

T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ PROGRAMI

**METRO PERON TÜNELİ İNŞAATLARINDA SÜREKLİ BORU
KEMER YÖNTEMİNİN KULLANILMASININ İNŞAATIN
TAMAMLANMA SÜRESİNE ETKİSİNİN ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

KAAN ÖNEN

OCAK 2022

T.C.
İSTANBUL MEDENİYET ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI
MÜHENDİSLİK YÖNETİMİ PROGRAMI

**METRO PERON TÜNELİ İNŞAATLARINDA SÜREKLİ BORU
KEMER YÖNTEMİNİN KULLANILMASININ İNŞAATIN
TAMAMLANMA SÜRESİNE ETKİSİNİN ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

KAAN ÖNEN

DANIŞMAN

DR. ÖĞR. ÜYESİ MÜCAHİT NAMLI

OCAK 2022

BİLDİRİM

Hazırladığım tezin tamamen kendi çalışmam olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı ve her alıntıya kaynak gösterdiğimi taahhüt ederim.

Kaan ÖNEN

Danışmanlığını yaptığım işbu tezin tamamen öğrencinin çalışması olduğunu, akademik ve etik kuralları gözeterek çalıştığımı taahhüt ederim.

Dr. Öğr. Üyesi Mücahit NAMLI

İMZA SAYFASI

Kaan ÖNEN tarafından hazırlanan “Metro peron tüneli inşaatlarında sürekli boru kemer yönteminin kullanılmasının inşaatın tamamlanma süresine etkisinin analizi” başlıklı bu yüksek lisans tezi, Mühendislik Yönetimi Programı’nda hazırlanmış ve jürimiz tarafından kabul edilmiştir.

JÜRİ ÜYELERİ

İMZA

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Mücahit NAMLI

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Üyeler:

Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÖZALP

.....

Kurumu: İstanbul Medeniyet Üniversitesi

Doç. Dr. Hakkı Oral ÖZHAN

.....

Kurumu: Yeditepe Üniversitesi

Tez Savunma Tarihi: ... / ... / 2022

ÖNSÖZ

İstanbul Medeniyet Üniversitesi Mühendislik Yönetimi Programı kapsamında hazırlanan bu tez çalışmasında, metro peron tüneli inşaatlarında sürekli boru kemer yönteminin kullanılmasının inşaatın tamamlanma süresine etkisi araştırılmış ve karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir.

Tez çalışmam süresince bilgi, birikim ve anlayışıyla her zaman destek olan tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Mücahit NAMLI 'ya, teknik boyutta ve bunun yanı sıra manevi destekleriyle tez çalışmamda emeği geçen başta İdris ARAZ olmak üzere Can ŞAHBAZ ile Emirhan ŞELÇUK 'a, değerli arkadaşlarım İlke AKBAŞ ile Burak HANAY 'a ve bugünlere gelmemi sağlayan aileme teşekkürü borç bilirim.

Ocak 2022

Kaan ÖNEN

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Konusu.....	2
1.2. Çalışmanın Önemi	2
1.3. Çalışmanın Amacı	3
1.4. Çalışmanın Kapsamı	4
2. TÜNEL NEDİR.....	6
2.1. Tünelciliğin Genel Tanımlaması	6
2.2. Tünellerin Amaçları ve Çeşitleri.....	6
2.3. Tünelcilik Sektörünün Tarihsel Gelişimi.....	7
2.4. Günümüzde Tünelcilik	9
2.5. Tünel Yapılmasını Gerektiren Hususlar	10
2.6. Tünel Türleri.....	10
2.6.1. Hizmet Tünelleri	10
2.6.1.1. Kanalizasyon Tünelleri	10
2.6.1.2. Alt Yapı Tünelleri	11
2.6.1.3. Enerji ve Su Tünelleri	12
2.6.2. Ulaştırma Tünelleri	12
2.6.2.1. Demiryolu Tünelleri.....	12
2.6.2.2. Yaya Tünelleri.....	13
2.6.2.3. Metro Tünelleri	13
3. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TÜNELCİLİK	15
3.1. Dünyada Tünelcilik	15

3.2.	Türkiye’de Tünelcilik	18
4.	TÜNEL YAPIM YÖNTEMLERİ	20
4.1.	Klasik Yöntemler.....	20
4.1.1.	Alman tünel açma yöntemi	20
4.1.2.	Avusturya Tünel Açma Yöntemi	21
4.1.3.	İngiliz Tünel Açma Yöntemi	21
4.1.4.	İtalyan ve Amerikan Tünel Açma Yöntemleri	22
4.2.	NATM Yöntemi	23
4.2.1.	NATM Yönteminin Tarihsel Süreçteki Gelişimi	23
4.2.2.	NATM Yönteminin Özellikleri.....	24
4.2.2.1.	Kayanın dayanımı	24
4.2.2.2.	Yapılan ölçüm	24
4.2.2.3.	Güçlendirmenin esnekliği.....	24
4.2.2.4.	Taban betonu ile güçlendirme	25
4.2.3.	NATM yönteminde kazı	25
4.2.4.	NATM Yönteminde Destekler.....	26
4.2.4.1.	Püskürtme betonu.....	27
4.2.4.2.	Hasır Çelik	27
4.2.4.3.	Kaya Bulonları	28
4.2.4.4.	Çelik İksa	28
4.2.4.5.	Ön süren	28
4.2.5.	Umbrella Arch Metodu	29
5.	ÜSKÜDAR- ÜMRANIYE- ÇEKMEKÖY METROSU	33
5.1.	Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Hattının Genel Jeolojik Durumu.....	34
5.1.1.	Kurtköy Formasyonu	34
5.1.2.	Gözdağ Formasyonu	34
5.1.3.	Aydos Formasyonu	35
5.1.4.	Kartal Formasyonu.....	35
5.1.5.	Dolayoba Formasyonu	35
5.1.6.	Trakya Formasyonu	35

5.1.7.	Tuzla Formasyonu	35
5.2.	Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metro Hattı ile İlgili Genel Bilgiler	36
5.3.	Çakmak İstasyonu Peronu	37
6.	NATM ve UAM YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI	40
6.1.	NATM ve UAM Yöntemi İş Kalemelerinin Birim Süreleri	49
7.	METRO İNŞASI VE SÜREKLİ BORU KEMER YÖNTEMİ	55
7.1.	Metro Tünellerinin İnşası	55
7.2.	Sürekli Boru Kemer Metodu Tanımı	59
7.2.1.	Metro İnşaatlarında Sürekli Boru Kemer Metodu Uygulanması	60
7.2.2.	Çakmak İstasyonu Peron Tüneli Sürekli Boru Kemer Uygulaması Zaman Analizi ..	62
7.2.3.	Sürekli Boru Kemer Yönteminin Çakmak İstasyonu İçin Uygulanmasının Zamansal Değerlendirmesi	67
7.2.4.	Sürekli Boru Kemer Yönteminin Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu’nun Tamamı İçin Uygulanmasının Zamansal Analizi	68
7.2.5.	Sürekli Boru Kemer Yöntemi Uygulamasının Değerlendirmesi	85
8.	SONUÇLAR	97
9.	ÖNERİLER	101
	KAYNAKLAR	103
	EKLER	109
	Ek-1: Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu İnşaatında Kullanılan TBM İle İlgili Detay Bilgiler	109
	EK-2. Üsküdar – Ümraniye- Çekmeköy Metrosu İçin Tünel Kaplamalarında Fiber Donatı Kullanımının Etkisinin Değerlendirilmesi (Namlı, 2021).....	111
	ÖZGEÇMİŞ	116

KISALTMALAR

CPM : Critical Path Method – Kritik Yol Metodu

kPa : kilopaskal

m : metre

MPa : Megapaskal

NATM : New Australian Tunnelling Method -Yeni Avustralya Tünel Yapma Metodu

PERT : Project Evolution and Review Technique - Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği

rpm : revolutions per minute – dakikadaki devir sayısı

SBK : Sürekli Boru Kemer

TBM : Tunnel Boring Machine -Tüne Delme Makinesi

UAM : Umbrella Arch Method - Şemsiye Kemer Yöntemi

ÜÜÇ : Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy

vb : ve benzeri

TABLO LİSTESİ

Tablo 1. Tarihteki bazı tüneller ve bunlara ait özellikler	8
Tablo 2. Yakın tarihimizde dünya da inşa edilmiş bazı önemli demiryolu ve metro tünelleri	18
Tablo 3. Püskürtme betona ait dayanım değerleri	27
Tablo 4. Kurtköy formasyonu için mekanik ve fiziksel özellikler	38
Tablo 5. NATM yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalara ait süreler ve metrajlar	40
Tablo 6. NATM yönteminin uygulanma adımlarına ait geçen süreler	44
Tablo 7. UAM yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalara ait süreler ve metrajlar.....	45
Tablo 8. UAM yönteminin uygulanma adımlarına ait geçen süreler	48
Tablo 9. NATM yönteminin iş kalemlerinin birim süreleri	49
Tablo 10. UAM yönteminin iş kalemlerinin birim süreleri	50
Tablo 11. NATM ile UAM yöntemi yapım hızı mukayesesi	54
Tablo 12. Sürekli boru kemer yöntemi ile bir metrelik ilerleme süreleri	65
Tablo 13. UAM yöntemi ile bir metrelik ilerleme süreleri.....	66
Tablo 14. Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	85
Tablo 15. SBK yöntemi ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	85
Tablo 16. SBK yöntemi + birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme beton ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	86
Tablo 17. SBK yöntemi + kaplamalarda karma uygulamalı fiber takviyeli beton ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	86
Tablo 18. TBM ile yapılan bölümlerin kritik aktivite durumuna gelmesi ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	87
Tablo 19. SBK yöntemi + tüm kaplamalarda fiber takviyeli püskürtme beton ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	87
Tablo 20. 7 TBM kullanılması ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay) ...	88
Tablo 21. Peron yapımında tamamen SBK kullanılması ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)	89
Tablo 22. Proje Süresi Mukayesesi (4 Adet TBM İçin)	90
Tablo 23. TBM Adedine Göre Proje Süresi	90

