylarla sınırlanmış olan bu formasyonun kalınlığı tam olarak bilinmemektedir; toplam birim kalınlığının 1000 m'yi aştığı düşünülmektedir. Kurtköy Formasyonu'nun İstanbul dolaylarındaki yüzeylemelerinde fosil bulunamamıştır. Batı Karadeniz bölgesinde Eflâni-Araç ilçeleri arasında yer alan Karadere vadisi dolayında Bakacak Formasyonu adıyla incelenmiş olan benzer özellikteki istifin yaşı, akritark kapsamına göre Alt Ordovisiyen (Tremadosiyen) olarak belirlenmiştir.

Pelitli Formasyonu (SDp)

“Pelitli Formasyonu büyük oranda kireçtaşıdan meydana gelir. Değişik düzeylerinde farklılaşan oranda kil ara katkılıdır. Resif ve sığ deniz kireçtaşlarıyla başlar, üst kesiminde yumrulu kireçtaşlarıyla sonlanır”. Ümraniye – Örnek Mahallesi ile Kartal – Soğanlık Senti dolaylarında yüzeylemeleri yaygındır. “Özgül (2005), büyük bölümü şelf tipi karbonatlardan oluşan ve çökelmede süreklilik gösteren istifin değişik formasyonlara ayırılanmasının, adlama kuralları açısından sakıncalı olmakla beraber, sahada izlenebilme, haritalama ve deneştirme problemleri doğuracağı gerekçesiyle, istifin tamamının tek bir formasyon adı bünyesinde toplanmasını tercih etmiştir. Bu gerekçe ile birimin farklı düzeylerini kapsayan Gebze ilçesi Pelitli köyünün adını, bu adın (Pelitli Formasyonu-Pelitli Schichten) Haas (1968) tarafından kireçtaşı istifinin çoğu kısmı için evvelce kullanılmış olduğunu da dikkate alarak, formasyon adı olarak kullanmıştır”.

Pelitli Formasyonu çoğunlukla şelf tipi neritik karbonatlardan oluşur, değişik düzeylerinde değişen oranda, genellikle ince arakatıklar halinde kil – killi kireçtaşı – kireçli kilitaşı düzeylerini içerir. Alttan üste doğru kireçli şeyil – kumtaşı – killi kireçtaşı – kireçtaşı ardışığı (Mollafenari Üyesi), bol makrofosilli resif kireçtaşı (Dolayoba Kireçtaşı Üyesi), orta-ince katmanlı, pembe kilitaşı arakatıklı, laminalı kireçtaşı (İçmeler Üyesi) orta-kalın katmanlı neritik kireçtaşı (Sedefadası Kireçtaşı Üyesi) ile en üstte ince şeyil ara katkılı yumrulu görünümlü kireçtaşı (Soğanlık Kireçtaşı Üyesi) birimlerini kapsar.

Pelitli Formasyonu Yayalar Formasyonu'nu uyumlu olarak üstler. Yukarıda değinildiği gibi Pelitli Formasyonu'unun en alt üyesini oluşturan Mollafenari Üyesi Yayalar Formasyonu'nun ince gereçli kırıntılılarıyla Pelitli Formasyonu'nun karbonat istifi

arasında geçiş düzeyini oluşturur. Pelitli Formasyonu Pendik Formasyonu'nun Kartal Üyesi'ne ait mika pullu şeyilleri tarafından uyumlu üstlenir.

Pendik Formasyonu (Dp)

Pendik Formasyonu çoğunlukla, “mika pullu, kil-mil boyu ince kırıntılı kayaçlardan meydana gelir. Belirli düzeylerinde bilhassa üst kesimlerinde kireçtaşı arakatlıdır. Bol makrofosil içermesiyle ayırtman olan ve bu niteliği ile sahada kolay izlenebilen formasyon, İstanbul'un Anadolu yakasında büyük alanlar kaplar. Özgül vd. (2009), adlamada öncelik kurallarını gözeterek, Pendik adını, istifin bütününe kapsayacak şekilde formasyon adı olarak, Kartal adını da formasyonun büyük bölümünü oluşturan bol makrofosilli mikalı kıltaşı-miltaşı-şeyil istifine yönelik olarak üye aşamasında (Kartal Üyesi) kullanmıştır. Formasyonun, kireçtaşının hakim olduğu ara düzeyi için Kaya (1973) ve Önalın (1988) tarafından üye ve formasyon etabında kullanılmış olan Kozyatağı adı da aynı kapsamda olmak üzere üye adı olarak (Kozyatağı Üyesi) korunmuştur”.

Yüzeylemelerin yetersiz ve istifin çeşitli tektonik hareketlerden oldukça etkilenmiş oluşu nedeniyle, kalınlık ölçümüne elverişli kesit bulunmamakta ve bu nedenle birim kalınlığı tam olarak hesaplanmadığı belirtilmektedir. Formasyonun taban katmanından alınan örneğin Geç Emsiyen konodont ve ostrakodlarını kapsamaması (Dojen ve diğ., 2004), çökelinin Geç Emsiyen'de başladığı görüşünü destekler. Pendik Formasyonu'nun büyük bölümünü oluşturan kara-koyu külrengi, bol makrofosil kavkılı, bol mika pullu, kil, mil, ince kum boyu ince gereçli tekdüze kırıntılı kayaçlar (Kartal Üyesi), karadan getirmenin bol ve organik işlevlerin yoğun olduğu, düşük enerjili (dalga tabanının altı) şelf ortam koşullarını yansıtır.

Volkanik Kaya (Dayk)

Paleozoyik istif içinde yoğun olarak görülen mikrodiyoritik damar – sığ derinlik kayaları andezitik ve dasitik volkanik dayklar Geç Kretase – (?) Erken Tersiyer'de gelişmiştir.

Sultanbeyli Formasyonu (Ts)

“Orhanlı, Sultanbeyli, Kurnaköy ile Kurtköy köyleri arasında ve Kılıçlı – Riva (Çayağzı) civarında geniş alanlar kaplayan kum, çakıl birikintilerine yönelik olarak Özgül (2005) Ömerli Formasyonu kapsamında Sultanbeyli Üyesi adını kullanmıştır”.

İl alanının özellikle doğu-güneydoğu kesimlerinde geniş alanlar kaplayan Sultanbeyli Formasyonu, tutturulmamış, yer yer bloklu, kum, çakıl, mil boyu gereçten oluşur.

“Formasyon egemen kaya türü özellikleri açısından Orhanlı Üyesi, Dudullu Üyesi ile Tuğlacıbaşı Üyesi, Altın-tepe Üyesi ve İkiz Tepeler Üyesi adlarıyla üyelere ayırtlanmıştır”. Orhanlı Köyü – Sabiha Gökçen Havaalanı dolayında Orhanlı Üyesi, Sultanbeyli dolayında Tuğlacıbaşı Üyesi, Küçük-yalı-Altın-tepe sırtı dolayında Altın-tepe Üyesi ve Ümraniye-Yukarı Dudullu yöresinde Dudullu Üyesi inşaat kazılarında sık sık açığa çıkar.

Sultanbeyli Formasyonu Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kaya-stratigrafi birimlerini aşılal uyumsuzlukla üstler. Taban kaya üzerinde, genellikle birkaç metre kalınlıkta, irili-ufaklı kuvarsit ve az oranda arkoz kökenli kum-çakıl, yer yer blok içeren bir düzey ile başlar. Yalnızca Dudullu Üyesi çoğu kesitinde taban kaya üzerinde doğrudan killi düzeyle oturur. Sultanbeyli Formasyonu genellikle taban kayanın faylı ve dik şevli çukurluklarını doldurmuştur. Formasyonun üyeleri arasındaki ayırım, yerel ortam koşulları değişikliği dışında, başlıca egemen tane boyu farklılığına dayanır. Üyeler arasında dokanak zonu boyunca ardalanma, kamalanma, mercekleme giriklik vb. yanal ve düşey geçişler olağandır. Dolayısıyla üyeler arasında sahada net dokanak çizmek çoğu halde zordur. Sultanbeyli Formasyonu’nun kalınlığı, sıkça değişen taban topoğrafyasına ve litoloji özelliklerine bağlı olarak yerden yere değişmektedir. Yapılan literatür çalışmalarında birimin yaşı Geç Miyosen – Pliyosen olarak tespit edilmiştir.

Güncel Alüvyon (Qal)

İstanbul il alanında Karadeniz, Marmara ve Boğaz’a dökülen akarsu vadilerinin tabanında genellikle dar şeritler şeklinde kum, mil ve boyu çoğunlukla 10 cm’yi aşmayan çakıllı gereçten meydana gelen alüvyon birikintileri gelişmiştir. “Alüvyon birikintileri genellikle yuvarlanmış – yarı yuvarlanmış, zayıf-orta boylanmış, çoğunlukla kuvarsit, kumtaşı, kireçtaşı ve volkanit türü gereçten meydana gelir. Karadeniz’e dökülen görel olarak yüksek eğimli ve dikçe yamaçlı akarsu vadileri boyunca hızlı aşınma ve taşınma sebebiyle çakıllı, bloklu gereç hakimdir”.

Boğaz’a ve Marmara Denizi’ne açılan akarsu vadilerinin akış aşağı kesimlerinde, buzul sonrası deniz düzeyinin yükselmesine ilişkin olarak, boğulma ve dolayısıyla düşük enerjili akış sebebiyle, vadi içlerine doğru ilerleyen kum-mil boyu ince gereçli alüvyon birikintileri gelişmiştir. “Göksu deresi, Küçük-su deresi, Bekar deresi ile Marmara Denizine açılan Çamaşırılık deresi, Kurbağalıdere, Küçük-yalı deresi, Büyük-yalı (Narlı) deresi, Tavşan deresi, Kemikli dere ile Umur deresi vadilerinin tabanında, OYO INC yükleniminde yapılan sondajlarda Kuşdili Formasyonu’nu oluşturan haliç çökellerinin üstünde 5-6

metreden 20 metrelere kadar farklılaşan kalınlıkta alüvyon kesilmiştir. Söz gelimi, Göksu çayının boğaza açıldığı alanda vadi tabanında yürütülen sondaj çalışmalarında, 40m'yi aşan kalınlıkta Kuşdili Formasyonu'nun haliç çökellerinin üstünde 21m kalınlıkta alüvyon tespit edilmiştir. Yine Kurbağalıdere'nin Marmara Denizine açıldığı alanda vadi tabanında 35m kalınlıktaki Kuşdili Formasyonu'nun çökellerinin üstünde 7.5m kalınlıkta kum çakıl gereçli alüvyon tespit edilmiştir. Çimen (2000), Ayamama deresi düzlüğünde, Kuşdili Formasyonu'nu oluşturan haliç çökellerinin üstünde 6.5m kalınlıkta alüvyon birikintisinin yer aldığını belirtmektedir". Alüvyonların bazıları, Marmara'ya açılan dere tabanlarında bilhassa sondajlarda rastlanan iri kuvarsit çakıl ile blokları, yakın yöredeki Sultanbeyli (Altıntepe ve Tuğlacıbaşı üyeleri) Formasyonu'ndan ikincil olarak taşınmışlardır. Kimi hallerde bu tarz birikintilerin Alüvyon veyahut Sultanbeyli Formasyonu'nun ilksel uzantısı olup olmadıkları hususu kuşkuludur.

3.4. Yapısal Jeoloji ve Tektonizma

"Farklı doğrultulardaki kıvrımlar veya interferans kıvrımlanmaya yatay ve düşey kesitte meydana gelen geometri oldukça karmaşıktır. Konkordan istif oluşturan İstanbul Paleozoyik çökelleri, Hersiniyen orojenezle beraber kıvrımlanmıştır. Hersiniyen kıvrımları esas olarak sıkışık, kapalı, asimetrik ve konsantrik tipte görünürler. Yerel olarak diapirik olanları da mevcuttur. İstanbul Paleozoyik istifleri içerisinde relatif olarak daha dayanımlı birimlerin bulunduğu yerlerdeki kıvrımlar ise daha geniş ve konsantrik olarak görülmektedir. Aksine, daha az dayanımlı yüzeylerinde ise sıkışık kıvrımlar görülmektedir".

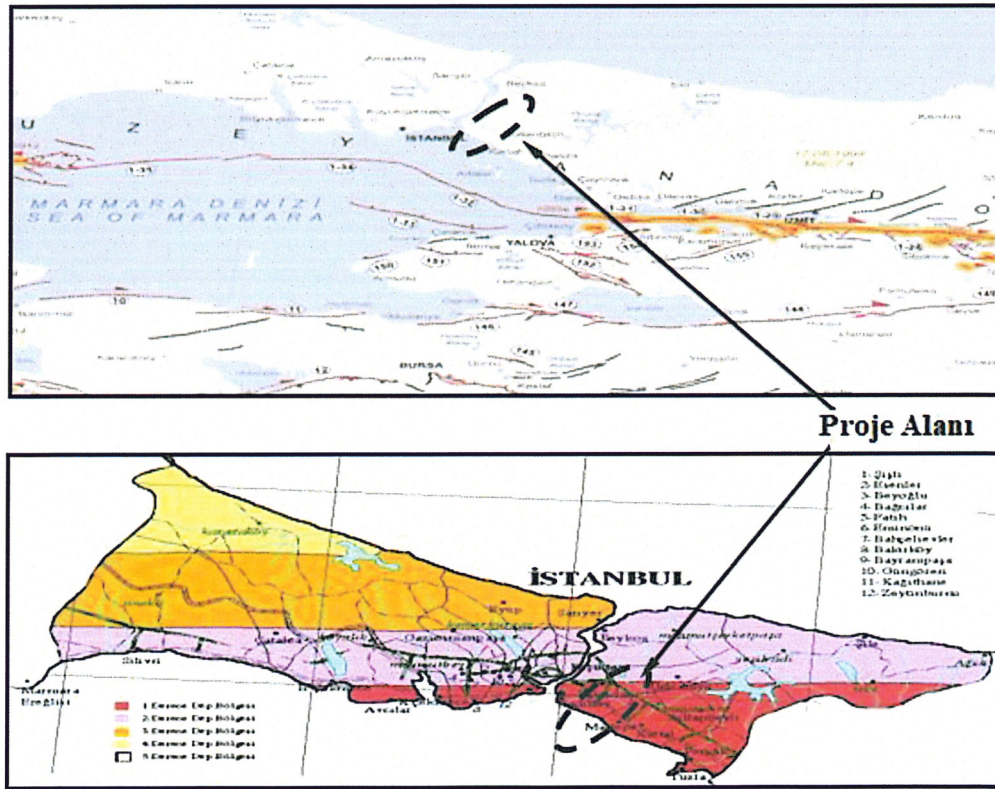
"Bölge üzerinde etkin olan Alpin orojenezinde tüm yaşlı birimler Üst Kretase – Paleosen ve Alt Eosen yaşlı birimler üzerine itilmişlerdir. Bu hareketler ile Paleozoyik yaşlı birimler ise ilk defa kıvrımlanmışlardır. Alt Eosen sonrasında günümüze değin gelişen sedimentler alttaki temelin kırılmalarına bağlı olarak açık kıvrımlar meydana getirmişlerdir. Paleozoyik birimlerin açısız diskordansla örten Eosen, Oligosen ve Miyosen çökelleri, çoğu yerde az eğik veya yataya yakındır. Pliyosen'den itibaren bölgede izlenen sıyrılmaya tektoniğine bağlı olarak gelişen Kuzey Anadolu Fay Zonu'nun (KAFZ) sebep olduğu deformasyonlarla İstanbul Yarımadası güneyindeki Neojen istifinde açık kıvrımlanmalar ve faylanmalar oluşmuştur".

3.5. Hidrojeoloji

İnceleme alanı ve yakın çevresindeki formasyonlar, litolojik özelliklerine bağlı olarak yeraltı suyu taşırlar. Proje alanında görülen Kurtköy formasyonuna (Opk) ait kumtaşı ve çakıltaş birimleri geçirimli, Pelitli formasyonuna (SDp) ait kireçtaşı ve şeyl birimleri geçirimli – az geçirimli, Pendik formasyonunun (Dp) kireçtaşı ve çamurtaşı birimleri de geçirimli – az geçirimli niteliklere sahiptir. Güzergahta yer alan kayaçlar, barındırdıkları çatlak sistemleri ile fay hatları boyunca yeraltı suyu dolaşımına izin verirler. Yüzeeye yakın yerlerde gözlenen Sultanbeyli formasyonuna (Ts) ait zeminleşmiş kil – silt seviyeleri içerdikleri granüler malzeme oranında yeraltı suyu iletebilirler. Alüvyon (Qal) olarak nitelendirilen siltli kum ve çakıl seviyeleri yeraltı suyu bakımından geçirimli özellik gösterir.