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1. Kanalizasyon tüneline ait örnek görsel	11
Şekil 2. Altyapı tüneline ait örnek görsel	11
Şekil 3. Enerji tüneline ait örnek görsel	12
Şekil 4. Demiryolu tüneline ait örnek görsel.....	13
Şekil 5. Yaya tüneline ait örnek görsel.....	13
Şekil 6. Metro tüneline ait örnek görsel	14
Şekil 7. Mısırlıların ve Romalıların su nakli amacıyla açtıkları tünellere ait görsel	15
Şekil 8. Kalkan metodu ile açılmış olan Thames tüneline ait görsel	16
Şekil 9. Frejus demiryolu tüneline ait görsel.....	17
Şekil 10. Manş tüneli.....	17
Şekil 11. Beyoğlu metrosu	18
Şekil 12. Bolu tüneline ait görsel	19
Şekil 13. Alman tünel açma yöntemine ait örnek görsel	21
Şekil 14. İngiliz tünel açma yöntemine ait örnek görsel	22
Şekil 15. İtalyan tünel açma yöntemine ait örnek görsel.....	22
Şekil 16. NATM yöntemi güçlendirme elemanlarının şematize edilmiş hali.....	26
Şekil 17. Kuru karışım gösteren şema.....	27
Şekil 18. İtalya Solignano tüneli ön süren uygulanmasının gösterimi	29
Şekil 19. Umbrella Arch metodunda yüklerin dağılımı	30
Şekil 20. Umbrella Arch yönteminde ringin profil enkesiti	32
Şekil 21. Umbrella Arch yönteminde ringin enkesiti	32
Şekil 22. Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy metro hattı durakları.....	33
Şekil 23. Çakmak şantiyesinin yeri	37
Şekil 24. Çakmak peron tünelinin kesit görünüşü	38
Şekil 25. Çakmak istasyonunun jeolojik kesiti.....	39
Şekil 26. NATM yönteminde uygulanan adımların toplam süreye göre yüzdelik dağılımı	45
Şekil 27. UAM yönteminde uygulanan adımların toplam süreye göre yüzdelik dağılımı	48
Şekil 28. Kademeli kazı ve UAM borusu uygulaması	51

Şekil 29. Tünel Ekseninde Çelik İksa Uygulaması	52
Şekil 30. Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy Metrosu yapımında kullanılan TBM	55
Şekil 31. Üsküdar -Ümraniye - Çekmeköy Metrosu’nda uygulanan NATM üst yarı çalışması	55
Şekil 32. TBM bölümleri	57
Şekil 33. Üsküdar – Çekmeköy Metrosu makas tüneli örneği	58
Şekil 34. Sürekli boru kemer yöntemi kazı desteğinin 3 boyutlu ön görünüşü	62
Şekil 35. Sürekli boru kemer yöntemi kazı desteğinin 3 boyutlu perspektif görünüşü	62
Şekil 36. Sürekli boru temel yöntemi enkesiti.....	63
Şekil 37. Sürekli boru kemer yöntemi boykesiti	64
Şekil 38. Sürekli boru kemer ile UAM yöntemi süre kıyaslaması	67
Şekil 39. Sürekli boru kemer yönteminin Çakmak İstasyonu için uygulanması	68
Şekil 40. Üsküdar -Ümraniye – Çekmeköy Metrosu uygulanan iş programı.....	71
Şekil 41. Metro projesinin uygulanan akış diyagramı ve proje kritik yolu	72
Şekil 42. Üsküdar -Ümraniye – Çekmeköy Metrosu NATM + UAM yerine NATM + sürekli boru kemer yöntemi uygulanmasıyla oluşacak iş programı	75
Şekil 43. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu yapımında NATM ve UAM yöntemi ile NATM ve sürekli boru kemer yöntemi ile yapımın süre kıyaslaması.....	76
Şekil 44. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı.....	79
Şekil 45. Kritik aktivitenin TBM ile yapılan anahat tünellerine geçmesi ile oluşan proje kritik yolu .	81
Şekil 46. Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamalarda karma tip uygulamalı fiber takviyeli betonla oluşacak iş programı	82
Şekil 47. Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamaların tamamında fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı	84
Şekil 48. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu uygulanan iş programı	91
Şekil 49. Üsküdar -Ümraniye – Çekmeköy Metrosu NATM + UAM yerine NATM + sürekli boru kemer yöntemi uygulanmasıyla oluşacak iş programı	92
Şekil 50. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı.....	93
Şekil 51. Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamalarda karma tip uygulamalı fiber takviyeli betonla oluşacak iş programı	94

Şekil 52. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamaların tamamında fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı	95
Şekil 53. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve TBM sayısının artışı (4+3 Adet) ile oluşacak iş programı	96

ÖZET
METRO PERON TÜNELİ İNŞAATLARINDA SÜREKLİ BORU KEMER
YÖNTEMİNİN KULLANILMASININ İNŞAATIN
TAMAMLANMA SÜRESİNE ETKİSİNİN ANALİZİ

Önen, Kaan

Yüksek Lisans, Mühendislik Yönetimi Programı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mücahit NAMLI

Ocak, 2022. 116 Sayfa.

Yer altı projelerinin temelini oluşturan tüneller, zaman içerisinde gelişen teknoloji ile ülkemizde ve dünyada yapım yönteminde değişiklikler yaşanmıştır. Buna bağlı olarak yeni yöntemler türetilmiştir. Bu yöntemlerin ortaya çıkışında tünel inşasında meydana gelen kolaylıklar ve tünel yapımının kısa sürede yapılması temeli oluşturmaktadır.

Bu çalışma kapsamında, mühendislik yönetimi bağlamında sürekli boru kemer yöntemiyle tünel açmanın metro projelerine olan katkısı araştırılacaktır. Çalışmada ülkemizde inşası tamamlanmış metro projelerinden biri olan Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Projesi incelenmiştir. Bu projenin ana hat ve peron tünellerinde kullanılan tünel yapım yöntemleri uygulama sürelerinin proje tamamlanması üzerine olan etkisi araştırılmıştır. Peron tünellerinde uygulanmakta olan şemsiye kemer (Umbrella Arch) yöntemi ile sürekli boru kemer yönteminin kıyaslaması gerçekleştirilmiştir.

Sonuç olarak konvansiyonel yöntemlerden biri olan şemsiye kemer yöntemine alternatif olarak diğer bir yöntem olan sürekli boru kemer yöntemi üzerinden süre analizi çıkarılmıştır. Yapılan analiz sonucunda tünelin sürekli boru kemer yöntemi ile yapılmasının projenin inşası sırasında kullanılmış olan şemsiye kemer yöntemine göre süre avantajı kazandırdığı ortaya çıkarılmıştır. Ayrıca, çalışmada sürekli boru kemer yönteminin sağladığı kazanç ile tünel kaplamalarında fiber takviyeli beton kullanımının sağladığı zaman kazancı birlikte değerlendirilerek, %35 oranına varan süre kazancı sağlayabileceği tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Şemsiye kemer, Sürekli boru kemer, Tünel, Metro

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE EFFECT OF USING THE CONTINUOUS PIPE ARCH METHOD IN THE CONSTRUCTION OF THE METRO PERON TUNNEL ON THE COMPLETION TIME OF THE CONSTRUCTION

Önen, Kaan

Master Thesis, Engineering Management Program

Consultant: Dr. Lecturer Mücahit NAMLI

January, 2022. 116 Pages.

Tunnels, which form the basis of underground projects, have experienced changes in the construction method in our country and in the world with the developing technology over time, and new methods have been derived. In the occurrence of these methods, the convenience of tunnel construction and the construction of the tunnel in a short time form the basis.

Within the scope of this study, the contribution of continuous pipe arch tunneling to metro projects will be investigated in the context of engineering management. In the study, Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Project, which is one of the completed metro projects in our country, has been examined. The effect of this project on the completion of the project of tunnel construction methods used in main line and platform tunnels has been investigated. A comparison of the Umbrella Arch method, which is used in platform tunnels, with the continuous pipe arch method has been made.

As a result, as an alternative to the umbrella arch method, which is one of the conventional methods, time analysis was performed on the continuous pipe arch method, which is another method. As a result of the analysis, it was revealed that the construction of the tunnel with the continuous pipe arch method provides a time advantage compared to the umbrella arch method used during the construction of the project. In addition, in the thesis, it has been determined that the gain provided by the continuous pipe arch method and the time savings provided by the use of fiber reinforced concrete in tunnel linings can be evaluated together, and it can provide a time saving of up to 35%.

Keywords: Umbrella arch, Continuous pipe arch, Tunnel, Metro

1. GİRİŞ

Ulaşım, güncellenen ve gelişen kavramlarla artık bir yaşam biçimi haline geldi. Çünkü sanayi devriminin gerçekleşmesiyle birlikte büyük işletmeler oluştu. İnsanlar kendi işlerini bırakıp bu işletmelerde çalışmaya başladı. Bu da kentlerin büyümesine yol açtı. İnsanların bu işletmelere farklı yerlerden gelmesini gerektirdi. Bununla beraber dünya nüfusunun artması, yeni şehirler kurulmasına ve var olan şehirlerin büyümesine sebep oldu. Oluşan tüm bu durumlar yer üstü karayolu gibi ağların oluşmasını ve geliştirilmesini sağladı. Fakat yer üstü yapılarının inşa edilmesi için gereken alanlar sınırlıydı. Bu alanlarda da ulaşım tek başına yeterli değildi ve özellikle kentsel alanlar bu yoğunluğu taşıyamıyordu. Kentsel yaşamda meydana gelen nüfus yoğunluğunun artması, araçların ve yayaların hareketinin yanı sıra kentin görünen kısmının değişime uğraması ve süslenmesi, mümkün olduğunca ulaşımın yeraltına alınması durumunu zorunlu kıldı. Bu durum da tüneller ve yeraltı açıklıklarının tasarlanması ile mümkün hale geldi.

Ulaşım için yer altı yapılarından tüneller büyük önem arz etmektedir. Çünkü tüneller sayesinde coğrafi zorluklarının oluşturduğu güçlüklerin üstesinden gelinmektedir. Yer üstündeki yapılar etkilenmeden projeler gerçekleştirilmektedir. Aynı zamanda ulaşım için var olan yer üstü alanlar kullanılmadan ekstra yerlerin kullanımı sağlanmakta, aynı yerlere alternatif bir yolla ulaşım mümkün hale gelmektedir.

Her ulaşım ağında olduğu gibi yer altı ulaşımında da yapım çok önemlidir. Çünkü tünel açma yöntemi de tamamen güvenilir, uygun maliyetli ve gelişen teknolojiye uygun olmalıdır. Bu nedenle araştırmalar yapılmakta, değişen koşullara göre yeni yöntemlerin geliştirilmesine özen gösterilmektedir. Tünel açma teknolojilerindeki gelişmeler, yeni tekniklerle birlikte, tünel açma için yeni makinelerin, araçların ve ekipmanların kullanılmasını sağlamaktadır. Tünel araştırmalarının yüksek maliyeti, tasarım olasılıkları ve özellikle kentsel tünel araştırmalarında dikkate alınması gereken

zaman faktörü, bu alandaki yeni teknik ve teknikler, araştırma, deney, ölçüm, gözlem ve sayısal modellemenin önemini artırmıştır.

Metro inşaatları da şehir içinde gerçekleşen büyük yer altı projeleridir. Bu projeler kamu ve iş güvenliğini tehlikeye atmadan, kaliteden ödün vermeden, hızlı şekilde tamamlamayı amaçlar. Ayrıca tarihi sürecin yol açtığı planlama güçlükleri, hızlı yapılaşma ve kentsel yaşamdaki hızlı nüfus artışı, kentin görünen kısmı kadar görünür olmayan metronun aktif kullanımını da zorunlu kılmıştır. Günümüzde, gelişmekte olan ülkelerde yeraltı yapıları gün geçtikçe daha da önemli bir hale gelmekte ve sayıca artmaktadır. Bu durum da metro projelerinin yapımındaki yöntemlerinin önemini arttırmıştır.

1.1.Çalışmanın Konusu

Bu çalışmanın konusu, metro vb yeraltı ulaşım projelerindeki tünellerde kullanılmakta olan şemsiye kemer (UAM) yapım yöntemine yerine kazı destek metodu olarak sürekli boru kemer (SBK) yapım metodu kullanılmasının inşaat süresine etkisinin mühendislik yönetimi açısından incelenmesidir.

1.2.Çalışmanın Önemi

İnşaat projeleri anlaşma yapılan süre içerisinde inşa süresini sona erdirmektir. Aynı durum altyapı projeleri için de geçerlidir. Metro projelerindeyse bu durum daha hassas bir özellik içerir. Çünkü metro projeleri şehir içinde yapılan çalışmalardır. Kamu yararı için en kısa zamanda işletmeye alınması gerekmektedir. Aynı zamanda şehir içinde yapılan inşa olduğu için inşaatın uzaması çevreye verilen rahatsızlığın uzamasına sebep olmaktadır. Metro hatları sebebiyle kurulan şantiyelerin uzun süre kalması ulaşım için yapılan sirkülasyon projelerinin sürelerinin uzamasına sebep olacaktır. Bu durumda trafik yoğunluğu artabilmekte ve vatandaşın rahatsızlığı artmaktadır. Aynı şekilde inşaat faaliyetlerde yapılan işlemler ve kullanılan ekipmanlar ses yaratmaktadır. Bu durum inşaat faaliyetlerinin olduğu bölgede ses kirliliğine sebep olmaktadır. Bu faaliyetlerin de uzun süre devam etmesi vatandaşlarda huzursuzluğa, strese sebep olabileceği gibi çeşitli sağlık problemlerine de neden olabilmektedir. Bu sebeple bu projelerin kısa zamanda tamamlanarak işletmeye geçilmesi önem arz

etmektedir. Projelerin işletmeye alınmasıyla birlikte inşa kısmında ortaya çıkan problemlere çözüm üretildiği gibi vatandaşların ulaşım sorununa çözüm üretilmiş olacaktır. Bu durum vatandaşların toplu taşımaya yönelmesine sevk edecek ve trafik yoğunluğunu azaltacaktır. Aynı şekilde metro hattının işletmeye alınmasıyla birlikte ulaşılacak istenen yere kısa sürede varmak mümkün hale gelecektir.

1.3.Çalışmanın Amacı

Yer altı projelerinin inşa sürelerini oluşturan en önemli unsurlarından biri tünel yapım yöntemleridir. Metro projelerinin tamamlanmasında da kullanılan tünel yapım yöntemleri projenin tamamlanarak işletmeye geçiş zamanını belirlemektedir. Bu sebeple kritik aktivite olan tünel yapımını ne kadar kısaltmak mümkün hale gelirse metro projesinin de tamamlanarak işletmeye geçilmesi mümkün olacaktır.

Tünel delme makineleri (Tunneling boring machine, TBM) ile metro tünellerinin ana hat tünellerinin inşası hızlı bir şekilde gerçekleştirebilmektedir. Fakat tünel çapının değişmesiyle geriye kalan peron tüneli vb bölümlerin inşası için farklı tünel yapım yöntemleri kullanılmaktadır. Bu bölümlerde kullanılan klasik yöntemlerin uygulanma süreleri de projeler için büyük önem arz etmektedir. Bu sebeple, sürekli boru kemer yöntemi kullanılmakta olan klasik yöntemlere göre süre avantajı sağlama imkânı sunabileceği düşünülmektedir.

Çalışmada, uygulanan konvansiyonel yapım yöntemlerin yerine alternatif bir yöntem kullanılması metro projeleri ve diğer yer altı projelerinin tamamlanmasına olan zamansal etkisi incelenecektir. Bu kapsamda klasik yöntemle inşası sona ermiş proje üzerinden alternatif yöntemle yapılması durumunda oluşan sürenin analizi gerçekleştirilip ve önerilen sürekli boru kemer yönteminin diğer yöntemlere süre olarak getireceği avantaj ya da dezavantajın gösterilmesi amaçlanmaktadır.

Bu çalışma içerisinde, ülkemizde inşası tamamlanmış olan Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattı projesi ve dünya çapında gerçekleştirilen diğer yer altı projeleri incelenecektir. Bu projelerde uygulanan tünel açma yöntemlerinin metro hattı projelerine olan zamansal durumu değerlendirilecektir. Projelerde tünel yapım yöntemi olarak kullanılan Yeni Avusturya Tünel Açma Yöntemi (NATM), şemsiye

kemer (UAM) uygulamaları göz önünde bulundurulacak ve bu yöntemlere alternatif olarak sürekli boru kemer yönteminin uygulaması değerlendirilerek bunun proje tamamlanma süresi üzerindeki etkisinin kıyaslaması yapılacaktır.

1.4.Çalışmanın Kapsamı

Ülkemizde aktif olarak yapımı devam eden birçok metro projesi bulunmaktadır. Devam etmekte olan metro projelerinin yapım süreleri metro hattının uzunluğu, zemin yapısı, çalışan personel sayısı gibi faktörlere göre değişiklik göstermektedir. Ancak genel inşaa durumu incelenecek olursa metroların ana hat tünelleri TBM ile inşa edilmekte olup peron tünelleri, bağlantı tünelleri ve makas tünelleri gibi tünel çapının değişiklik gösterdiği bölümleri konvansiyonel yöntemlerle yapılmaktadır. TBM yöntemi ile inşa etmek yatırım maliyeti yüksek bir işlem olarak karşımıza çıkar. Fakat buna karşılık olarak inşa faaliyetini hızlandıran ve iş güvenliğini arttıran bir yöntem olması özellikle metro gibi altyapı projelerinde tercih edilmesine sebep olmaktadır. Bu projelerde yaşanacak iş kazaları ve gecikmelerin yaratacağı maddi zarar ve toplumsal huzursuzluk göz önüne alındığında TBM yöntemi ile tünel inşası kattığı faydalardan dolayı tercih edilmektedir. Fakat metro inşaatı gibi projelerin işletmeye geçmesi için projenin yapım faaliyetinin tamamen sona ermesi gerekmektedir. Bu yüzden inşaat projelerinde tanımlanan kritik hat üzerindeki aktivitelerin ne kadar sürede tamamlandığı projenin süresini belirlemektedir. Bu da peron tüneli, bağlantı tüneli ve makas tüneli gibi yapılarda konvansiyonel metot olarak adlandırdığımız NATM ve UAM gibi yöntemlerin yapım süresiyle doğru orantılıdır.