3.6. Depremsellik

Türkiye Deprem Bölgeleri Haritasına göre, çalışma alanının bulunduğu kesim, 1. derece deprem bölgesi sınırları dahilinde kalmaktadır. Bu kesime ait “Türkiye Deprem Bölgeleri Haritası” ve “Diri Fay Haritası” Şekil 3.3’te verilmiştir.

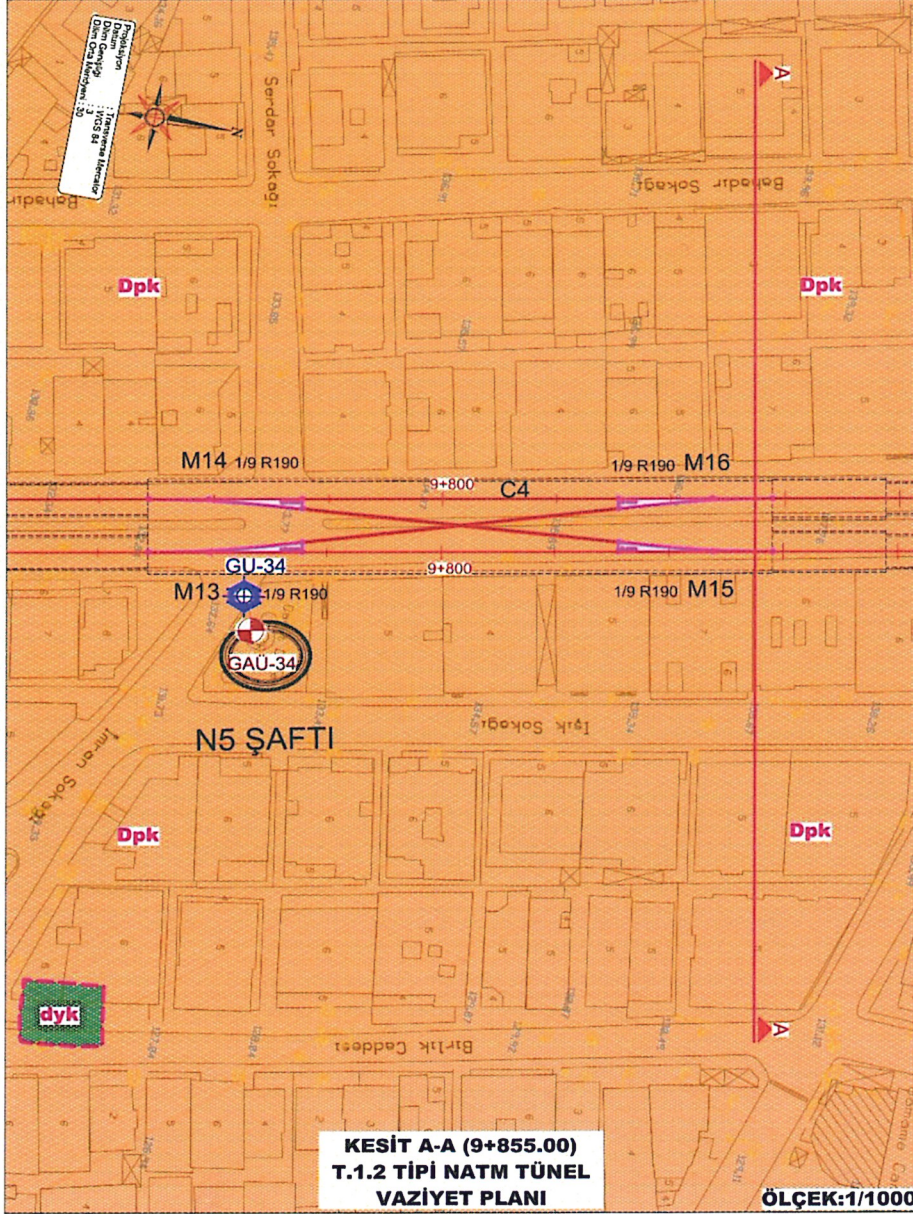


Şekil 3.3. İstanbul ili ve çevresi diri fay haritası ve deprem bölgeleri haritası

3.7. Km: 9+749 – 9+858 T1.2 NATM Makas Tüneli Kesit Alanı Jeomekanik

Özellikleri

Tez çalışmasına altlık oluşturan Kesit A - A (9+855)'ya ait vaziyet planı Şekil 3.4.'te sunulmuştur.



Şekil 3.4. Kesit A-A T1.2 tüneli vaziyet planı

İlgili kesimde mühendislik jeolojisi haritalaması ve araştırma sondaj verilerine dayalı olarak zemin profilinin Pendik formasyonu Kartal üyesi (Dpk/Dpkz), birim içerisinde gelişmiş ezik zonlar ve volkanik sokulumlar ile bu birimlerin üzerinde yer alan Yapay Dolgu (Yd) ile temsil edildiği belirlenmiştir.

Yapay Dolgu (Yd)

Yapay Dolgu (Yd) çalışma alanında gerçekleştirilen temel araştırma çalışmalarında yaklaşık 1.50 m kalınlığında tespit edilmiş olup genel olarak; açık kahve – kızılımsı kahve renkli, killi çakıllı kumdan oluşur. Bu birimde yer yer beton parçalarına rastlanılmıştır.

Pendik Formasyonu (Dpk/Dpkz)

Bu kesimde hakim birim olarak Pendik formasyonu (Dpk/Dpkz) yer almaktadır. Kiltası seviyeleri ile temsil edilen formasyon genel olarak; koyu gri renkli, orta sert – sert, orta dayanımlı ve az – orta derecede ayrılmıştır. Birim içerisinde yer yer ezilme zonları tespit edilmiştir. Formasyon içerisinde ayrıca grimsi açık yeşil renkli, zayıf – çok zayıf dayanımlı, az – orta ayrılmış volkanik sokulumlar yer alır.

Kurtköy formasyonu içerisinde gözlenebilen süreksizlikler 0°, 20°, 30°, 45°, 65°, 90°; açık, çok sık – parçalı, pürüzlü - pürüzsüz, FeO boyalı, 0°, 20°, 45°, kapalı, çok sık, 1 – 2 mm kalsit dolguludur.

Pendik formasyonu (Dpk/Dpkz) içerisinde gerçekleştirilen temel araştırma sondajlarından elde edilen karot yüzdesi (TCR), kaya kalite değeri (RQD), pressiyometre deneyleri ile bu birimde yapılan kaya mekaniği deney sonuçları aşağıda özetlenmiştir.

Karot Yüzdesi (TCR)	$\% 85 \leq TCR \leq \% 100$
Kaya Kalitesi (RQD)	$\% 14 \leq RQD \leq \% 69$
Tek Eksenli Basınç Dayanımı (q_u)	$34.4 \text{ MPa} \leq q_u \leq 48.4 \text{ MPa}$
Birim Hacim Ağırlık (γ_n)	$2.67 \text{ gr/cm}^3 \leq \gamma_n \leq 2.72 \text{ gr/cm}^3$
Elastisite Modülü (E_i)	$6.40 \text{ GPa} \leq E_i \leq 12.5 \text{ GPa}$
Pressiyometre limit basıncı (P_{LN})	$43.5 \text{ kg/cm}^2 \leq P_{LN}$
Pressiyometre modülü (E_p)	$4 \text{ 015 kg/cm}^2 \leq E_p$

Pendik formasyonunun (Dpk / Dpkz) yüzeye yakın kesimlerinde yaklaşık 1.50 m mertebelerinde tümüyle ayrılmış seviyeler tespit edilmiştir. Bu seviyeler sarımsı kahverenkli, çok zayıf – zayıf dayanımlı kiltası/silttaşı ile temsil edilmektedir. Birime ait süreksizlikler ayrışma derecesine bağlı olarak genellikle gözlenmemektedir.

Km: 9+749– 9+858 kesimde gerçekleştirilen basınçlı su testi sonuçlarına göre kiltası birimi az geçirimli – geçirimsiz özellik sunar.

Tasarıma Esas Jeoteknik Parametreler

İlgili kesim kapsamında, idealize zemin profilinde yer alan zemin birimleri için, arazi ve laboratuvar verilerine dayalı bağıntılar kullanılarak gerçek zemin davranışını yansıtacak jeoteknik tasarım parametreleri tahmininde bulunulmuştur. Bu parametreler kohezyonsuz zemin birimi için Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Kohezyonsuz zemin birimi için jeoteknik parametreler

Birim	Zemin Tipi	SPT- N _{ort}	γ (kN/m ³)	c' (kPa) *2	ϕ' (°)	M veya E _s (MPa)			
						Bağ1	Bağ2	Ortalama	Seçilen
Yd	Gevşek Killi Kumlu ÇAKIL	5*1	18.0	1	30	6	6	6	6
Dpk- W5	Çok Sıkı Killi Siltli ÇAKIL	50*3	22.0	1	43	60	60	60	60

*1: Bu birim ile SPT sonucu olmamakla birlikte güvenli tarafta kalınarak “gevşek” tanımı ile SPT-N = 5 olarak kabul edilmiştir.

*2: Karot fotoğrafları ve sondaj tanımlamalarındaki birim içerisindeki ince dane içeriğine bağlı kabul yapılmıştır.

*3: SPT-N=50+ ve Refü değerleri N=50 kabul edilmiştir. (Referans sondajlar, GAÜ-46, GAÜ-47)

Çizelge 3.2. Kohezyonlu zemin birimleri için jeoteknik parametreler

Birim	Zemin Tipi	SPT- N _{ort}	PI	c _u (kPa)				γ (kN/m ³)	c' (kPa)	ϕ' (°)	E _u (MPa)	M veya E _s (MPa)			
				Bağ 1	Bağ 2	O rt.	Seç. .					Bağ1	Bağ2	Ort.	Seç.
Yd	Çok katı çakıllı KİL	18*1	20* 2	25	18	22	20	19.0	5*3	28	31	25	18	22	20

*1: Referans sondajlar: GU-12, GU-13

*2: Bu birimde plastisite indeks değeri olmamakla birlikte parametre seçiminde en yakında gözlemlenen 20 değeri seçilmiştir.

*3: İlgili bağıntıdan elde edilen 10 kPa değerindeki efektif kohezyon, malzemenin içerisindeki kum oranı göz önünde bulundurularak 5 kPa'a düşürülmüştür.

Kaya Parametreleri

Projede güzergahında yer alan, NATM metodu ile yapılması planlanan peron tünelleri için araştırma çalışmalarından elde edilen veritabanı dikkate alınarak Bieniawski 1989'a göre "kaya kütle puanlaması" (RMR) yapılmış ve buna bağlı olarak da "jeolojik dayanım indeksi" (GSI) sayısı elde edilmiştir.

Sahray-1 Cedid İstasyonu peron tüneli geçkisi ve üst yapıların etkileşim alanında zemin profili genel olarak Pendik formasyonuna (Dpk/Dpkz) ait kıltaşı – silttaşı ar dalanması ile çok – tümüyle ayrıışmış seviyelerinden (Dpk/Dpkz – W5) ve Pelitli formasyonuna (SDp) ait kumtaşı – kumlu killi kireçtaşı ar dalanmalı birimlerden meydana gelmektedir. Bu birimler tünel kotları boyunca genellikle az – orta derecede ayrıışmış ve orta dayanımlıdır. Bu kesimle ilgili kaya kütle puanlamaları Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çarşı İstasyonu peron tüneli geçkisi ve üst yapıların etkileşim alanında zemin profili Pendik formasyonuna (Dpk/Dpkz) ait kıltaşı/silttaşı ve yer yer kumlu kireçtaşı birimleri ile çok – tümüyle ayrıışmış seviyelerinden (Dpk/Dpkz – W5) meydana gelmektedir. Bu birimler tünel kotları boyunca genellikle orta – orta zayıf dayanımlı, orta derecede – yer yer çok ayrıışmıştır. Bu birimler içerisinde zayıf kaya kalitesine sahip ezik zonlar tespit edilmiştir. Bu kesimle ilgili kaya kütle puanlamaları Çizelge 3.3.'de verilmiştir.

Kaya kütle puanlaması hesaplanırken süreksizliğin aralığı, uzunluğu, açıklığı, pürüzlülük, dolgu, ayrıışma, yeraltı suyu, kaya kalitesi göstergesi ve kaya malzemesinin dayanımı dikkate alınmaktadır. Buna ek olarak tünel zeminini oluşturan kayaçlar için; seçilen tek eksenli basma dayanımı ve birim ağırlık ile ilgili laboratuvar verileri seçilmiş olup, GSI sayısı (Modifiye RMR - 5), kayaç malzeme sabiti (m_i), örselenme faktörü (d_f) ve kayaçlara ait elastisite modülü gibi veriler Çizelge 3.4.'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.3. Analizlerde kullanılan kaya kütle puanlamaları

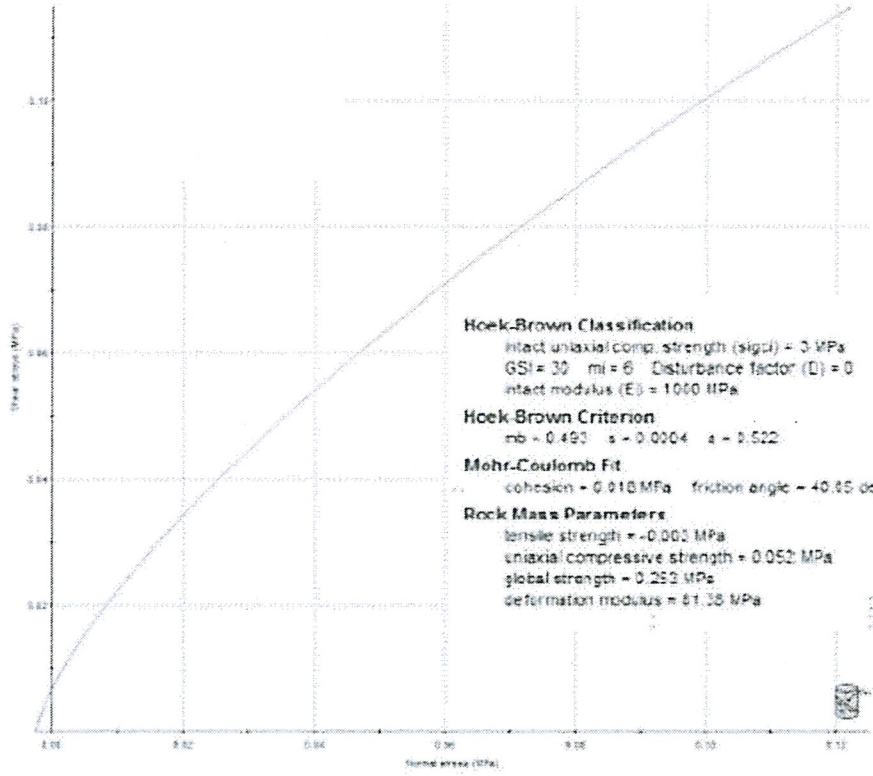
Kesit	Jeolojik Birim	Kaya Mukavemeti	RQD	Eklem Sıklığı	Eklem Durumu	Yeraltı suyu	RMR	GSI
A-A	Dpk/Dpkz - W5 (Kiltaş - Silttaş)	1	3	8	8	15	35	30
	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Silttaş)	4	13	8	11	15	51	46
B-B	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Silttaş)	4	13	8	11	15	51	46
C-C	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Silttaş)	4	13	8	11	15	51	46
	Ezik Zon (Kiltaş-silttaş Ard.)	2	3	5	5	15	30	25
D-D	Opks/Opkb - W5 (Kiltaş/Silttaş)	1	3	8	8	15	35	30
	Opks/Opkb (Kiltaş/Silttaş)	4	8	8	11	15	46	41
	Ezik Zon (Kiltaş-silttaş Ard.)	2	3	5	5	15	30	25
E-E	Opks/Opkb - W5 (Kiltaş/Silttaş)	1	3	8	8	15	35	30
	Opks/Opkb (Kiltaş/Silttaş)	4	8	8	11	15	46	41
	Ezik Zon (Kiltaş-silttaş Ard.)	2	3	5	5	15	30	25