Bu çalışmada konvansiyonel metotla inşa edilen bölümlerin sürekli boru kemer metodu ile yapılmasının proje süresine olan katkısı incelenecektir. Proje kapsamında kullanılacak boru kemer metodunun inşası tamamlanmış bir metro projesi üzerinden kıyaslaması yapılacaktır.

Bu çalışma kapsamında öncelikle Türkiye’de inşası tamamlanmış olan Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy (ÜÜÇ) Metro Projesi incelenecektir. Bu proje kapsamında bulunan istasyonlardan Çakmak peronunda kullanılan NATM ve UAM yönteminin inşa süresi esas alınarak bu yöntem yerine sürekli boru kemer ile yapılması durumunda ortaya çıkacak süre ortaya konacaktır. Ardından Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy

metro projesinin inşası sırasında uygulanmış iş programı üzerinde sürekli boru kemer metodu uygulanmış olsaydı mühendislik yöntemi bakımında katacağı süre katkısı ortaya konacaktır.

2. TÜNEL NEDİR

2.1.Tünelciliğin Genel Tanımlaması

"Tünel" kelimesi, Galler, İngiltere'de konuşulan Galce dilinden gelir. Bu bölgenin sakinleri, sınırları bir yerden başka bir yere taşıyabilmek için girişinin ve çıkışının kapaklar ile kapatılabilen "tonne" adı verilen ince, uzun ahşap kaplar kullanmışlardır. Zaman içerisinde bodrum ve yer altı mahzenleri vb. yerlere bu isim verilmiştir. Ancak 1850'lerden sonra tünel kelimesi bugün bildiğimiz anlamda kullanılmaya başlanmıştır.

Tünellerin eğimi 30 dereceden az, her iki ucu açık, çapları uzunluklarına göre çok küçük olan yeraltı yapılarıdır. Bu, madencilik açısından bir reçetedir; kazılıp güçlendirilebilen yeraltı kaya yapıları olarak yeniden tasarlanmıştır. Bu tanımdan çıkarılan sonuca göre tünel yapımında en önemli unsur; mevcut kaya yapılarının kazılabilir olması ve bakımının yapılabilir olmasıdır. Farklı bir tanıma göre ise tünel; yaya, kara, demir vb. gibi ulaşım amaçlı kullanılan yolların bir bölümünün yer altından geçtiği sanat ve mühendislik yapılarıdır. (Kun, 2010)

2.2.Tünellerin Amaçları ve Çeşitleri

Yaşadığımız zaman içerisine çok farklı amaçlar doğrultusunda yapılmış olan tünellerin sınıflandırılması şu şekilde yapılabilir; (Kun, 2010)

- Ulaşım amaçlı tüneller
 - Yayaların ulaşımı için
 - Demiryolu ulaşımı için
 - Denizcilik için
 - Metro kullanımı için
 - Karayolu ulaşımı için

- Madenlerde kullanılan tüneller
- Su iletiminin sağlanabilmesi için tüneller
- Askeri amaçlar için tüneller
- Elektrik, gaz, iletişim nakil hatları için tüneller
- Olumsuz durumlarda sığınma için tüneller

2.3.Tünelcilik Sektörünün Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlunu tarihi incelenecek olursa, barınma amacı olarak mağarayı kullandıkları ve basit yöntemlerle mağaraları genişlettikleri görülmektedir. Bu genişletmeyi sağlamak için de kayaçlar odun yakılarak ısıtılmış, ısınan kayacın üzerine su ve sirke karışımı dökülmüştür (Kun,2010). Bu genişletme insanlar için yer altı inşaatın ilk örneklerini oluşturmakta olup uzun mesafeler boyunca inşa işlemi gerçekleştirilmiştir. Ülkemizde Kapadokya 'da bulunan yer altı şehirleri buna örnektir. Bununla birlikte çeşitli besin malzemeleri depolamak, düşmanlardan sığınmak için de bu tüneller tarih sahnesinde karşımıza çıkmıştır. Ancak, tünel yapımının günümüzdeki anlamı ile geçmişi son 150 yıllık dönemi kapsamaktadır. Bu büyük gelişimin temel sebebi ise demiryollarındaki hızlı gelişimden kaynaklanmaktadır. Öncelikle Avrupa daha sonrasında ise Amerika Birleşik Devletleri'nde görülen demiryolu devrimi tünelciliğin hızlanmasını sağlamıştır.

Demiryollarının çok meyilli yapılmaması, hazırlık çalışmaları ve yüksek maliyet, dik ve engebeli arazilerde demiryolu ile seyahat edilememesi, çok sayıda ve uzun tünelin inşasını gerektirmiştir. 1830'dan sonra kaya mekaniğine uygun tünel açma çalışmaları başlamıştır. 1871'de Fransa'yı İtalya'ya bağlayan Mont Cenis tüneli işletmeye alınmıştır. 12,7 km uzunluğundaki tünel, 13 yıllık operasyonun ardından hizmete açılmıştır (Kömürlü & Kesimal, 2013).

Birinci Dünya Savaşı'ndan 1950'lere kadar, savaş nedeniyle her alanda yaşanan ekonomik sıkıntı ve durgunluk tünel endüstrisini de etkilemiştir. 1950'lerden sonra tünelcilik ve tünel açma yöntemlerinde oluşan gelişmeler ile birlikte ülkelerin içme suyu ve sulama suyu ihtiyaçlarının artması, kentsel ve banliyö ulaşımı, hizmet sayısındaki artış tünel çalışmalarını yeniden canlanmasını sağlamıştır.

1970’lerde ve 1980’lerde, başta Almanya olmak üzere İtalya ve Japonya’da yüzlerce kilometre tünel kazılmıştır. Özellikle son 50 yılda Avrupa ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri’nde ki hızlı gelişmeye ile birlikte ülkemizde de tünelcilik çalışmaları ivme kazanmıştır. Ülkemizde özellikle metro, sulama ve karayollarında alanlarında tüneller kullanılmaktadır.

Tablo 1. Tarihteki bazı tüneller ve bunlara ait özellikler (Kun, 2010)

Tünel Adı	Yapım Yılı	Yeri	Amacı	Çap (m)	Uzunluğu (m)
-	MÖ 15000	Avrupa	Maden	-	-
-	MÖ 4000	Anadolu	Nakliye	3,5x5,4	1000
Aksıfat	MÖ 2000	İtalya	Nakliye	7,5	900
	MÖ300	Anadolu	Suyolu	0,8x2	45000
-	MÖ 200	Anadolu	Nakliye	3,8x4,8	960
-	MÖ 36	İtalya	Ulaşım	7,6-9,15	12200
Facinus	MÖ 41	İtalya	Drenaj	-	5635
Mal – Passe	1679-1681	Fransa	Suyolu	7x8	160
Thames	1807-1842	İngiltere	Ulaşım	-	-
Schuylkill	1818-1820	Amerika	Suyolu	5,5x6,1	250
Moodhead	1839-1841	İngiltere	Demiryolu	8,5x6,7	4843
Bergen	1850-1855	Amerika	Demiryolu	8,5x6,7	1271
Mont Cenis	1857-1871	Fransa-İtalya	Demiryolu	7,6x6,1	12700
St. Godhard	1872-1881	İsviçre	Demiryolu	8x7,5	14980
Simplon I	1895-1906	İsviçre	Demiryolu	5x5,35	19730
Simplon II	1912-1921	İtalya	Demiryolu	-	-
Rove	1911-1922	Fransa	Deniz	-	7118
Connaught	1913-1916	Kanada	Demiryolu	8,5x7,9	8052
Tanna	1918-1934	Japonya	Karayolu	-	-
Appenin	1920-1931	İtalya	Demiryolu	9,4x8,3	18510
New Cascade	1924-1927	Amerika	Demiryolu	8x7,5	14980
Metro	1900-	Paris	Ulaşım	7,8	15200
Metro	1937-1946	Londra	Ulaşım	14,1	4620
Metro	1934-1964	Moskova	Ulaşım	2x6	59500
Metro	-	Chicago	Ulaşım	4,5	22500
Mest Delaware	1955-1959	Amerika	Sulama	4,1	70858
E. Turnut	1954-1958	Avusturya	Sulama	7,3	22224

Harold Roberst	1957-1960	Amerika	Sulama	3,95	37485
Mont Blanc	1959-1965	Fransa-İtalya	Demiryolu	9x12,45	12650
Kadıncık I	1967-1969	Türkiye	Hidroelektrik	4	7128
Urfa	1977-1992	Türkiye	Sulama	9	2x26400
Eyüp	1986-1987	Türkiye	Kanalizasyon	2,2	1865
Selatinler	1988-1994	Türkiye	Karayolu	12,5	2x2950
Yahazu	1990-1993	Japonya	Karayolu	12x7,5	2x2000
İstanbul	1992-	Türkiye	Ulaşım	6,4	2x6500
İzmir	1995-2001	Türkiye	Ulaşım	2x6,5	2x1400
İzmir	2000-2007	Türkiye	Karayolu	12	1800
İzmir	2001-	Türkiye	Ulaşım	12	5400

2.4.Günümüzde Tünelcilik

Bugün modern tünel teknolojisi; kaya yapısının doğal dengesini bozmadan, teknik bir inisiyatifle kayanın kazılması ve güçlendirilmesinden oluşur. Diğer bir deyişle, teknik girişimin doğa üzerindeki etkisi de araştırılmaktadır. Ayrıca jeoteknik olarak yapılan değerlendirmelerde oldukça önem kazanmıştır.