Çizelge 3.4 Analizlerde kullanılan kaya kütle parametreleri

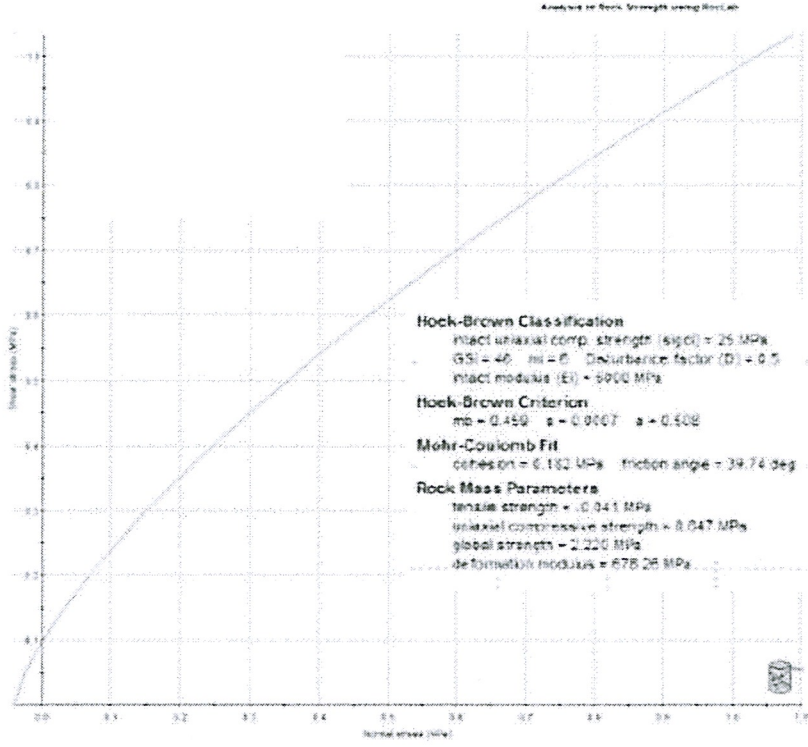
Kesit	Jeolojik Birim	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, σ_{ci} (MPa)	GSI	Kayaç Malz. Sabiti (m_i)	Elastisite Modülü (E_i) (MPa)	Birim ağırlık (kN/m^3)	Örselenme faktörü (d_f)
A-A	Dpk/Dpkz - W5 (Kiltaş - Silttaş)	3	30	6	1000	24	0
	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Silttaş)	25	46	6	6000	26	0.5
B-B	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Silttaş)	25	46	6	6000	26	0.5
C-C	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Silttaş)	25	46	6	6000	26	0.5
	Ezik Zon (Kiltaş-silttaş Ard.)	10	25	6	4000	24	0

Kesit	Jeolojik Birim	Tek Eksenli Basınç Dayanımı, σ_{ci} (MPa)	GSI	Kayaç Malz. Sabiti (m_i)	Elastisite Modülü (E_i) (MPa)	Birim ağırlık (kN/m^3)	Örselenme faktörü (d_f)
D-D	Opks/Opkb - W5 (Kiltaş/Silttaş)	3	30	6	1000	24	0
	Opks/Opkb (Kiltaş/Silttaş)	30	41	6	12000	27	0.5
	Ezik Zon (Kiltaş-silttaş Ard.)	10	25	6	4000	24	0.3
E - E	Opks/Opkb - W5 (Kiltaş/Silttaş)	3	30	6	1000	24	0
	Opks/Opkb (Kiltaş/Silttaş)	30	41	6	12000	27	0.5
	Ezik Zon (Kiltaş-silttaş Ard.)	10	25	6	4000	24	0

Bu değerler RocLab (version 1.032) bilgisayar programı ile değerlendirilmiş ve analiz kesitlerinde karşılaşılan birime ait normal gerilme – kesme dayanımı grafikleri hazırlanmış olup, Şekil 3.5.'de ve Şekil 3.6.'da sunulmuştur.



Şekil 3.5. (Kesit A-A) Çok – tümüyle ayrışmış Pendik formasyonuna (Dpk / Dpkz – W5) ait normal gerilme – kesme dayanımı grafiği (H = 5.00 m)



Şekil 3.6. (Kesit A-A) Pendik formasyonuna (Dpk / Dpkz) ait normal gerilme – kesme dayanımı grafiği (H = 40.00 m)

Öte yandan, destek sistemlerine ait istasyon kesit analizleri için seçilen farklı kaya ve zemin birimlerine ait kohezyon (c), içsel sürtünme açısı (ϕ), birim hacim ağırlık (γ) ve pressiyometre ve laboratuvar deney sonuçları kullanılarak elde edilen deformasyon modülü (E) değerleri, Çizelge 3.5 'te özetlenmektedir.

Çizelge 3.5 Analizlerde kullanılan kaya parametreleri

Kesit	Jeolojik Birim	H (m)	γ (kN /m ³)	c (kPa)	ϕ (°)	E (MPa)
A-A	Dpk/Dpkz - W5 (Kiltaş - Siltaş)	5	24	18	40	81
	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Siltaş)	40	26	182	40	678
B-B	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Siltaş)	20	26	138	45	678
C-C	Dpk/Dpkz (Kiltaş - Siltaş)	40	26	182	40	678
	Ezik Zon (Kiltaş-siltaş Ard.)	40	24	85	32	239
D-D	Opks/Opkb - W5 (Kiltaş/Siltaş)	5	24	18	40	81
	Opks/Opkb (Kiltaş/Siltaş)	20	27	125	44	982
	Ezik Zon (Kiltaş-siltaş Ard.)	20	24	46	33	171
E-E	Opks/Opkb - W5 (Kiltaş/Siltaş)	5	24	18	40	81
	Opks/Opkb (Kiltaş/Siltaş)	20	27	125	44	982
	Ezik Zon (Kiltaş-siltaş Ard.)	20	24	56	37	239

4. SAYISAL MODELLEME ÇALIŞMASI

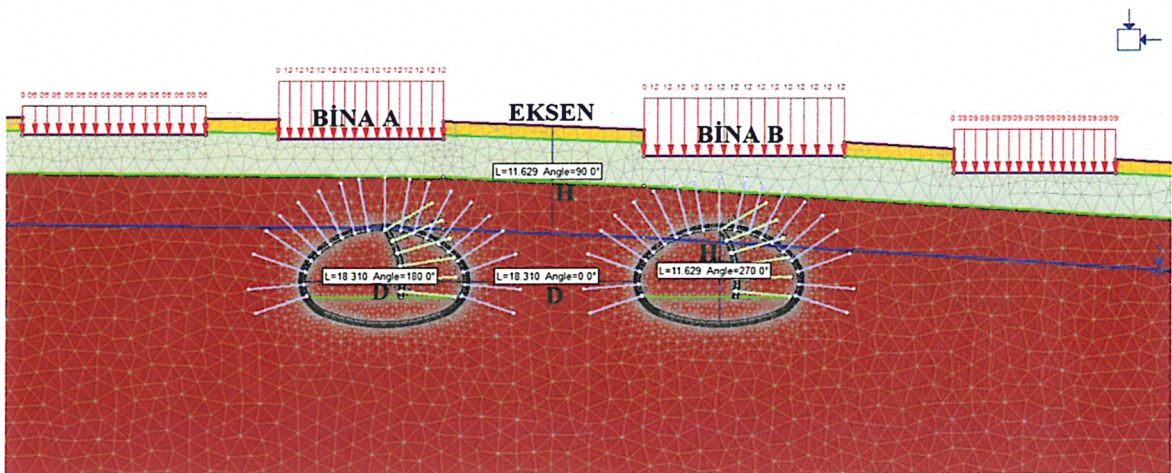
Tez konusu modelleme çalışması için Phase2 programı kullanılmış olup, modelin doğrulaması adına İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesinde, proje çalışmaları Yüksel Proje A.Ş. yükleniminde yürütülen “Ümraniye - Ataşehir - Göztepe Metrosu İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri” dahilinde, “T1.2 Tipi NATM Tünelleri Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma ve Hesap Raporu” içeriğinde yer alan “Kesit A-A (9+855)” incelemesi kullanılmıştır.

Çalışmanın neticesinde; tüneller arası açıklık ve tünellerin derinliği ile birlikte kazı etap sayısının, Kesit A-A (9+855) incelemesine konu yüzey oturmasına olası etkisi değerlendirilmiştir.

Tez kapsamında yürütülen modelleme çalışmasında sismik yükler ve yer altı suyu etkisi göz ardı edilmiş olup, uygulama pratiği açısından uygun olmadığı düşünüldüğünden kazı etabı sayısı 9 Etap, tünel derinliği ise 5H ile sınırlı tutulmuştur.

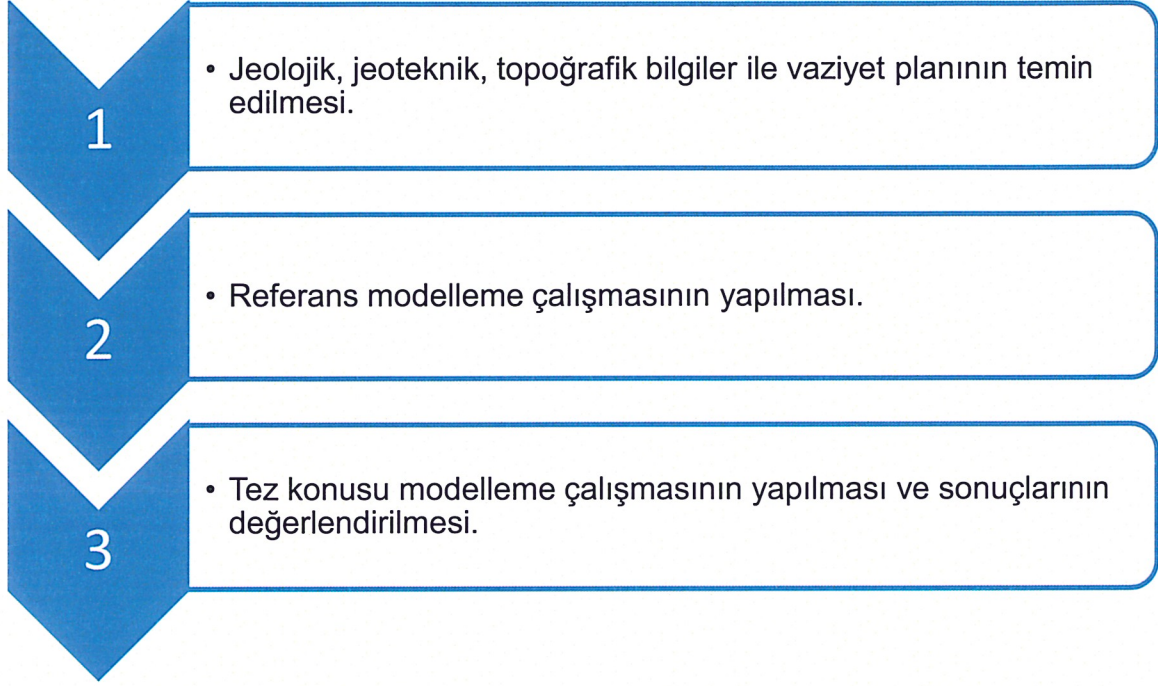
Bina A ve Bina B arasında bir nokta (0, 0) eksen olarak kabul edilmiş, tüneller arası mesafe değişkeni, eksen göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Tüneller binalara konumlarına göre aksenal olarak sabit tutulmuş olup, eksen değiştirilip tüneller konumsal hareket ettirildiğinde sonuçların değişebileceği unutulmamalıdır.

Bina A ve Bina B'nin konumları ile eksen, tüneller arası mesafe (D) ve tünel derinliği (H) Şekil 4.1.'de sunulmuştur.



Şekil 4.1. Bina A, Bina B ve eksen konumları ile tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) parametreleri

Modelleme çalışması, Şekil 4.2’de ifade edildiği şekliyle, aşamalı olarak 3 ana basamaktan oluşmuştur.



Şekil 4.2. Modelleme çalışması ana akım şeması

Modelleme çalışmasına tez konusu bölgeye ait jeolojik, jeoteknik, topoğrafik verilerin ve vaziyet planının temini ile başlanmıştır. Modellemede yer alacak gerek taze gerekse mukavim haldeki püskürtme betonun jeomekanik parametreleri içlerinde yer alan donatı (iksa, hasır tel) göz önünde bulundurularak aşağıda belirtilen hesaplama (2) ile revize edilmiş, ardından 2. aşama olan referans modelin oluşturulmasına geçilmiştir.

$$N = E_{\text{ÇELİK}} / E_{\text{BETON}}$$

$$A_{\text{EŞDEĞERBETON}} = A_{\text{İKSA}} \times N / \text{İksa Arası Aralık}$$

$$A_{\text{BETON}} = A_{\text{BETON}} + A_{\text{EŞDEĞERBETON}}$$

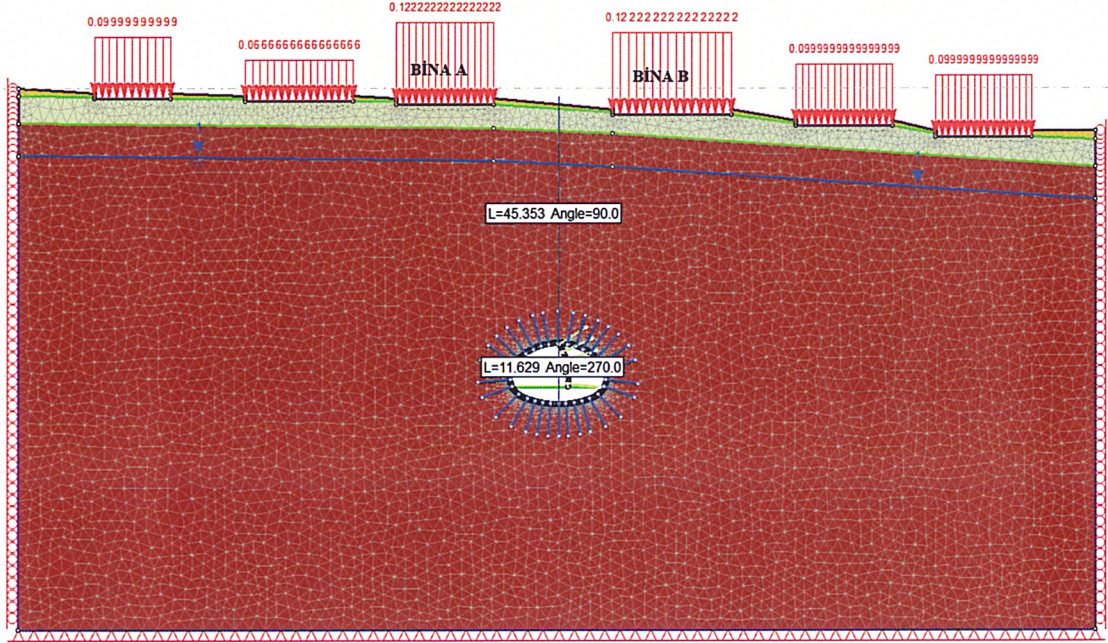
$$E_{\text{YENİ}} = E_{\text{BETON}} \times \epsilon_{\text{ABETON}} / A_{\text{BETON}} \quad (2)$$

Modelleme çalışması için aşağıda belirtilen tahkimat elemanları ve düzeni kullanılmıştır.

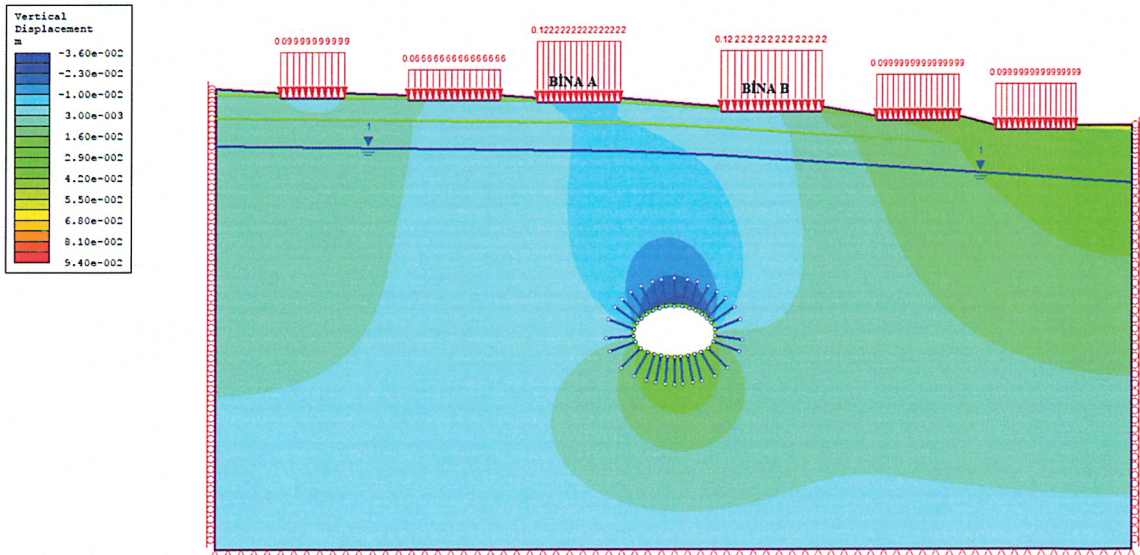
- Püskürtme beton tünel çevresinde $t = 30$ cm; geçici duvarda $t = 25$ cm
- Püskürtme betonu çelik hasırı: Q335 / 335 (iç – dış), geçici duvarda Q221 / 221 (iç – dış)
- Çelik kafes kiriş iksa: Merkezden merkeze 0.75 - 1.20 m aralıklı
- Harç dolgulu kaya bulonları: 6.00 m, Geçici duvarda 4.00 m
- Bulon aralığı merkezden merkeze=0.75-1.20m

Referans model ana hatlarıyla Şekil 4.3.'de gösterildiği şekliyle oluşturulmuştur. Detaylı modelleme aşamaları teze konu model çalışmasında anlatılacaktır.

Yürütülen referans model çalışmasına ilişkin ağ yapısının ve düşey yer değiştirme konturlarını gösterir görseller Şekil 4.4. ile Şekil 4.5.'de sunulmuştur.

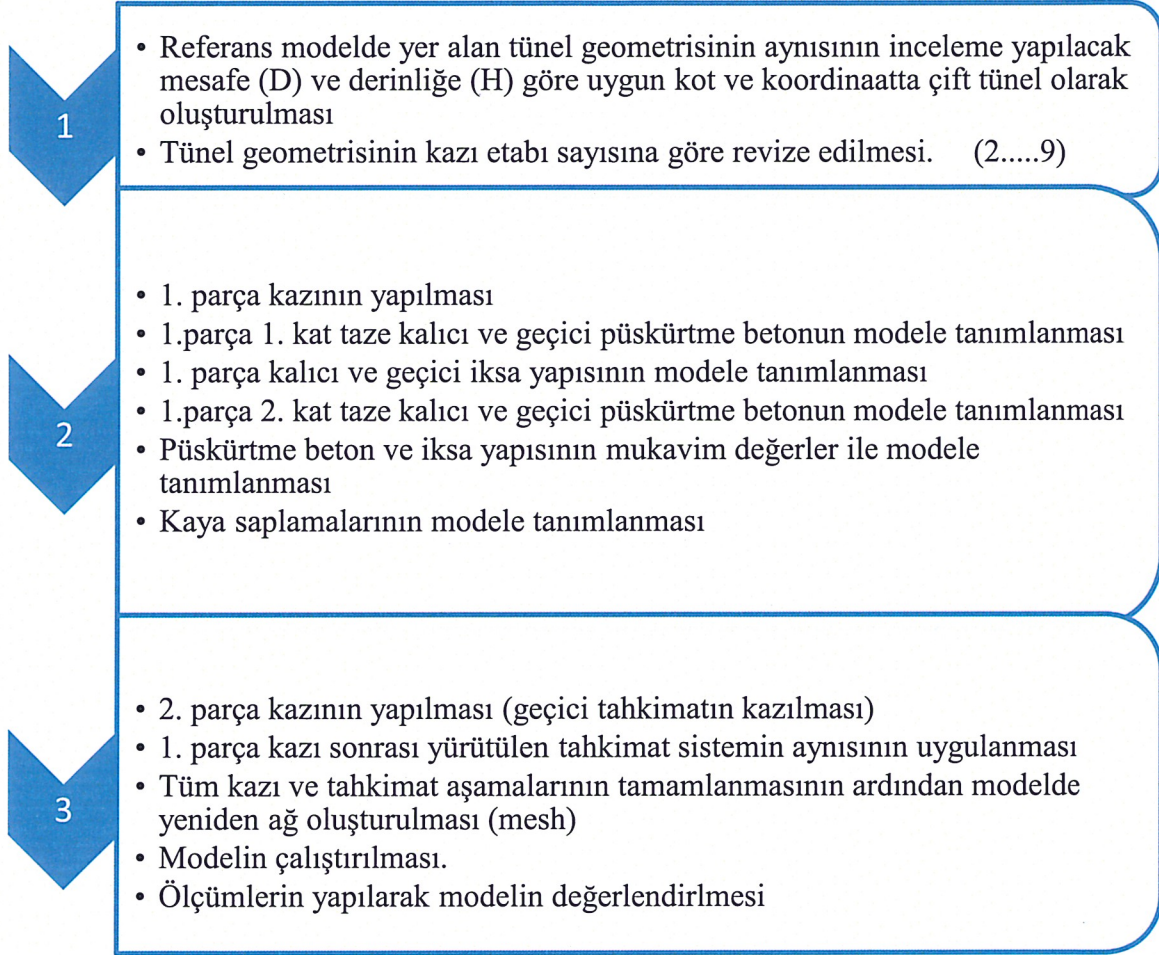


Şekil 4.4. Referans model çalışması ağ yapısı



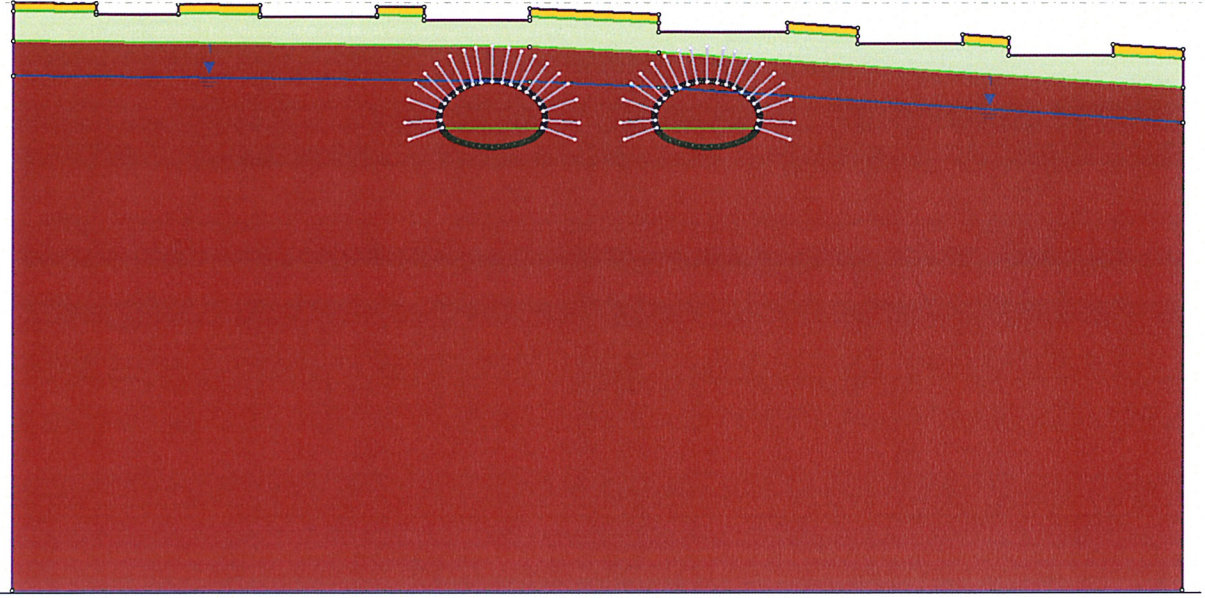
Şekil 4.5. Referans model düşey yer değiştirme konturları

Teze konu modelleme çalışmasında ise; referans modelleme çalışması altlık olarak kullanılmış olup, bina yükü göz ardı edilecek model için bina yükü modelden çıkarılmış, topoğrafya düz hale getirilerek modelleme yapılmıştır. Teze konu modelleme çalışmasının akım şeması Şekil 4.6.'da gösterilmiştir.

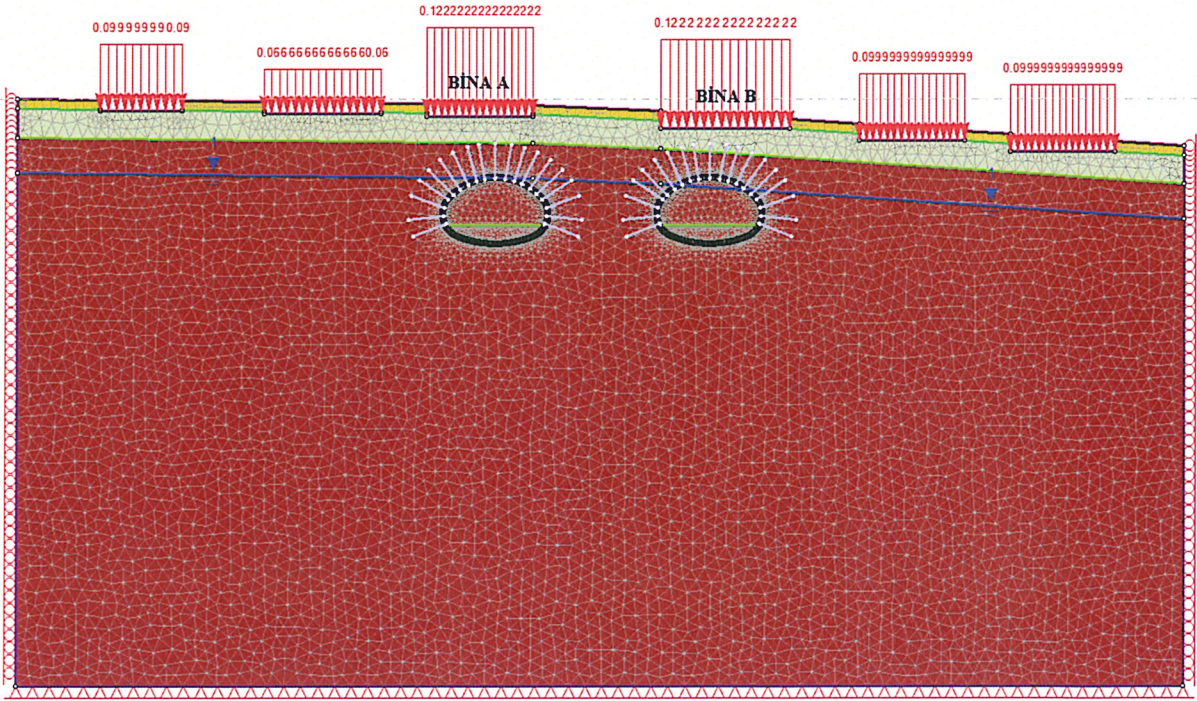


Şekil 4.6. Teze konu model çalışması akım şeması

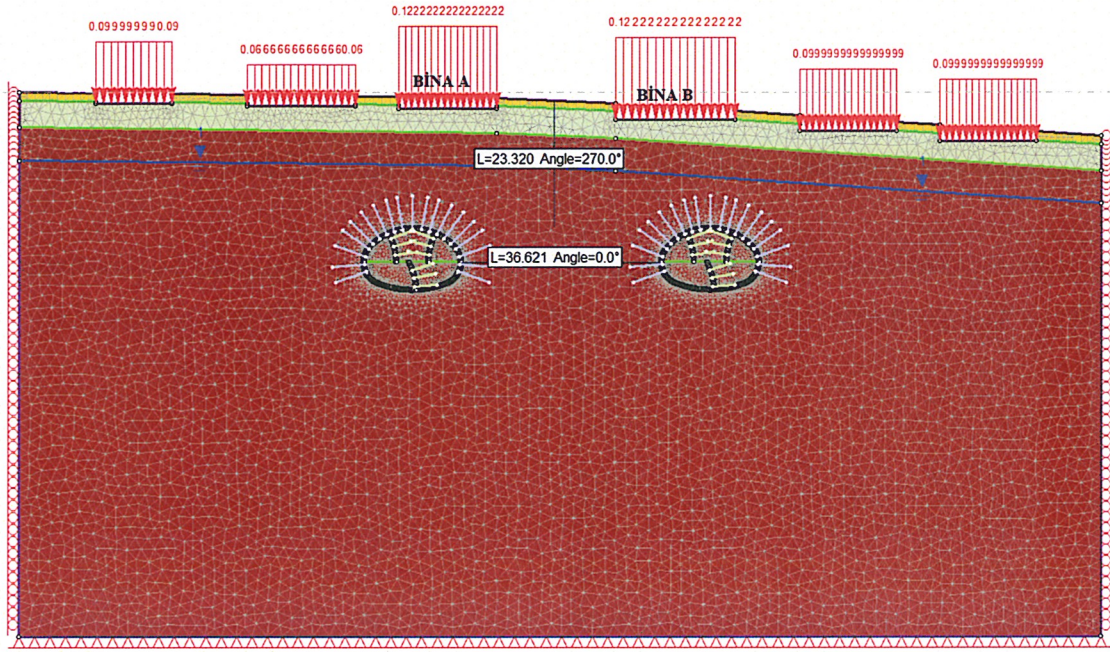
Yürütülen modelleme çalışmasına ilişkin görseller Şekil 4.7. ve Şekil 4.8. ile Şekil 4.9., Şekil 4.10., ve Şekil 4.11.'de sunulmuştur.