Şehirleri birbirine bağlayarak tünellerle uzun mesafeli ulaşım ağları oluşturulabilmektedir. Günümüzde tüneller yine su ve atık su gibi atıkların taşınmasında %77, demiryolları ve metro inşaatlarında %15 ve karayollarında %8 oranında kullanılmaktadır. 1968’den 1975’e kadar, yalnızca Amerika Birleşik Devletleri’nde ki inşa edilen tünel uzunluğu 1530 kilometredir. ABD ’deki tüneller toplam 5,2 milyar dolar maliyetle inşa edilmiştir. Japonya’da 1980 ’den önce 1424 km tünel inşa edildi. Norveç’te toplam uzunluğu 3000 km olan tünellere yılda 150 km daha tünel eklenmektedir (Avcı & Keleş, 2017).

Kullanım amacı tünellerin çapını ve uzunluğunu belirlemektedir. Tipik olarak, karayolu ve demiryolu tünelleri 3 km’yi geçmez, ancak çapları geniş kalır, böylece araçlar rahat hareket edebilir ve manevra yapabilir. Su tünelleri ise genellikle 24 – 40 km uzunluğunda olup, dar çaplı ve uzundurlar. Dünyanın kayaçlar içerisine açılmış en uzun tüneli, Helsinki şehrinin su ihtiyacını karşılama amacı ile yapılmış olan 120 km’lik Päijänne Tüneli’dir (Kun, 2010).

2.5.Tünel Yapılmasını Gerektiren Hususlar

Bir tünelin yapılmasını gerektiren birtakım hususlar bulunmaktadır. Bu hususlara baktığımız zaman şu şekilde sıralama yapabiliriz (Kun, 2010);

- Arazi şartları
- Yolun kısalmasının sağlanması durumu
- Köprü ve viyadük yapılmasının zorunlu olduğu durumlarda tünel ile bu maliyetler azaltılması
- Zayıf kayaç ve zeminler
- Atık veya temiz suyun nakliyesi durumu
- Büyükşehirlerde oldukça fazla olan nüfusun ulaşımının sağlanabilmesi
- Bir karayolu ile demiryolunun kesiştiği noktalar

Bahsi geçen bu durumlarda tünellerin yapılması genellikle tercih edilme sebebidir. Sebebi ne olursa olsun tünelcilik çalışmaları gün geçtikçe daha da önem kazanmaktadır. Teknolojik gelişmeler ile birlikte gelişen tekniklerle tünelcilik bir uzmanlık alanı haline gelmiştir.

2.6.Tünel Türleri

Tünel türleri kendi içerisinde iki ana başlık altında incelenebilir (Emiroğlu, 2010);

- Hizmet Tünelleri
- Ulaştırma Tünelleri

2.6.1. Hizmet Tünelleri

2.6.1.1.Kanalizasyon Tünelleri

Şehirde bulunan atık suların şehir dışına çıkarılması ve arıtılması amacı ile kullanılan tünellerdir. Bu tünellerde en önemli sorun tünelin iç izolasyonunu sağlamaktır. Bunun nedeni ise tünellerden geçen atık sulardaki kimyasallar tünel duvarlarına zarar vermesidir. Bu kimyasallara bağlı duvarlarda oluşan hasarlardan sızan sıvıların

sızıntılarının önlenmesi gerekmektedir. Bu sızıntıların önlenmesi amacı ile asitlere karşı mukavemetli tuğlalar kullanılmaktadır. Bu tünellerde genellikle cazibeli akış söz konusudur (Öztürk & Durmuş, 2008). Tünellerin boyutları ise kullanılan yere göre üzerine gelen su yüküne göre değişmektedir.



Şekil 1. Kanalizasyon tüneline ait örnek görsel (Kocaeli Büyükşehir Belediyesi, 2017)

2.6.1.2.Alt Yapı Tünelleri

Büyük yerleşim alanlarında enerji, telefon ve diğer kabloların döşenmesi, gaz temini, su temini ve diğer iletişim için yapılır. Boyutları genel olarak bildiğimiz yaya tünellerinin boyutları ile aynı olmaktadır. Diğer tünellerden farkı dik eğimli giriş rampası yerine dikey shaftların kullanılmasıdır.



Şekil 2. Altyapı tüneline ait örnek görsel (Gezer, 2015)

2.6.1.3.Enerji ve Su Tünelleri

Su ile elektrik üretebilmek amacı ile yani hidroelektrik üretmek için barajda toplanan suyu türbin merkezine aktarmak için tüneller inşa edilmektedir. Hidroelektrik santrallerdeki cebri borular ve derivasyon tünelleri de bu sınıfa girmektedir. (Öztürk & Durmuş, 2008). Su tüneli tamamen doldurduğundan dolayı tünelde çok fazla su basıncı oluşabilir. Bu nedenle yuvarlak veya at nalı kesitli tüneller daha uygundur.



Şekil 3. Enerji tüneline ait örnek görsel (Yertaş, 2021)

2.6.2. Ulaştırma Tünelleri

2.6.2.1.Demiryolu Tünelleri

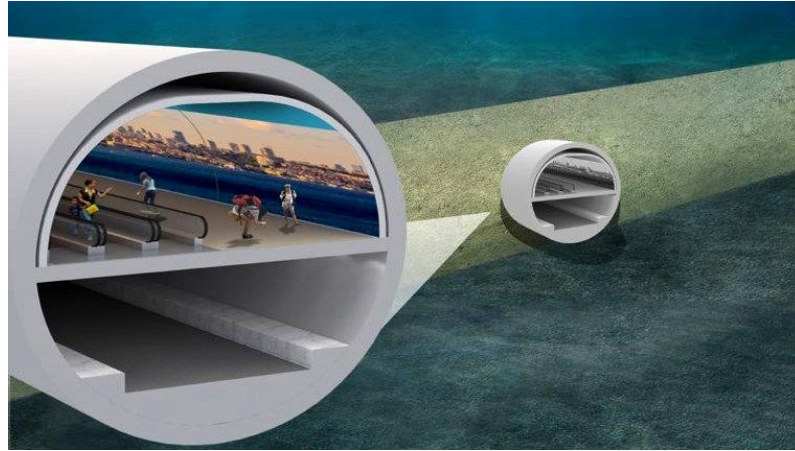
Taşıma tünelleri arasında en önemli yeri işgal ederler. Çünkü demiryolu kullanımına paralel olarak tünel teknolojisinde de ilerleme kaydedilmiştir. Demiryolu tünelleri nehirlerin, su kanallarının, boğazların altına veya dağlık alanlarda yapılabilirler. Tek hatlı demiryollarında 4,5 – 6 metre arasında ve çift hatlı demiryollarında ise 8 – 9 metre genişlikte açılabilirler (Emiroğlu, 2010).



Şekil 4. Demiryolu tüneline ait örnek görsel (Ray Haber, 2018)

2.6.2.2.Yaya Tünelleri

Trafik yoğunluğunun fazla olduğu, küçük kesitli ve eğimli yerlerde ve özellikle şehir içlerinde yapılır. Tünel girişlerinde ve çıkışlarında eğimin fazla olduğu yerlerde asansör kullanılabilir. Yaya tünelleri genişliği 3 metreden ve yüksekliği ise 2,5 metreden az olmamalıdır (Emiroğlu, 2010). Şekilleri kemerli, dairesel veya dikdörtgen şeklinde olabilir.



Şekil 5. Yaya tüneline ait örnek görsel (Emlakta Son Dakika, 2017)

2.6.2.3.Metro Tünelleri

Kullanım bölgelerine göre, karayolu üzerinde ve ana karayolu üzerinde, bölgenin içerisinde geçileceği durumlarda yapılabilirler. Kentteki önemli yapılar ve yerlerle uyum diğer bir deyişle entegre olması proje aşamasında dikkat edilmesi gereken unsurlar içinde yer alır (Tunç, 2007). Boyutları bakımından demiryolu tünellerinden farklıdırlar. Şehirdeki trafik yoğunluğunu azaltmak için metro tünelleri devreye girmektedir.



Şekil 6. Metro tüneline ait örnek görsel (İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel, 2021)

Ekspres ulaşım, metro, raylı sistem, toplu taşıma ve benzeri koşullar, kural olarak şehirlerde demiryolu teknolojilerine dayalı ulaşımır. En önemli özellikleri, çok sayıda insan taşıma ve sık sefer yapabilmeleridir.

Bahsi geçen seferlerin sayıları ise her on dakikada bir veya daha fazladır. Ayrıca diğer ulaşım kot seviyelerinden farklı bir seviyede bulunurlar. Dünyanın birçok yerinde ortak adı "metro" dur. Metro, "metropolitan" veya "metropolis" kelimesinin kısaltılmış biçiminde kullanılır. Londra'da ise "underground" ismi ile bilinmektedir.

Kuzey Amerika ve İskoçya'da "subway" olarak kullanılmaktadır. Ancak, Los Angeles ve Washington DC 'de "Metro" denir. Ekspres ulaşım şehrin altında, yüzeyde veya bir tepede olabilir. Tipik olarak, şehir merkezlerindeki ağlar yeraltında kurulur. Şehir dışına çıktıkça yüzey çizgilerinde bir artış olur. Ancak günümüzde yer altı, yüzey ve yükseltilmiş hatlar şehir içinde de faaliyet göstermektedir (Emiroğlu, 2010).

3. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE TÜNELCİLİK

3.1.Dünyada Tünelcilik

Tarih boyunca tüneller farklı şekil ve amaçlar ile kazılmıştır. Yaklaşık 3000 yıl önce Aztekler ve Babiller, değerli metalleri aramak için Mezopotamya, Mısır ve Hindistan'da dünyanın en eski tünellerini inşa etmişlerdir. 19. yüzyıla kadar, kayanın ısınmasıyla oluşan sıcak yüzeye ateş yakılarak, su ve sirke püskürtülerek sert kayaya tüneller kazılmıştır. Bu ilkel sayılan yöntemle yapılan tünellerde ilerleme haftada yaklaşık 1 metre kadardır.

Dünyanın ilk tüneli M.Ö. 4000 yıllarında Babil kenti yakınlarında Fırat Nehri'nin altında keşfedildiği sanılmaktadır. Bu tünel 3,5 x 4,5 metre boyutunda en ve boya sahip olup 1 kilometre uzunluğundadır. Daha sonraki dönemlerde galeri veya tünel açmanın da askeri bir teknik olarak kullanıldığı görülmektedir. Zor duvarları aşmak için kazma ve küreklerle tünellerin kazıldığı bilinmektedir. Şekil 7 'de, Mısırlıların ve Romalıların su taşımak için kazdıkları tünellere ait bir görsel bulunmaktadır (Araz, 2019).



Şekil 7. Mısırlıların ve Romalıların su nakli amacıyla açtıkları tünellere ait görsel (Araz, 2019)

Tünel yapımı tarihindeki en önemli olay Thames nehrinin altına inşa edilmiş olan tüneldir. 1823 – 1843 yılları arasında ve yapımı 20 yıl süren tünelin dikkat çeken bir özelliği, ilk olarak Fransız mühendis Brunel tarafından patenti alınan Bukliye yani kalkan yönteminin bu tünelde uygulanmasıdır. İnşa edilen tünel, günümüzde halen kullanılmakta olup 4,20 m ve 4,80 metrelik çift tüneldir. Şekil 8 'de, Thames nehri boyunca buklet yöntemiyle açılan bir tüneli göstermektedir (Araz, 2019).



Şekil 8. Kalkan metodu ile açılmış olan Thames tüneline ait görsel (Araz, 2019)

1830 'da Lord Cochrane, ıslak topraklarda kuyu ve galeri delmek için kullanılabilecek ve basınçlı hava ile uygulanabilen bir yöntem için patent almıştır. Demiryollarının gelişmesine paralel olarak büyük tünellerin sayısında artış gözlenmiştir. İlk demiryolu tüneli Fransa'da 1826 yılında Etienne – Terre Noir hattında gerçekleştirilmiştir (Araz, 2019).

Frejus demiryolu tüneli veya Mont Cenis tüneli, Avrupa 'da, Torino, İtalya 'dan Modane, Fransa 'ya, Alpler boyunca Senis Dağı üzerinden Fréjus demiryolu hattı boyunca uzanan 13,7 km uzunluğunda bir tüneldir (Araz, 2019).



Şekil 9. Frejus demiryolu tüneline ait görsel (Araz, 2019)

Geçmişten günümüze birçok tünel yapısı ile karşılaşmanın yanı sıra günümüz tünelticilik anlayışı ve tekniklerinin geçmişi yaklaşık 150 yıllık bir geçmişe dayanmaktadır. Örneğin; 1868 yılında New York metrosu, 1960'lı yıllarda Manş tüneli gibi tüneller günümüzde bilindik bazı tünellerdir.



Şekil 10. Manş tüneli (Araz, 2019)

Tablo 2. Yakın tarihimizde dünya da inşa edilmiş bazı önemli demiryolu ve metro tünelleri (Araz, 2019)

Tünel Adı	Ülke ve Yeri	Uzunluğu (km)	Kullanılmaya Başlandığı Zaman
Demiryolu Tünelleri			
Channel Tunnel	Manş Kanalı	50,5	1944
Seikan Tunnel	Japonya	53,6	1988
Lötschberg Base Tunnel	Alpler, İsviçre	34,5	2007
Gotthard Base Tunnel	İsviçre	57	2018
Metro Tünelleri			
Northern Line	Londra	27,8	1890 – 1940
Metro Lausanne	Lozan	13,7	1991
Seoul Subway Line 5	Seul	47,6	1990 – 1996
Seoul Subway Line 6	Seul	35,1	2000
Timiryazevskaya Line	Moskova	41,5	1983 – 2002
Metro Madrid L-12	Madrid	40,9	1999 – 2003
Metro Madrid L-7	Madrid	32,9	1974 – 2007

3.2.Türkiye’de Tünelcilik

Ülkemizde su, yeraltı demiryolu ve karayolu ulaşımı için gerekli noktalarda tüneller açılmıştır. Nüfusun artmasıyla birlikte kesintisiz ulaşım ihtiyacı da her geçen gün artmaktadır. Ulaşımın daha kısa sürede, daha rahat ve ulaşılabilir olması için hem raylı sistemler ait projelere hem de karayolunda bulunan tünellerinin yapımına hız verilmektedir. 19. yüzyılın sonlarında ülkemizde demiryolu projelerinin oluşmasıyla, bazı kontrol noktalarında tünellerin gerekliliği de ortaya çıkmıştır. Bu kapsamda, 1871 yılında İstanbul ile Kocaeli arasında demiryolu yapımına başlanmış olup yol boyunca bazı tüneller de açılmıştır. 1875 yılında Galata ve Beyoğlu ilçeleri arasında dünyanın en eski ikinci metrosu olan ayrıca Türkiye’nin de ilk yeraltı metrosu hizmete girmiştir.



Şekil 11. Beyoğlu metrosu (Ediz Roma, 2014)

1982 yılında Mersin ilimizin 20 km kuzeyinde 7127 m uzunluğa sahip olacak şekilde inşa edilen Kadıncık – 1 tüneli, o dönemde Türkiye’nin en uzun tünelidir. İstanbul – Ankara karayolu üzerinde ve iki tüp olarak inşa edilmiş Bolu dağ tünelinin 2952 metre uzunluğundaki sağ tüpü 23 Ocak 2007’de kullanılmaya başlanmış, sol tüp ise 3140 metre uzunluğunda olup 8 Mayıs 2007’de kullanılmaya başlanmıştır. Türkiye’de Bolu Tünelini diğer tünellerden imalat yönü ile ayıran özelliği ise ilk olarak tünel kaplamasında kullanılan tel örgü yani hasır kaplama yerine çelik fiber püskürtmeli beton kullanılmış olmasıdır.



Şekil 12. Bolu tüneline ait görsel (Araz, 2019)

4. TÜNEL YAPIM YÖNTEMLERİ

4.1.Klasik Yöntemler

Klasik yöntemler genel olarak 18 ve 19 yüzyılları kapsamaktadır. Bu dönemler arasında yapılan tüneller bu yöntemler ile yapılmıştır. Diğer bir ismi ise göbek alma yöntemidir (Saticı & Topal, 2015).

Amerikan, Alman, Belçika, Avusturya, İtalyan, İngiliz ve Osmanlı tünel yapım yöntemleri bu başlık altında incelenebilir. Genel anlamda 19 yüzyılın ortalarına kadar madencilik alanında yaygın bir biçimde kullanılmışlardır (Saticı & Topal, 2015).

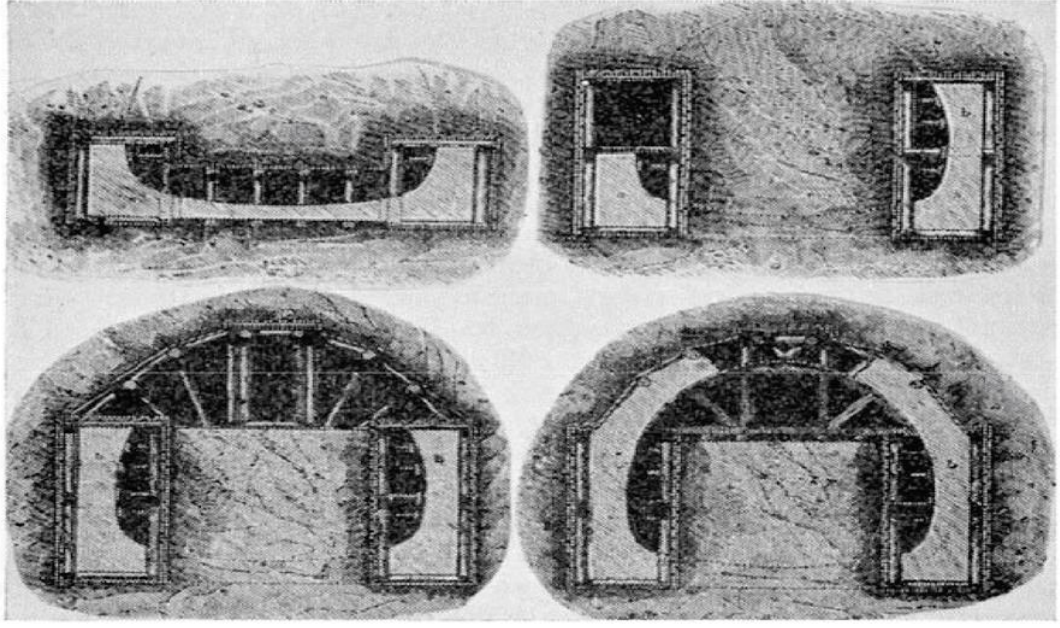
Kazı genel olarak, el yordamı ya da basit el aletleri ile yapılmaktadır. Yapıyı destekleme amacı ile kalın, dayanıklı kütükler kullanılıp, çıkan topraklar küçük araçlar veya buharlı araçlar ile dışarı atılmaktadır.