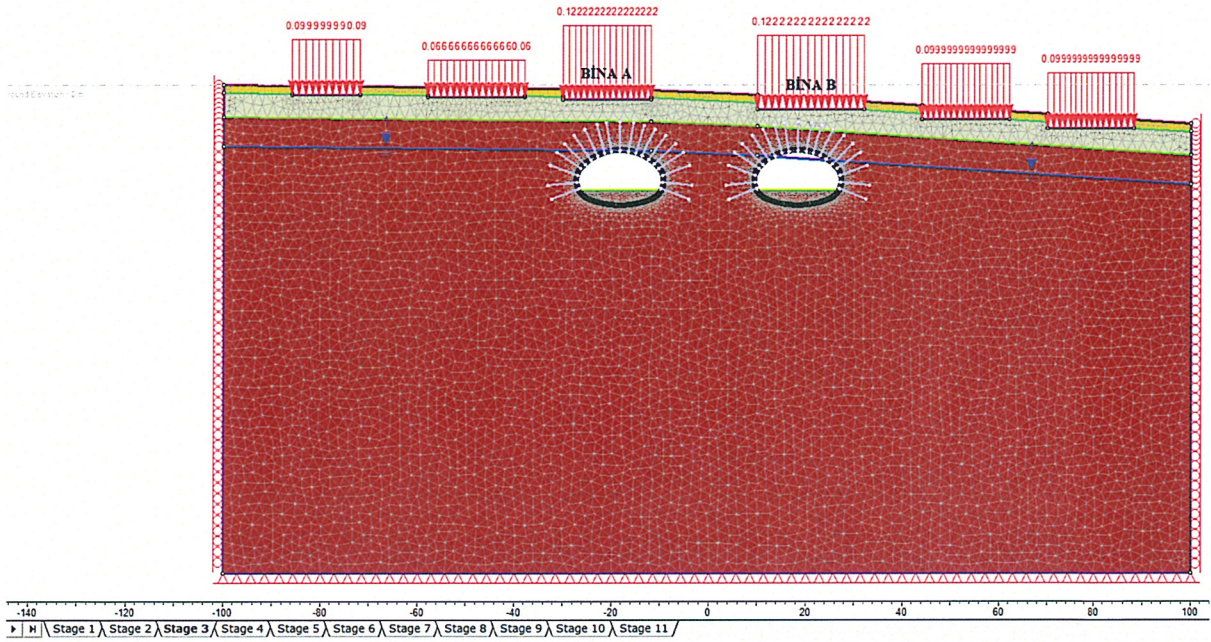
Şekil 4.7. Sınır koşulları ve tünel geometrisi oluşturulmuş model



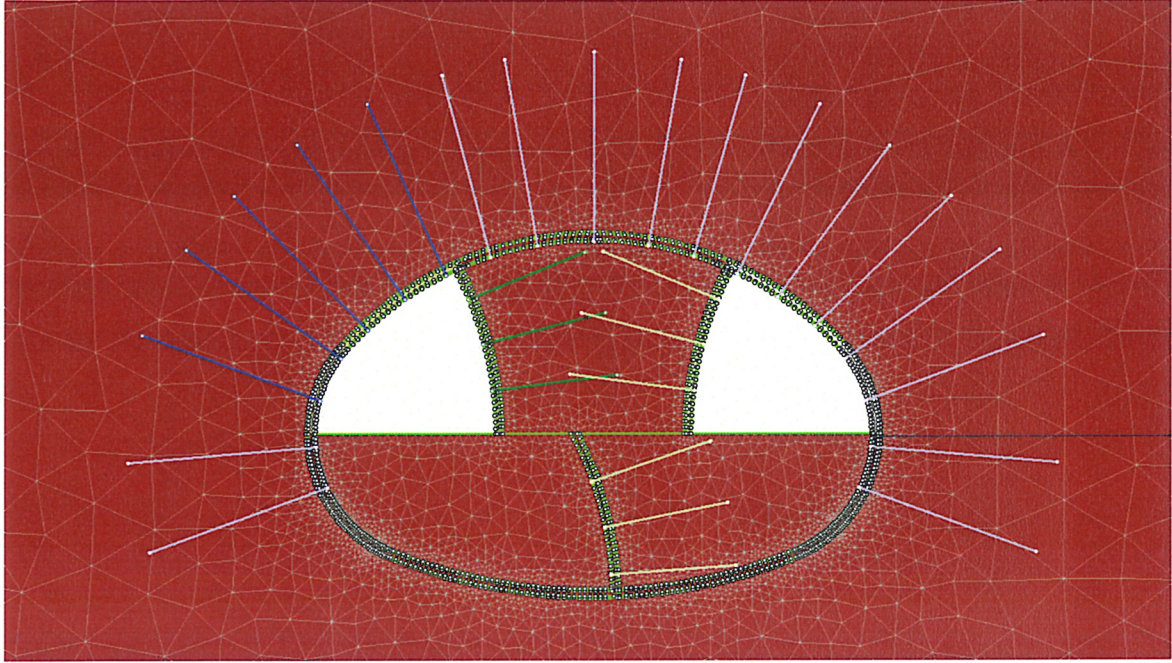
Şekil 4.8. Yerinde şartlar oluşturulmuş model



Şekil 4.9. 2D-2H 5 aşamalı kazı modeli

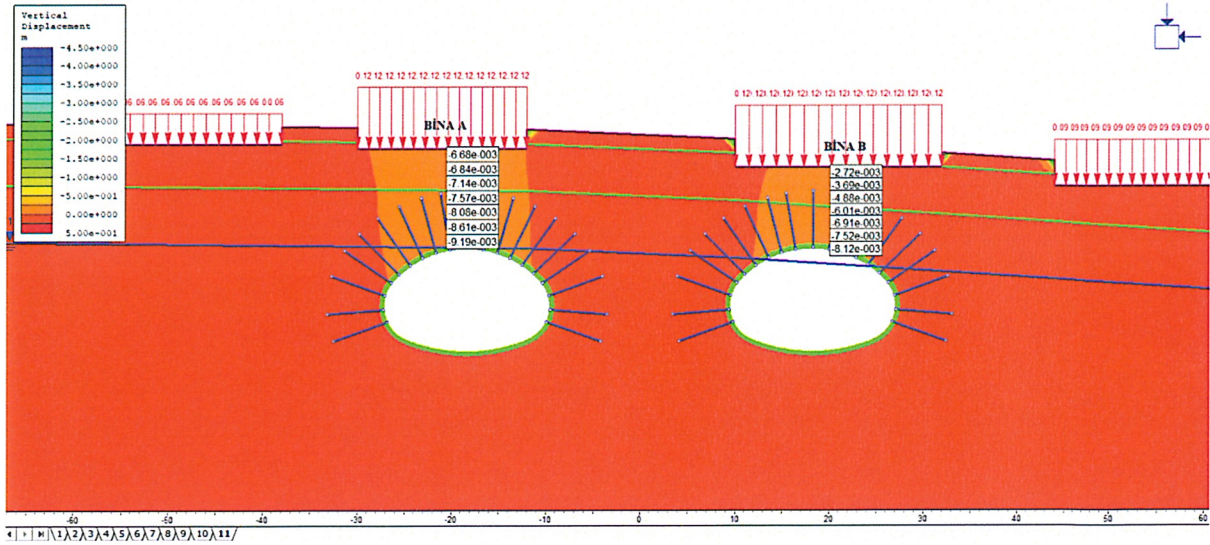


Şekil 4.10. 1D-1H 2 aşamalı kazı modeli



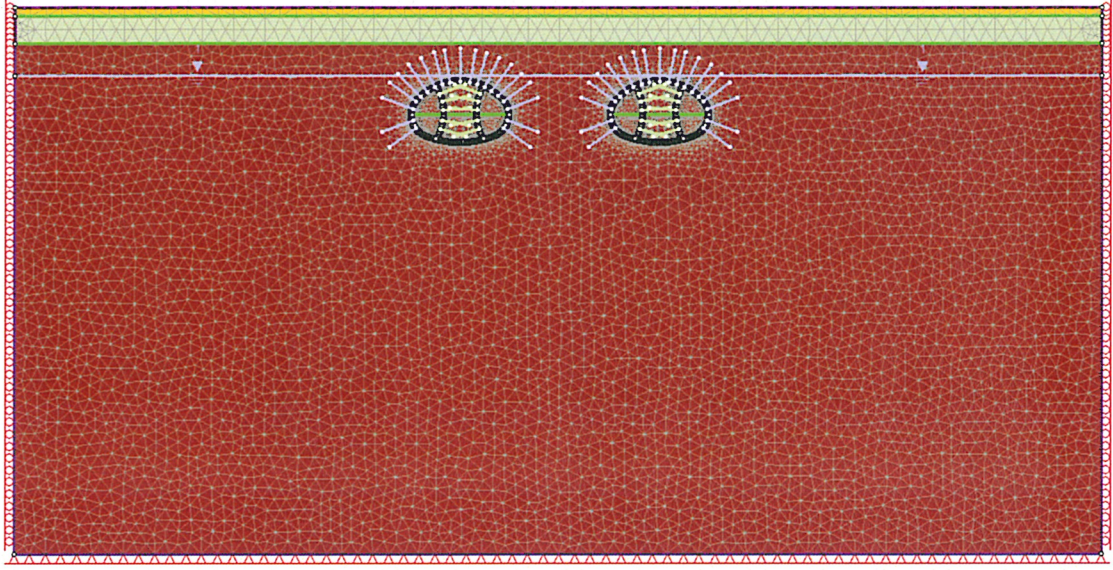
Şekil 4.11. 5 aşamalı kazı modeli

Farklı derinlik, tüneller arası mesafe ve kazı etabı sayısına göre oluşturulan modeller neticesinde, Şekil 4.12. ile Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.,'de gösterildiği üzere Bina A ve Bina B için bina temellerinde beklenen oturmalar ölçülmüştür.

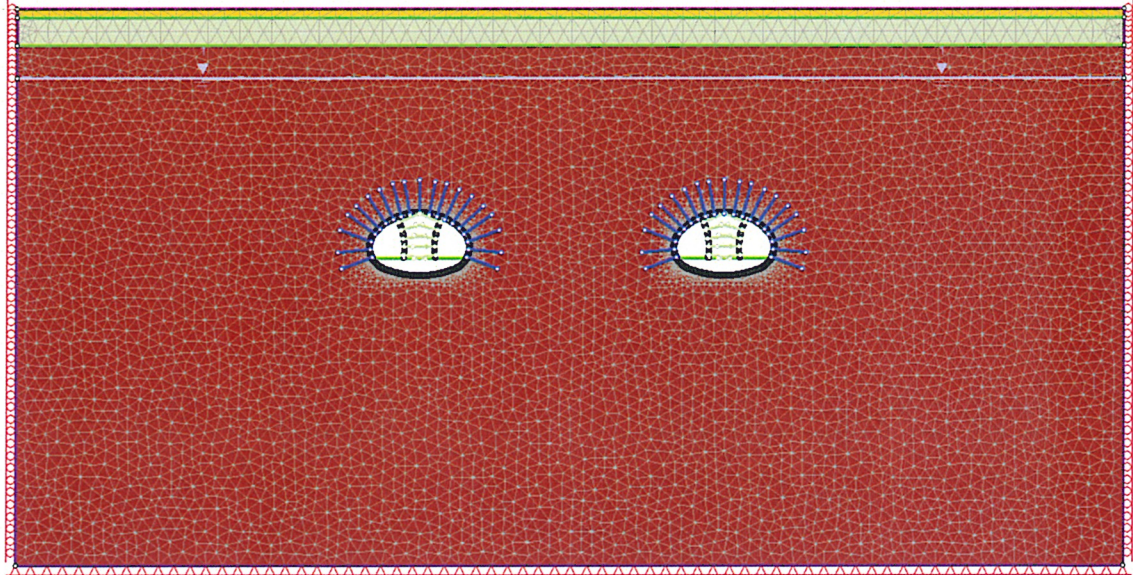


Şekil 4.12. 2 Aşamalı kazı modeli yüzey oturma ölçümü

Bina yükü göz ardı edilmiş, düz topoğrafya için yürütülen modelleme çalışmasına ilişkin görseller Şekil 4.15. ile Şekil 4.16.'da sunulmuştur.

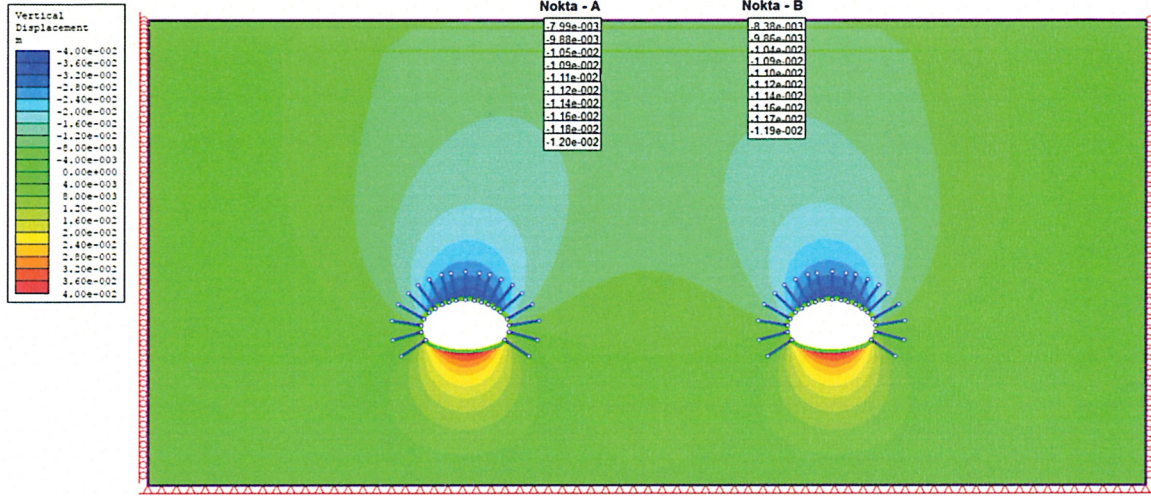


Şekil 4.15. 1D-1H 6 Aşamalı kazı modeli (Bina yükü göz ardı edilmiş.)



Şekil 4.16. 2D-3H 4 Aşamalı kazı modeli (Bina yükü göz ardı edilmiş.)

Bina yükü göz ardı edilmiş, düz topoğrafya için; farklı derinlik, tüneller arası mesafe ve kazı etabı sayısına göre oluşturulan modeller neticesinde, Şekil 4.17.'de gösterildiği üzere Nokta - A ve Nokta - B için beklenen oturmalar ölçülmüştür.



Şekil 4.17. 3D-5H 8 Aşamalı kazı modeli yüzey oturma ölçümü
(Bina yükü göz ardı edilmiş.)

Yürütülen modelleme çalışması neticesinde; mevcut jeolojik, jeoteknik ve topoğrafik şartlar ile bina yükleri göz önünde bulundurularak, farklı mesafe, derinlik ve kazı etabı sayısına göre Bina A ve B için beklenen oturma değerleri Çizelge 4.1. ile Çizelge 4.2.'de sunulmuştur.

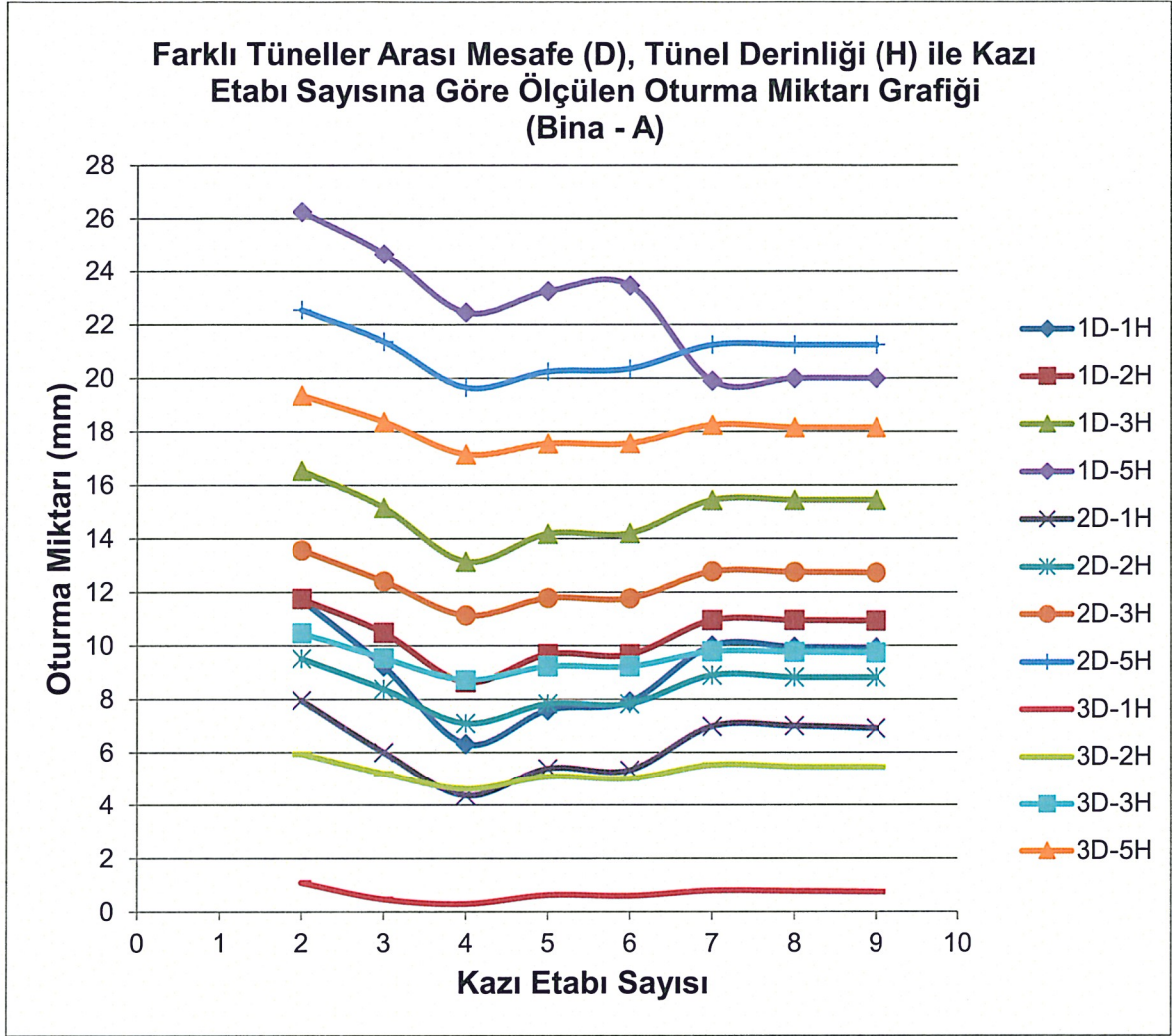
Çizelge 4.1. BİNA - A için öngörülen oturma değerleri (mm)

BİNA - A	AŞAMALAR							
	2	3	4	5	6	7	8	9
MESAFE								
1D&1H	11.73	9.24	6.33	7.6	7.92	10.01	9.96	9.93
1D&2H	11.75	10.48	8.64	9.68	9.67	10.95	10.95	10.93
1D&3H	16.55	15.16	13.15	14.19	14.21	15.45	15.45	15.45
1D&5H	26.25	24.66	22.45	23.25	23.46	19.9	20	20
2D&1H	7.96	6.01	4.38	5.4	5.34	6.99	7.01	6.92
2D&2H	9.53	8.39	7.11	7.84	7.84	8.91	8.83	8.83
2D&3H	13.57	12.4	11.13	11.78	11.77	12.77	12.75	12.73
2D&5H	22.55	21.36	19.65	20.25	20.36	21.25	21.25	21.25
3D&1H	1.09	0.47	0.3	0.63	0.6	0.8	0.78	0.75
3D&2H	5.95	5.21	4.63	5.09	5.02	5.54	5.47	5.46
3D&3H	10.49	9.55	8.73	9.24	9.24	9.8	9.78	9.75
3D&5H	19.35	18.36	17.15	17.55	17.56	18.25	18.15	18.15

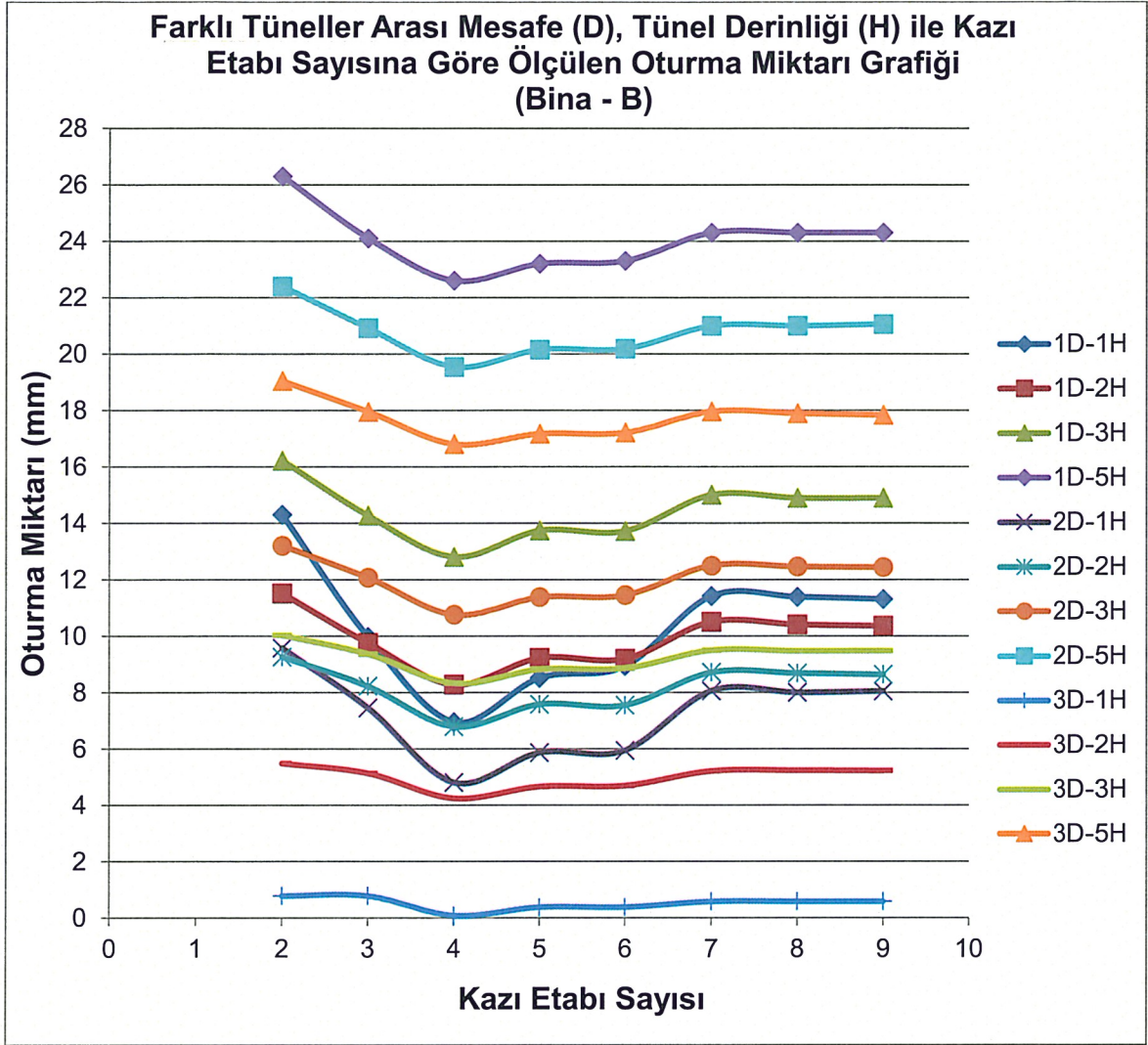
Çizelge 4.2. BİNA - B için öngörülen oturma değerleri (mm)

BİNA - B	AŞAMALAR							
	2	3	4	5	6	7	8	9
MESAFE								
1D&1H	14.32	9.99	6.97	8.53	8.95	11.43	11.4	11.32
1D&2H	11.52	9.76	8.29	9.23	9.2	10.51	10.41	10.36
1D&3H	16.23	14.28	12.82	13.75	13.73	15.01	14.9	14.9
1D&5H	26.3	24.1	22.6	23.2	23.3	24.3	24.3	24.3
2D&1H	9.59	7.47	4.82	5.88	5.96	8.07	8.01	8.06
2D&2H	9.28	8.24	6.81	7.6	7.57	8.73	8.7	8.65
2D&3H	13.21	12.07	10.76	11.38	11.45	12.5	12.46	12.44
2D&5H	22.4	20.92	19.55	20.16	20.19	21	21	21.06
3D&1H	0.8	0.8	0.1	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6
3D&2H	5.49	5.14	4.25	4.67	4.7	5.22	5.24	5.23
3D&3H	10.04	9.37	8.33	8.83	8.87	9.51	9.48	9.49
3D&5H	19.04	17.95	16.8	17.17	17.21	17.96	17.89	17.83

Tüneller arası mesafe, tünel derinliği ile kazı etabı sayısı parametrelerinin birbirleriyle ve oturma miktarı ile ilişkisini gösteren grafikler Şekil 4.18. ile Şekil 4.19.'de verilmiştir.



Şekil 4.18. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Bina - A)



Şekil 4.19. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Bina - B)

Çizelge 4.1. ile Çizelge 4.2. ve Şekil 4.18. ile Şekil 4.19.'de belirtildiği üzere,

Bina – A için yürütülen modelleme çalışması neticesinde;

- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 11.73 mm, 3 aşamalı kazıda 9.24 mm, 4 aşamalı kazıda 6.33 mm, 5 aşamalı kazıda 7.6 mm, 6 aşamalı kazıda 7.92 mm, 7 aşamalı kazıda 10.01 mm, 8 aşamalı kazıda 9.96 mm ve 9 aşamalı kazıda 9.93 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 11.75 mm, 3 aşamalı kazıda 10.48 mm, 4 aşamalı kazıda 8.64 mm, 5 aşamalı kazıda 9.68 mm, 6 aşamalı kazıda 9.67 mm, 7 aşamalı kazıda 10.95 mm, 8 aşamalı kazıda 10.95 mm ve 9 aşamalı kazıda 10.93 mm olarak,

- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 16.55 mm, 3 aşamalı kazıda 15.16 mm, 4 aşamalı kazıda 13.15 mm, 5 aşamalı kazıda 14.19 mm, 6 aşamalı kazıda 14.21 mm, 7 aşamalı kazıda 15.45 mm, 8 aşamalı kazıda 15.45 mm ve 9 aşamalı kazıda 15.45 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 26.25 mm, 3 aşamalı kazıda 24.66 mm, 4 aşamalı kazıda 22.45 mm, 5 aşamalı kazıda 23.25 mm, 6 aşamalı kazıda 23.46 mm, 7 aşamalı kazıda 19.9 mm, 8 aşamalı kazıda 20 mm ve 9 aşamalı kazıda 20 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 7.96 mm, 3 aşamalı kazıda 6.01 mm, 4 aşamalı kazıda 4.38 mm, 5 aşamalı kazıda 5.4 mm, 6 aşamalı kazıda 5.34 mm, 7 aşamalı kazıda 6.99 mm, 8 aşamalı kazıda 7.01 mm ve 9 aşamalı kazıda 6.92 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 9.53 mm, 3 aşamalı kazıda 8.39 mm, 4 aşamalı kazıda 7.11 mm, 5 aşamalı kazıda 7.84 mm, 6 aşamalı kazıda 7.84 mm, 7 aşamalı kazıda 8.91 mm, 8 aşamalı kazıda 8.83 mm ve 9 aşamalı kazıda 8.83 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 13.57 mm, 3 aşamalı kazıda 12.4 mm, 4 aşamalı kazıda 11.13 mm, 5 aşamalı kazıda 11.78 mm, 6 aşamalı kazıda 11.77 mm, 7 aşamalı kazıda 12.77 mm, 8 aşamalı kazıda 12.75 mm ve 9 aşamalı kazıda 12.73 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 22.55 mm, 3 aşamalı kazıda 21.36 mm, 4 aşamalı kazıda 19.65 mm, 5 aşamalı kazıda 20.25 mm, 6 aşamalı kazıda 20.36 mm, 7 aşamalı kazıda 21.25 mm, 8 aşamalı kazıda 21.25 mm ve 9 aşamalı kazıda 21.25 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 1.09 mm, 3 aşamalı kazıda 0.47 mm, 4 aşamalı kazıda 0.3 mm, 5 aşamalı kazıda 0.63 mm, 6 aşamalı kazıda 0.6 mm, 7 aşamalı kazıda 0.8 mm, 8 aşamalı kazıda 0.78 mm ve 9 aşamalı kazıda 0.75 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 5.95 mm, 3 aşamalı kazıda 5.21 mm, 4 aşamalı kazıda

4.63 mm, 5 aşamalı kazıda 5.09 mm, 6 aşamalı kazıda 5.02 mm, 7 aşamalı kazıda 5.54 mm, 8 aşamalı kazıda 5.47 mm ve 9 aşamalı kazıda 5.46 mm olarak,

- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 10.49 mm, 3 aşamalı kazıda 9.55 mm, 4 aşamalı kazıda 8.73 mm, 5 aşamalı kazıda 9.24 mm, 6 aşamalı kazıda 9.24 mm, 7 aşamalı kazıda 9.8 mm, 8 aşamalı kazıda 9.78 mm ve 9 aşamalı kazıda 9.75 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 19.35 mm, 3 aşamalı kazıda 18.36 mm, 4 aşamalı kazıda 17.15 mm, 5 aşamalı kazıda 17.55 mm, 6 aşamalı kazıda 17.56 mm, 7 aşamalı kazıda 18.25 mm, 8 aşamalı kazıda 18.15 mm ve 9 aşamalı kazıda 18.15 mm olarak,

ölçülmüştür.

Diğer taraftan Bina – B için yürütülen modelleme çalışması neticesinde;

- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 14.32 mm, 3 aşamalı kazıda 9.99 mm, 4 aşamalı kazıda 6.97 mm, 5 aşamalı kazıda 8.83 mm, 6 aşamalı kazıda 8.95 mm, 7 aşamalı kazıda 11.43 mm, 8 aşamalı kazıda 11.4 mm ve 9 aşamalı kazıda 11.32 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 11.52 mm, 3 aşamalı kazıda 9.76 mm, 4 aşamalı kazıda 8.29 mm, 5 aşamalı kazıda 9.23 mm, 6 aşamalı kazıda 9.2 mm, 7 aşamalı kazıda 10.51 mm, 8 aşamalı kazıda 10.41 mm ve 9 aşamalı kazıda 10.36 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 16.23 mm, 3 aşamalı kazıda 14.28 mm, 4 aşamalı kazıda 12.82 mm, 5 aşamalı kazıda 13.75 mm, 6 aşamalı kazıda 13.73 mm, 7 aşamalı kazıda 15.01 mm, 8 aşamalı kazıda 14.9 mm ve 9 aşamalı kazıda 14.9 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 26.3 mm, 3 aşamalı kazıda 24.1 mm, 4 aşamalı kazıda 22.6 mm, 5 aşamalı kazıda 23.2 mm, 6 aşamalı kazıda 23.3 mm, 7 aşamalı kazıda 24.3 mm, 8 aşamalı kazıda 24.3 mm ve 9 aşamalı kazıda 24.3 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 9.59 mm, 3 aşamalı kazıda 7.47 mm, 4 aşamalı kazıda

4.82 mm, 5 aşamalı kazıda 5.88 mm, 6 aşamalı kazıda 5.96 mm, 7 aşamalı kazıda 8.07 mm, 8 aşamalı kazıda 8.01 mm ve 9 aşamalı kazıda 8.06 mm olarak,

- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 9.28 mm, 3 aşamalı kazıda 8.24 mm, 4 aşamalı kazıda 6.81 mm, 5 aşamalı kazıda 7.6 mm, 6 aşamalı kazıda 7.57 mm, 7 aşamalı kazıda 8.73 mm, 8 aşamalı kazıda 8.7 mm ve 9 aşamalı kazıda 8.65 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 13.21 mm, 3 aşamalı kazıda 12.07 mm, 4 aşamalı kazıda 10.76 mm, 5 aşamalı kazıda 11.38 mm, 6 aşamalı kazıda 11.45 mm, 7 aşamalı kazıda 12.5 mm, 8 aşamalı kazıda 12.46 mm ve 9 aşamalı kazıda 12.44 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 22.4 mm, 3 aşamalı kazıda 20.92 mm, 4 aşamalı kazıda 19.55 mm, 5 aşamalı kazıda 20.16 mm, 6 aşamalı kazıda 20.19 mm, 7 aşamalı kazıda 21 mm, 8 aşamalı kazıda 21 mm ve 9 aşamalı kazıda 21.06 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 0.8 mm, 3 aşamalı kazıda 0.8 mm, 4 aşamalı kazıda 0.1 mm, 5 aşamalı kazıda 0.4 mm, 6 aşamalı kazıda 0.4 mm, 7 aşamalı kazıda 0.6 mm, 8 aşamalı kazıda 0.6 mm ve 9 aşamalı kazıda 0.6 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 5.49 mm, 3 aşamalı kazıda 5.14 mm, 4 aşamalı kazıda 4.25 mm, 5 aşamalı kazıda 4.67 mm, 6 aşamalı kazıda 4.7 mm, 7 aşamalı kazıda 5.22 mm, 8 aşamalı kazıda 5.24 mm ve 9 aşamalı kazıda 5.23 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 10.04 mm, 3 aşamalı kazıda 9.37 mm, 4 aşamalı kazıda 8.33 mm, 5 aşamalı kazıda 8.83 mm, 6 aşamalı kazıda 8.87 mm, 7 aşamalı kazıda 9.51 mm, 8 aşamalı kazıda 9.48 mm ve 9 aşamalı kazıda 9.49 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 19.04 mm, 3 aşamalı kazıda 17.95 mm, 4 aşamalı kazıda 16.8 mm, 5 aşamalı kazıda 17.17 mm, 6 aşamalı kazıda 17.21 mm, 7 aşamalı kazıda 17.96 mm, 8 aşamalı kazıda 17.89 mm ve 9 aşamalı kazıda 17.83 mm olarak,

ölçülmüştür.