Kazılar genelde olarak parçalar halinde birkaç aşamada yapılır ve yukarıdan aşağıya doğru inmektedir. Her kazı tamamlamasından sonrası destekleme işlemleri yapılmaktadır. Bugün bu yöntemler artık kullanılmamasına rağmen, geçmişte bazı önemli büyük tüneller bu yöntemlerle kazılmıştır. Klasik yöntemlerin başlıcaları alt başlıklarda detaylı olarak açıklanmıştır.

4.1.1. Alman tünel açma yöntemi

Bir dizi kutu galeri ve bunların tabandan yukarıya doğru sıralı olarak açılan desteklerinden oluşan bir sistemdir. Galerilerin açılması da kazı sırasında karşılaşılabilecek birimler hakkında bilgi almayı kolaylaştırmaktadır.

Bu yöntemde öncelikle kaplamanın temeli oluşturulduktan sonra duvar kaplaması sağa ve sola serilir ve daha sonra ortası boşaltılarak yan duvarlardan gelen aşırı yüklerin önüne geçilmiş olur.



Şekil 13. Alman tünel açma yöntemine ait örnek görsel (Satıcı & Topal, 2015)

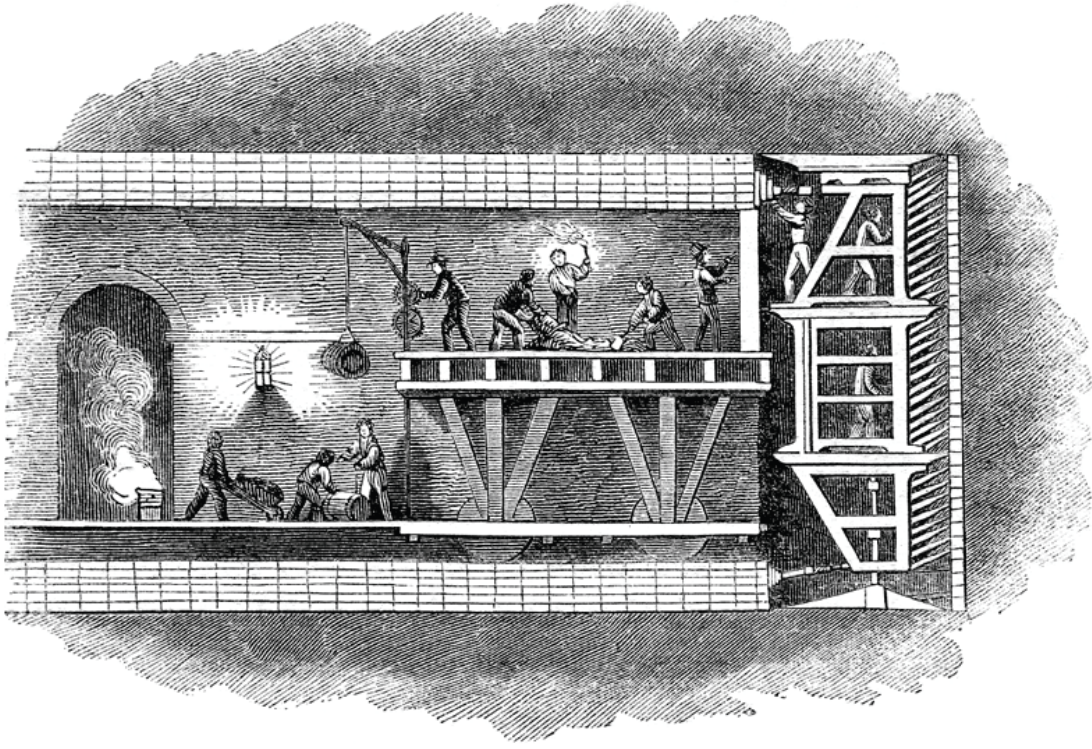
4.1.2. Avusturya Tünel Açma Yöntemi

Bu yöntem, üst yarının üst kısmında tabanda ortalananmış sağlam bir yapı gerektirmektedir. Daha sonra tam aynalı kazı yapabilmek için kereste desteklemesi ve kazı etrafındaki girintiyi kapatmak için uzunlamasına ahşap destekler ile merkezdeki çekirdek için sağlam bir destek arasına yerleştirilir. Bu yöntem, yüksek zemin basınçlarına dayanabilir, fakat çok fazla yüksek mukavemet ve fazla sayıda ahşap gerektirmektedir. Diğer bir isimlendirmesi ise Çapraz sürgü yöntemidir.

4.1.3. İngiliz Tünel Açma Yöntemi

Bu yöntemde, kazı üst yarının ortasından başladığında, ortadaki kazı tamamlandıktan sonra ahşap destekler buraya yerleştirilirken, ahşap desteklerin üst tarafı tünelin dış kaplamasını, alt kısmı ise tünelin iç kaplamasını destekler ve kazının üst yarısının ortasına bastırılır.

Üst yarıda kazı ilerledikçe, bu alanda kazının çevresi boyunca ek destekler dikilir ve toprak kazılabilir. Bu sistem ahşabın kullanılması nedeniyle ekonomiktir ve birçok toprak koşulunda da kullanılabilir. Bununla birlikte, düşük bir örtü yükü olmadan bunu uygulamak zordur.



4.2.NATM Yöntemi

Tünellerde bir tünelin açık olduğu dağlık ortama taşınması ilkesinden ortaya çıkan "Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu" kısaltmasıyla NATM günümüzde oldukça yaygın bir yöntemdir. En uygun kazı ve güçlendirme yöntemleri kullanılarak kazı sonrası oluşan ikincil gerilmeler ve deformasyonlar, kurulan ve yönlendirilen desteklerle kayaya aktarılır. Amacı, tünel bölümünü çevreleyen kayalık alanın orijinal gücünü mümkün olduğunca koruması, tüneli çevreleyen alanın kendini tutması ve doğal bir tahkimat oluşturmaktır.

Bu yöntem, tünel için yeni perspektifler açar. Bu nedenle eski yöntemlerle karşılaştırıldığında genel prensipleri açısından çok fazla benzerlik göstermemektedir. Bunlar, Leopold Müller tarafından geliştirilen, ana kayanın başlangıçtaki sağlamlığının korunmasına ve inşa edilen tahkimatla birlikte kaya bölgesinin de taşıyıcı olmasını sağlamaya dayanan 22 NATM ilkesidir. Bu nedenle tahkim işlemleri en kısa sürede tamamlanmaktadır. Kesilen alanlar ne kadar yuvarlaksa, yöntem o kadar iyi çalışmaktadır.

Bugün ülkemizde yapılan birçok tünelde NATM yöntemi kullanılmaktadır. NATM 'nin destekleyici elemanları püskürtme beton, iksa ve kaya bulonlarıdır. Genel olarak püskürtme beton kalınlığı 10 – 20 cm arasında değişmektedir. İlk güçlendirmeden sonra iç betonarme kaplama yapılır ve olası bir olumsuz duruma karşı önlem alınabilir.

4.2.1. NATM Yönteminin Tarihsel Süreçteki Gelişimi

NATM yöntemi 1958 yılında A. Brunner tarafından patentlenmiştir. Ancak 1959 yılında Avusturyalı tünel uzmanları Rabcewicz, Müller ve Pacher tarafından tanıtılmıştır (Polat, 2010). Eski Avusturya tünel açma yöntemi ve diğer teknolojilerin uygulamalı olarak incelenmesi sonucunda geliştirilmiştir. Doğadaki birçok ilgili olgunun incelenmesi ve ölçülmesi, en sert kayalarda bile yapılacak tünelleri tanımlamanın en iyi yolu olan deneysel olarak yaklaştırmaya sebebiyet vermiştir.

NATM yöntemi ilk olarak Fransa, Avusturya, İsviçre, Almanya ve İtalya 'da uygulanmıştır. Bu yöntem hızlı bir şekilde benimsenerek dünya çapına yayılmış olup, birçok yerde tünel açma çalışmalarında başarıyla uygulanmıştır. NATM yöntemi

araştırmacılar tarafından çok farklı açılardan incelenmiştir. İlk büyük ölçekli NATM tüneli Venezuela 'da Rabcewicz tarafından inşa edilmiştir (Polat, 2010).

En eski uygulamalardan bir diğeri de 1969 yılında yapılan Frankfurt Metrosu'dur. Bu yöntem Japonya'daki Seikan Tüneli 'nde de kullanılmıştır. Günümüzde bu yöntem ülkemizde ve dünyada birden çok tünelde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır (Yoluk, 2020).

4.2.2. NATM Yönteminin Özellikleri

NATM yönteminin esası kayanın başka bir kayaya taşıtılması temeline dayanmaktadır. Dinamik ve esnek yöntemlerden olan NATM yönteminin en önemli koşulu kazıda ki adımlara ve kurallara kesinlikle uymaktır. Genel olarak bu yöntemin önemli sayılan dört özelliği bulunmaktadır (Yoluk, 2020).