Yürütülen modelleme çalışması neticesinde; mevcut jeolojik, jeoteknik şartlar ile düz bir topoğrafya için bina yükü olmaksızın farklı mesafe, derinlik ve kazı etabı sayısına göre Nokta A ve Nokta B için beklenen oturma değerleri Çizelge 4.3. ile Çizelge 4.4.'de sunulmuştur.

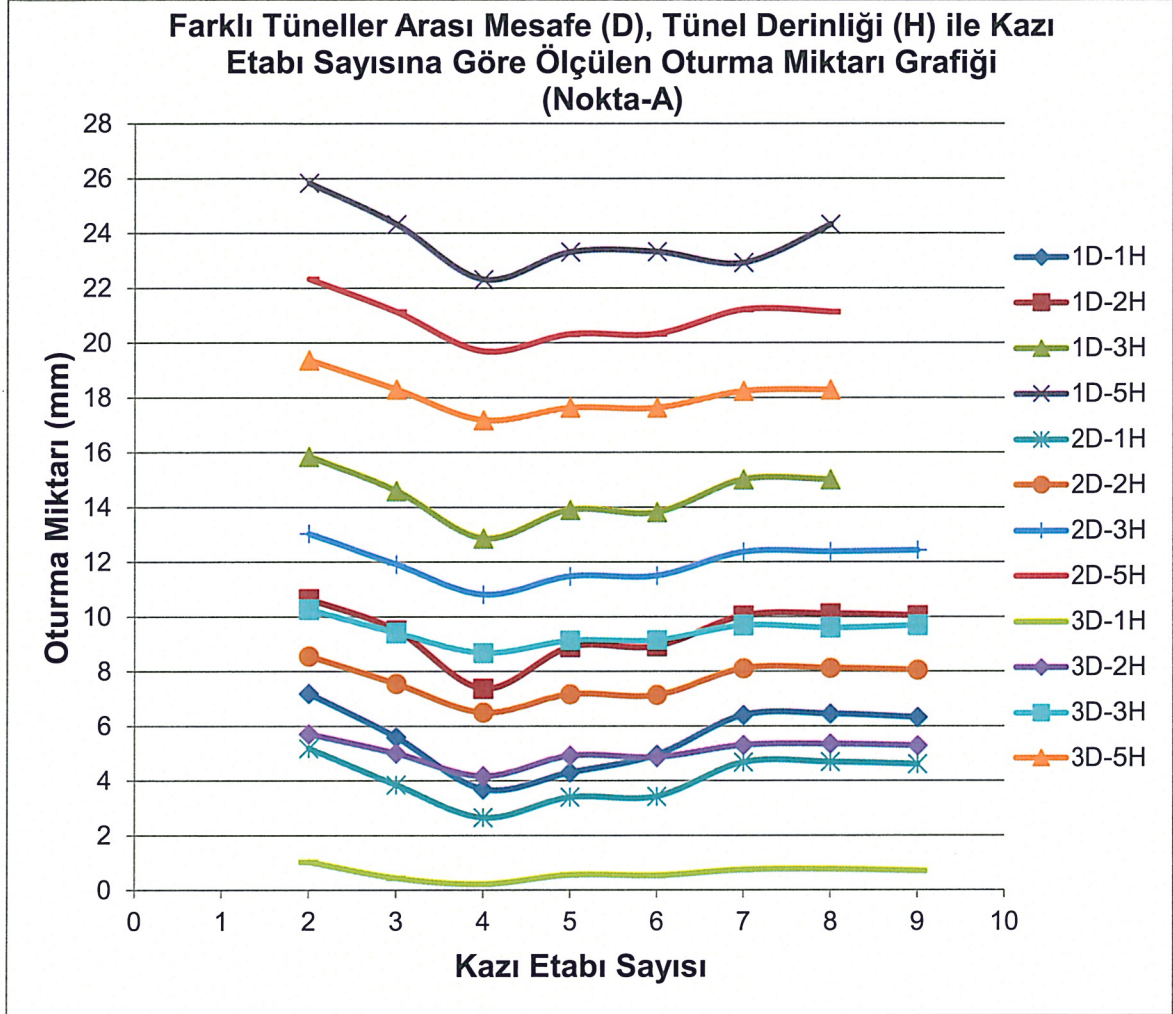
Çizelge 4.3. Nokta - A için öngörülen oturma değerleri (mm)

NOKTA - A	AŞAMALAR							
MESAFE	2	3	4	5	6	7	8	9
1D&1H	7.2	5.61	3.71	4.32	4.97	6.42	6.47	6.34
1D&2H	10.65	9.51	7.38	8.9	8.93	10.05	10.12	10.05
1D&3H	15.86	14.61	12.88	13.92	13.83	15.03	15.03	
1D&5H	25.83	24.33	22.32	23.32	23.33	22.93	24.33	
2D&1H	5.2	3.87	2.67	3.42	3.45	4.7	4.71	4.63
2D&2H	8.56	7.55	6.5	7.17	7.14	8.12	8.13	8.06
2D&3H	13.05	11.93	10.83	11.5	11.52	12.39	12.4	12.45
2D&5H	22.33	21.13	19.69	20.32	20.33	21.22	21.13	
3D&1H	1.04	0.45	0.23	0.57	0.55	0.76	0.78	0.72
3D&2H	5.72	5.01	4.18	4.93	4.88	5.32	5.36	5.3
3D&3H	10.28	9.43	8.7	9.15	9.17	9.71	9.62	9.71
3D&5H	19.37	18.3	17.18	17.63	17.63	18.24	18.29	

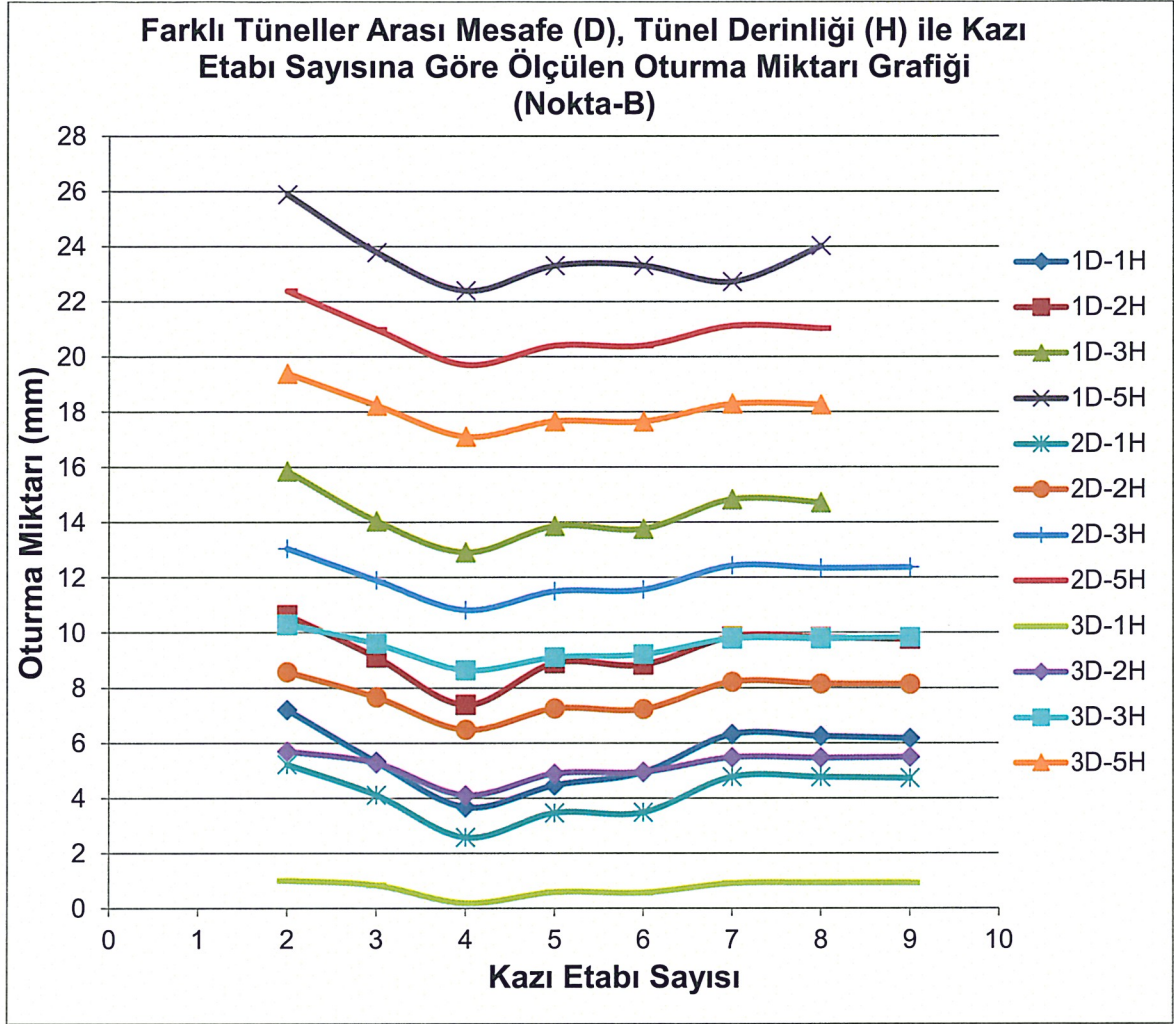
Çizelge 4.4. Nokta - B için öngörülen oturma değerleri (mm)

NOKTA - B	AŞAMALAR							
MESAFE	2	3	4	5	6	7	8	9
1D&1H	7.22	5.33	3.69	4.48	4.95	6.33	6.26	6.18
1D&2H	10.64	9.11	7.39	8.9	8.84	9.85	9.83	9.77
1D&3H	15.86	14.05	12.92	13.87	13.77	14.84	14.72	
1D&5H	25.88	23.78	22.39	23.3	23.3	22.72	24.02	
2D&1H	5.24	4.13	2.59	3.48	3.5	4.79	4.78	4.74
2D&2H	8.58	7.66	6.48	7.25	7.23	8.22	8.15	8.14
2D&3H	13.06	11.91	10.83	11.51	11.57	12.44	12.35	12.38
2D&5H	22.38	20.98	19.7	20.4	20.4	21.12	21.02	
3D&1H	1.02	0.85	0.2	0.6	0.58	0.92	0.94	0.94
3D&2H	5.71	5.28	4.12	4.9	4.96	5.49	5.47	5.5
3D&3H	10.3	9.61	8.66	9.12	9.23	9.8	9.8	9.84
3D&5H	19.39	18.23	17.1	17.66	17.65	18.29	18.26	

Düz bir topoğrafya için bina yükü olmaksızın yapılan modelleme neticesinde; tüneller arası mesafe, tünel derinliği ile kazı etabı sayısı parametrelerinin birbirleriyle ve oturma miktarı ile ilişkisini gösteren grafikler Şekil 4.20. ile Şekil 4.21.'de verilmiştir.



Şekil 4.20. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Nokta - A)



Şekil 4.21. Farklı tüneller arası mesafe (D), tünel derinliği (H) ile kazı etabı sayısına göre ölçülen oturma miktarı grafiği (Nokta - B)

Çizelge 4.3. ile Çizelge 4.4. ve Şekil 4.20. ile Şekil 4.21.'de belirtildiği üzere,

Nokta – A için yürütülen modelleme çalışması neticesinde;

- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 7.2 mm, 3 aşamalı kazıda 5.61 mm, 4 aşamalı kazıda 3.71 mm, 5 aşamalı kazıda 4.32 mm, 6 aşamalı kazıda 4.97 mm, 7 aşamalı kazıda 6.42 mm, 8 aşamalı kazıda 6.47 mm ve 9 aşamalı kazıda 6.34 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 10.65 mm, 3 aşamalı kazıda 9.51 mm, 4 aşamalı kazıda 7.38 mm, 5 aşamalı kazıda 8.9 mm, 6 aşamalı kazıda 8.93 mm, 7 aşamalı kazıda 10.05 mm, 8 aşamalı kazıda 10.12 mm ve 9 aşamalı kazıda 10.05 mm olarak,

- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 15.86 mm, 3 aşamalı kazıda 14.61 mm, 4 aşamalı kazıda 12.88 mm, 5 aşamalı kazıda 13.92 mm, 6 aşamalı kazıda 13.83 mm, 7 aşamalı kazıda 15.03 mm, 8 aşamalı kazıda 15.03 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 25.83 mm, 3 aşamalı kazıda 24.33 mm, 4 aşamalı kazıda 22.32 mm, 5 aşamalı kazıda 23.32 mm, 6 aşamalı kazıda 23.33 mm, 7 aşamalı kazıda 22.93 mm, 8 aşamalı kazıda 24.33 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 5.2 mm, 3 aşamalı kazıda 3.87 mm, 4 aşamalı kazıda 2.67 mm, 5 aşamalı kazıda 3.42 mm, 6 aşamalı kazıda 3.45 mm, 7 aşamalı kazıda 4.7 mm, 8 aşamalı kazıda 4.71 mm ve 9 aşamalı kazıda 4.63 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 8.56 mm, 3 aşamalı kazıda 7.55 mm, 4 aşamalı kazıda 6.5 mm, 5 aşamalı kazıda 7.17 mm, 6 aşamalı kazıda 7.14 mm, 7 aşamalı kazıda 8.12 mm, 8 aşamalı kazıda 8.13 mm ve 9 aşamalı kazıda 8.06 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 13.05 mm, 3 aşamalı kazıda 11.93 mm, 4 aşamalı kazıda 10.83 mm, 5 aşamalı kazıda 11.5 mm, 6 aşamalı kazıda 11.52 mm, 7 aşamalı kazıda 12.39 mm, 8 aşamalı kazıda 12.4 mm ve 9 aşamalı kazıda 12.45 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 22.33 mm, 3 aşamalı kazıda 21.13 mm, 4 aşamalı kazıda 19.69 mm, 5 aşamalı kazıda 20.32 mm, 6 aşamalı kazıda 20.33 mm, 7 aşamalı kazıda 21.22 mm, 8 aşamalı kazıda 21.13 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 1.04 mm, 3 aşamalı kazıda 0.45 mm, 4 aşamalı kazıda 0.23 mm, 5 aşamalı kazıda 0.57 mm, 6 aşamalı kazıda 0.55 mm, 7 aşamalı kazıda 0.76 mm, 8 aşamalı kazıda 0.78 mm ve 9 aşamalı kazıda 0.72 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 5.72 mm, 3 aşamalı kazıda 5.01 mm, 4 aşamalı kazıda 4.18 mm, 5 aşamalı kazıda 4.93 mm, 6 aşamalı kazıda 4.88 mm, 7 aşamalı kazıda 5.32 mm, 8 aşamalı kazıda 5.36 mm ve 9 aşamalı kazıda 5.3 mm olarak,

- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 10.28 mm, 3 aşamalı kazıda 9.43 mm, 4 aşamalı kazıda 8.7 mm, 5 aşamalı kazıda 9.15 mm, 6 aşamalı kazıda 9.17 mm, 7 aşamalı kazıda 9.71 mm, 8 aşamalı kazıda 9.62 mm ve 9 aşamalı kazıda 9.71 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 19.37 mm, 3 aşamalı kazıda 18.3 mm, 4 aşamalı kazıda 17.18 mm, 5 aşamalı kazıda 17.63 mm, 6 aşamalı kazıda 17.63 mm, 7 aşamalı kazıda 18.24 mm, 8 aşamalı kazıda 18.89 mm olarak,

ölçülmüştür.

Diğer taraftan Nokta – B için yürütülen modelleme çalışması neticesinde;

- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 7.22 mm, 3 aşamalı kazıda 5.33 mm, 4 aşamalı kazıda 3.69 mm, 5 aşamalı kazıda 4.48 mm, 6 aşamalı kazıda 4.95 mm, 7 aşamalı kazıda 6.33 mm, 8 aşamalı kazıda 6.26 mm ve 9 aşamalı kazıda 6.18 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 10.64 mm, 3 aşamalı kazıda 9.11 mm, 4 aşamalı kazıda 7.39 mm, 5 aşamalı kazıda 8.9 mm, 6 aşamalı kazıda 8.84 mm, 7 aşamalı kazıda 9.85 mm, 8 aşamalı kazıda 9.83 mm ve 9 aşamalı kazıda 9.77 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 15.86 mm, 3 aşamalı kazıda 14.05 mm, 4 aşamalı kazıda 12.92 mm, 5 aşamalı kazıda 13.87 mm, 6 aşamalı kazıda 13.77 mm, 7 aşamalı kazıda 14.84 mm, 8 aşamalı kazıda 14.72 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 1D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 25.88 mm, 3 aşamalı kazıda 23.78 mm, 4 aşamalı kazıda 22.39 mm, 5 aşamalı kazıda 23.3 mm, 6 aşamalı kazıda 23.3 mm, 7 aşamalı kazıda 22.72 mm, 8 aşamalı kazıda 24.02 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 5.24 mm, 3 aşamalı kazıda 4.13 mm, 4 aşamalı kazıda 2.59 mm, 5 aşamalı kazıda 3.48 mm, 6 aşamalı kazıda 3.5 mm, 7 aşamalı kazıda 4.79 mm, 8 aşamalı kazıda 4.78 mm ve 9 aşamalı kazıda 4.74 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 8.58 mm, 3 aşamalı kazıda 7.66 mm, 4 aşamalı kazıda

6.48 mm, 5 aşamalı kazıda 7.25 mm, 6 aşamalı kazıda 7.23 mm, 7 aşamalı kazıda 8.22 mm, 8 aşamalı kazıda 8.15 mm ve 9 aşamalı kazıda 8.14 mm olarak,

- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 13.06 mm, 3 aşamalı kazıda 11.91 mm, 4 aşamalı kazıda 10.83 mm, 5 aşamalı kazıda 11.51 mm, 6 aşamalı kazıda 11.57 mm, 7 aşamalı kazıda 12.44 mm, 8 aşamalı kazıda 12.35 mm ve 9 aşamalı kazıda 12.38 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 2D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 22.38 mm, 3 aşamalı kazıda 20.98 mm, 4 aşamalı kazıda 19.7 mm, 5 aşamalı kazıda 20.4 mm, 6 aşamalı kazıda 20.4 mm, 7 aşamalı kazıda 21.12 mm, 8 aşamalı kazıda 21.02 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 1H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 1.02 mm, 3 aşamalı kazıda 0.85 mm, 4 aşamalı kazıda 0.2 mm, 5 aşamalı kazıda 0.6 mm, 6 aşamalı kazıda 0.58 mm, 7 aşamalı kazıda 0.92 mm, 8 aşamalı kazıda 0.94 mm ve 9 aşamalı kazıda 0.94 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 2H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 5.71 mm, 3 aşamalı kazıda 5.28 mm, 4 aşamalı kazıda 4.12 mm, 5 aşamalı kazıda 4.9 mm, 6 aşamalı kazıda 4.96 mm, 7 aşamalı kazıda 5.49 mm, 8 aşamalı kazıda 5.47 mm ve 9 aşamalı kazıda 5.5 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 3H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 10.3 mm, 3 aşamalı kazıda 9.61 mm, 4 aşamalı kazıda 8.66 mm, 5 aşamalı kazıda 9.12 mm, 6 aşamalı kazıda 9.23 mm, 7 aşamalı kazıda 9.8 mm, 8 aşamalı kazıda 9.8 mm ve 9 aşamalı kazıda 9.84 mm olarak,
- tüneller arası mesafenin 3D ve tünel derinliğinin 5H olduğu çalışmada 2 aşamalı kazıda oturma miktarının 19.39 mm, 3 aşamalı kazıda 18.23 mm, 4 aşamalı kazıda 17.1 mm, 5 aşamalı kazıda 17.66 mm, 6 aşamalı kazıda 17.65 mm, 7 aşamalı kazıda 18.29 mm, 8 aşamalı kazıda 18.26 mm olarak,

ölçülmüştür.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Yürütülen tez çalışması neticesinde, yan yana inşa edilebilecek geniş açıklıklı iki adet tünelin yüzey oturmalarına etkisi; tüneller arası açıklık, tünellerin derinliği ve kazı etabı sayısı gibi parametreler göz önüne alınarak 2 boyutlu sayısal modelleme yöntemi ile değerlendirilmiştir.

Düz bir topoğrafya için, bina yükü olmaksızın tünellerin üzerinde belirlenen iki adet noktada (Nokta A – Nokta B) oluşabilecek oturmalar ile, tünellerin üzerinde halihazırda var olan iki adet binada (Bina A – Bina B) oluşabilecek oturmalar yapılan modelleme çalışması ile incelenmiştir.

Modelleme çalışması için Phase2 programı kullanılmış olup, modelin doğrulaması adına İstanbul Büyükşehir Belediyesi bünyesinde, proje çalışmaları Yüksel Proje A.Ş. tarafından hazırlanan “Ümraniye - Ataşehir - Göztepe Metrosu İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri T1.2 Tipi NATM Tünelleri Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma ve Hesap Raporu” içeriğinde yer alan “Kesit A-A (9+855)” incelemesi kullanılmıştır.

Çalışmada mevcut topoğrafya ve yer üstü yapılaşması ve bina yükleri kat yüksekleri doğrultusunda modele yansıtılmıştır. Modelde yer alan formasyonlara ait bilgiler yukarıda belirtilen rapordan temin edilerek modelde kullanılmıştır. Tüneller; 1D, 2D ve 3D mesafede, 1H, 2H, 3H ve 5H derinlikte ve 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 ve 9 aşamada kazılacak şekilde modellenmiştir.

Çalışmada; tüneller arası açıklık ve tünellerin derinliği ile birlikte kazı etap sayısının Kesit A-A (9+855) incelemesine konu binalarda (Bina A- Bina B) oluşabilecek oturmalar olası etkisi değerlendirilmiş, elde edilen sonuçlar düz bir topoğrafyada, bina yükü göz ardı edilmiş modelleme çalışmasında, belirlenen noktalarda (Nokta A – Nokta B) ölçülen oturma miktarları ile karşılaştırılmıştır.

Yapılan tez çalışması neticesinde;

- a. Ölçüm yapılan derinlik aralığında (1H.....5H), tünellerin inşa edileceği derinliğin artması ile birlikte binalarda oluşabilecek oturma miktarının arttığı,
- b. Tüneller arası mesafenin artışıyla birlikte binalarda oluşabilecek oturma miktarında azalma meydana geldiği, özellikle 3D mesafede oturmaların sıfıra yaklaştığı,
- c. Farklı derinlik ve mesafede inşa edilecek tünellerde kazı etabı sayısının 2’den 9’a kadar yükseltilmesi neticesinde ise, 4. etaba kadar olan kısımda olası oturmaların miktarında azalma olduğu lakin 5. etaptan itibaren oturma miktarında yeniden artış meydana geldiği ve son 3 etapta etaplar arasında oturma miktarına ilişkin ciddi bir farklılık olmadığı,
- d. Bina yükü göz ardı edilen modelleme çalışmasında elde edilen oturma değerlerinin, bina yükü dikkate alınan modellemede ölçülen oturma değerlerine kıyasla sığ tüneller için düşük olduğu, derinlik artıkça oturma değerlerinin birbirine yaklaştığı,

tespit edilmiştir.

Yukarıda belirtilen sonuçlar göz önüne alındığında tez konusu model çalışmasının, tüneller arası mesafe parametresine ilişkin daha önce farklı araştırmacılar tarafından yürütülen çalışmalar ile uyumlu olduğu değerlendirilmiştir.

Tünel derinliği parametresine ilişkin yapılan incelemede; başlangıçta derinliğin artması ile birlikte oturma miktarının artacağı, sonrasında kemerlenme etkisi ile birlikte oturma miktarının azalacağı öngörülmüş, lakin ölçüm yapılan derinlik aralığında bu öngörü gerçekleşmemiştir. Karşılaşılan bu sonucun, tünel açıklığının fazla olmasından veya modellemede benimsenen yenilme kriterinden (mohr-coloumb) kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tez konusu çalışmayı literatür çalışmalarından farklı kılan kazı etabı sayısına ilişkin değerlendirmede ise; kazı etabı sayısındaki artışa binaen oturma miktarında meydana gelebilecek değişim için bir genelleme yapılamayacağı, minimum oturmanın tesis edilebilmesi adına optimum kazı etabı sayısı seçimine ihtiyaç duyulacağı kanaatine varılmıştır.

Özellikle yerleşim birimleri sınırları dahilinde, yapılaşmanın yoğun olduğu alanlarda yürütülecek tünel çalışmalarında, tünellerin sığ derinliklerde inşa edilmesi halinde mevcut bina yüklerinin öncelikli olarak dikkat edilmesi gereken hususlardan biri olduğu belirlenmiştir.

Bundan sonra yürütülecek çalışmalarda kazı etabı sayısının; farklı tünel geometrileri, farklı tahkimat elemanları ve gecikmeli kazı konuları ile beraber, sismik yükler ve yer altı suyu basıncı göz önünde bulundurularak, farklı yenilme kriterleri kullanılarak değerlendirilmesi önerilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- [1] URL:<https://www.afad.gov.tr/tr/23792/Aciklamali-Afet-Yonetimi-Terimleri-Sozlugu?kelime=tasman>
- [2] Kahyaoglu, H., TAG Otoyolu Özelinde Tünel İşleri ve Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi
- [3] Chakeri, H., Hasanpour, R., Hindistan, M.A., Unver, B., Analysis of interaction between tunnels in soft ground by 3D numerical modeling. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment* 2011;70:439-48.
- [4] Mahdi, M., Shariatmadari, N., Construction procedure evaluation of three adjacent tunnels and excavation step effects, *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Civil and Environmental Engineering*; 2014 Vol: 8, No:1
- [5] Sharifzadeh, M., Kolivand, F., Ghorbani, M., Yasrobi, S., Design of sequential excavation method for large span urban tunnels in soft ground – Niayesh Tunnel, *Tunneling and Underground Space Technology*; 2013, 35 178-188.
- [6] Hasanpour R., Chakeri, H., Ozcelik, Y., Denek, H., Evaluation of surface settlement in the Istanbul metro in terms of analytical numerical and direct measurement, *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*; 2012, 71:499-510.
- [7] Das, R., Singh, P.K., Kainthola, A., Panthee, S., Singh, T.N., Numerical analysis of surface subsidence in asymmetric parallel highway tunnels, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical*; 2017, 9 170-179.
- [8] URL:<https://www.nurolinsaat.com.tr/portfolio/umraniye-atasehir-goztepe-metro-projesi>
- [9] Ümraniye - Ataşehir - Göztepe Metrosu İnşaat ve Elektromekanik Sistemler Temin, Montaj ve İşletmeye Alma İşleri T1.2 Tipi NATM Tünelleri Jeolojik ve Jeoteknik Araştırma ve Hesap Raporu, Aralık 2017
- [10] Herzog, M., Surface subsidence above shallow tunnels (in German). *Bautechnik*, 62, 375-7, 1985

- [11] Soliman, E., Duddeck, H., Ahrens, H., Two and three-dimensional analysis of closely spaced double-tube tunnels. *Tunneling and Underground Space Technology*, 8(1):13-8, **1993**
- [12] Kawata, T., Ohtsuka, M., Observational construction of large scaled twin road tunnels with minimum interval. *Reith JL(ed) infrastructures Souterraines de transports, Balkema, Rotterdam, 1993*
- [13] Perri, G., Analysis of the effects of the new twin-tunnels excavation very closed to big diameter tunnel of Caracas Subway. *Salam A (ed) Tunneling and ground conditions, Balkema, Rotterdam, p. 523-530, 1994*
- [14] Saitoh, A., Gomi, K., Shiraishi T. Influence forecast and field measurement of a tunnel excavation crossing right above existing tunnels, Salam A (ed) *Tunneling and ground conditions, Balkema, Rotterdam, p. 83-90, 1994*
- [15] Yamaguchi, I., Yamazaki, I., Kiritani, K., Study of ground-tunnel interactions of four shield tunnels driven in close proximity, in relation to design and constructions of parallel shield tunnels. *Tunneling and Underground Space Technology*, 13(3), 289–304, **1998**
- [16] Shahrou, I., Mroueh, H., Three-dimensional nonlinear analysis of a closely twin tunnels." In: Sixth international symposium on numerical models in geomechanics (*NUMOG VI*), vol 2. Montreal, QC, Canada, p 481–7, **1997**
- [17] Karakus, M., Ozsan, A., Basarir, H., Finite element analysis for the twin metro tunnel constructed in Ankara Clay-Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and The Environment*, 66, 71-9, **2007**
- [18] Liu, H.Y., Small, J.C., Carter, J.P., Williams, D.J., Effects of tunnelling on existing support systems of perpendicularly crossing tunnels. *Computers and Geotechnics*, 36(5), 880–94, **2009**
- [19] Kim, S.H., Burd, H.J., Milligan, G.W.E., Model testing of closely spaced tunnels in clay. *Geotechnique*, 48(3), 375-88, **1998**
- [20] Addenbrooke, T.I., Potts, D.M., Twin tunnel interaction: surface and subsurface effects. *International Journal of Geomechanics*, 1(2), 249–71, **2001**

- [21] Hage, Chehade. F., Shahrour, I., Numerical analysis of the interaction between twin tunnels: Influence of the relative position and construction procedure. *Tunneling and Underground Space Technology*, 23, 210-4, **2008**
- [22] Lee, M.K., Ng, C.W.W., Tang, D.K.W., Three-dimensional numerical investigations of New Austrian Tunneling Method (NATM) twin tunnel interactions. *Canadian Geotechnical Journal*, 41, 523-39, **2004**
- [23] Chakeri, H., Ozcelik, Y., Unver, B., Investigation of ground surface settlement in twin tunnels driven with EPBM in urban area. *Arabian Journal of Geosciences*, DOI 10.1007/s12517-014-1722-2, **2014**
- [24] Chakeri, H., Unver, B., A new equation for estimating the maximum surface settlement above tunnels excavated in soft ground. *Environmental Earth Sciences*, DOI 10.1007/s12665-013-2707-2, **2013**
- [25] Fang, Q., Tai, Q., Zhang, D., Wong, L. N. Y., Ground surface settlement due to construction of closely-spaced twin tunnels with different geometric arrangements. *Tunneling and Underground Space Technology*, 51, 144-151, **2013**

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı - Soyadı : Abdulkadir KÖSEOĞLU
Doğum Yeri : YOZGAT
Medeni Hali : Bekar
E-posta : a.kadir86@hotmail.com
Adres : Şeyh Şamil Mahallesi 589. Sokak No:2/36
Eryaman-Etimesgut/ANKARA

Eğitim

İlkokul : Yozgat Cumhuriyet İlkokulu
Ortaokul/Lise : Yozgat Anadolu Lisesi
Lisans : Hacettepe Üniversitesi (Maden Mühendisliği Bölümü)

Yabancı Dil

İngilizce (İleri Düzey)

İş Deneyimi

- Limak Holding (Keçiören – Tandoğan Metro Projesi) (Staj) 2007
- Set Çimento (Staj) 2008
- Ankara Büyükşehir Belediyesi İmar ve Şehircilik D. Bşk. 2011 - 2012
- Ankara Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri D. Bşk. 2012

Deneyim Alanları

Sanat Yapıları Etüd, Proje ve Mühendislik Çalışmaları

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
MADEN MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 22/06/2018

Tez Başlığı / Konusu: İKİZ TÜNELLERDE DERİNLİĞİN, TÜNELLER ARASI MESAFENİN VE KAZI AŞAMALARININ
YÜZEY OTURMALARINA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 67 sayfalık kısmına ilişkin, 22/06/2018 tarihinde şahsım/tez danışmanım tarafından Turnitin adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 6 'dır.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar hariç/dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

22/06/2018

Adı Soyadı: ABDULKADİR KÖSEOĞLU
Öğrenci No: N09220731
Anabilim Dalı: MADEN MÜHENDİSLİĞİ
Programı: YÜKSEL LİSANS
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR

Y. Özgül
Prof. Dr. Yılmaz Özgül