4.2.2.1.Kayanın dayanımı

Yöntem, tünel bölümünü çevreleyen ve tünel desteğinin ana elemanı olan kaya kütlelerinin doğal mukavemetini korurken yük taşıması esasına dayanmaktadır. Kurulan ilk destek, kayanın kendisini yük taşıyıcı bir eleman haline getirir. Kazıdan hemen sonra uygulanan ince bir püskürtme beton tabakası, kaya kütlelerinin mukavemetini artırır ve kazıdan kaynaklanan çatlakları azaltır. Gevşeme ve aşırı kaya deformasyonu önlenmelidir.

4.2.2.2.Yapılan ölçüm

Tünelin kazısı devam ederken, tünelin açıldığı kayaların testleri sürekli yapılmalı ve kazı sırasında oluşan tüm deformasyon ve gerilmeler günlük olarak ölçülmelidir. Bu ölçümler sayesinde öngörülemeyen durumlarda anında yeni çözümler alınabilmekte, bulunduğu yere göre toprak işleri ve tahkimat sistemi güçlendirilip zayıflatılabilmektedir.

4.2.2.3.Güçlendirmenin esnekliği

İlk kat ince tabaka püskürtme beton olmalıdır. Ana takviye çelik bir destek, çelik ağ ve ardından başka bir püskürtme beton ve kaya bulonları ile sağlanmalıdır. Kazı

sonrasında ihtiyaç duyulan ana destek için ilk tahkimat yapılmıştır. Tünelde yapılan ölçümler sonucunda ikinci bir donatıya ihtiyaç duyulursa donatıya başlanmalıdır.

4.2.2.4.Taban betonu ile güçlendirme

Tünel zemini bir an önce kapatılmalıdır. Bu işlem tam bir destek halkasının oluşmasını sağlar. Bu durum, destekleyici halkanın temelini oluşturur. Özellikle zayıf zeminlerde açık olan tünellerde bu işlem hızlı bir şekilde gerçekleştirilmelidir. Bulunan yerin koşullarına bağlı olarak, halkanın beton bir tabanla kapatılma süresi belirlenir.

4.2.3. NATM yönteminde kazı

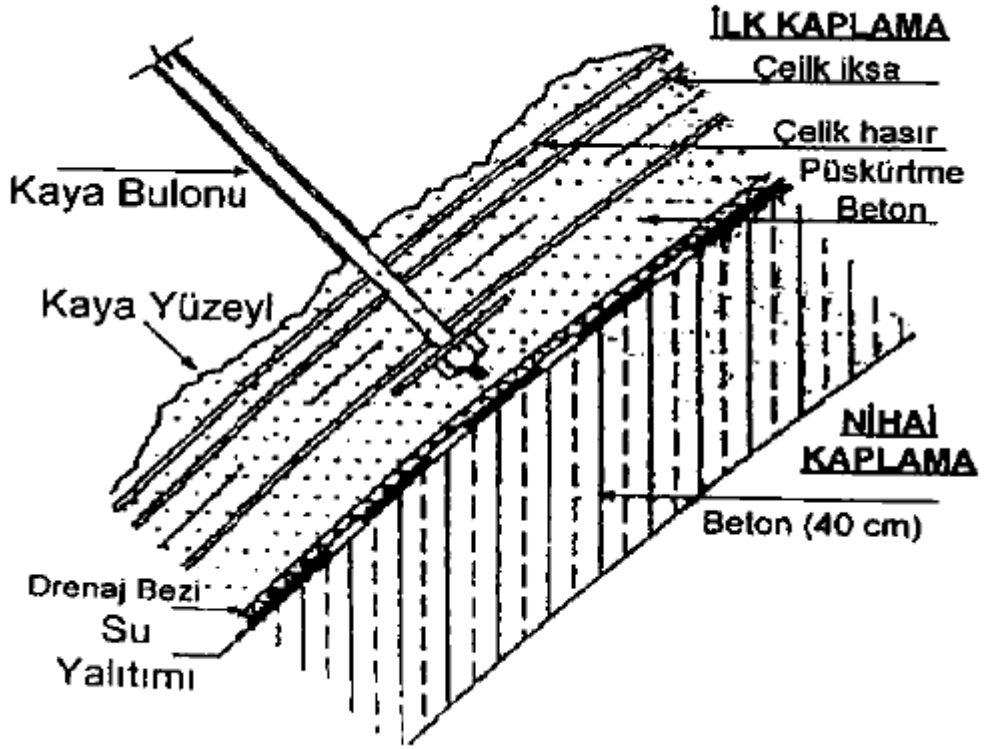
NATM yönteminde kazı teknikleri olarak patlatma, delme ve yarı mekanize kazı kullanılmaktadır. NATM yöntemi uygulanan tünellerinde güçlendirme elemanları, adımları ve amaçları şu şekildedir;

Zemin kat püskürtme betonu ilk destek olarak kullanılmaktadır. Püskürtme beton derzlerinde çatlakların üzerini kapatarak dökülmeleri önlemek ve kayanın kendi kendini taşıma durumunu muhafaza etmesini sağlamaktır. Aynı zamanda bu işlem hava ile teması keser ve stabiliteyi artırır. Kural olarak, 5 cm kalınlıkta olması yeterlidir.

İkinci aşamada çelik veya kafes kalıp kullanılır. Bazı kaya oluşumlarında ise gerekmebilir. Uygulamanın amacı, bir bütün olarak kaya tavanının eğriliğini ve deformasyonunu sağlamaktır. İki tip kalıp kullanılmaktadır. Bunlar yapısal takviyenin kaynaklanmasıyla oluşturulan I – Kiriş ve kafes kalıptır. Kafes desteği hafif ve ekonomik olduğu için daha avantajlıdır.

Üçüncü aşama, güçlendirilmiş püskürtme betondur. Kalınlığı genellikle 8 – 25 cm aralığındadır. Her şeyden önce, iki destek arasına hasır çelik, aralarında boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilir. Daha sonra iki destek kirişi arasına bağlantı elemanları monte edilir ve bu işlemlerden sonra püskürtme beton uygulanır. Bu, tünel desteğinin bir diyafram görevi görmesini ve çelik donatının korozyonunu önlemesini sağlar. Ayrıca beton ve su yalıtım elemanlarının iç kaplaması için düzgün bir tünel yüzeyi sağlamaktadır. Son olarak, kaya bulonu yapılır. Amacı ise kazı sonrası ikincil

koşullar nedeniyle oluşan elastik deformasyon bölgesine bir plastik deformasyon bölgesinin eklenmesiyle doğal dengesi bozulan kayaları güçlendirmektir. Seçimi ihtiyaca göre belirlenen farklı tipte kaya bulonları bulunmaktadır. Bu dört unsur ile yapıya geçici destek sağlanmaktadır (Yoluk, 2020).



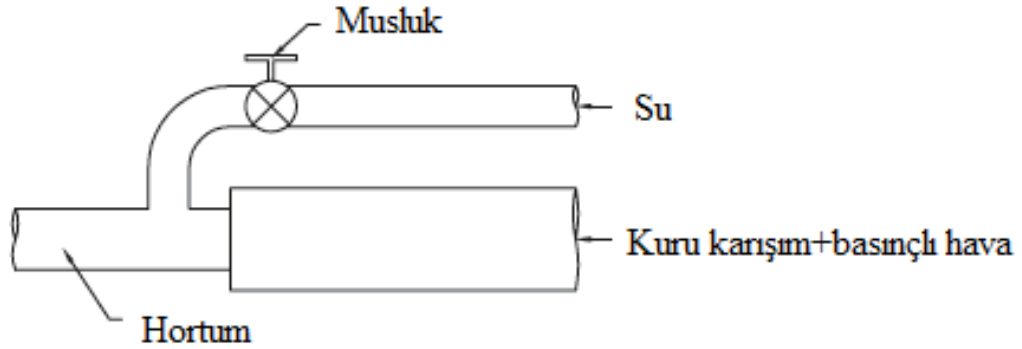
Şekil 16. NATM yöntemi güçlendirme elemanlarının şematize edilmiş hali (Polat, 2010)

4.2.4. NATM Yönteminde Destekler

Tünellerde konsolidasyon iki aşamada gerçekleşir. Geçici takviye olarak da adlandırılan birincil güçlendirme, bir kafes veya çelik destek, güçlendirme cıvataları, püskürtme beton ve kafes çelik takviyeden oluşur. Kalıcı donatı, nihai betonarme kaplama sistemidir. Kaya desteklenemeyecek kadar parçalanmışsa, gerekli destek aralığı azaltılır. Kazılacak alan ve çevresindeki destek bölgesi güçlendirilir. Ayrıca iç kaplama ile kaya kütlesi arasında boşluk oluşma ihtimalini önlemek için kontak enjeksiyonu yapılabileceği gibi yüzeyde çökmeyi önlemek için de conta enjeksiyonu yapılabilir. Aynanın stabilitesini sağlamak için ayna püskürtme beton, çelik hasır ve güçlendirme cıvataları ile desteklenebilir (Yoluk, 2020).

4.2.4.1.Püskürtme betonu

Hafriyat yüzeyine pompalarla kuru veya ıslak olarak püskürtülen, ince kum, agrega, çimento ve priz hızlandırıcı karışımından oluşan çok yönlü bir harçtır. Püskürtme betonun en önemli özelliği, hızlandırıcı kimyasalların karışıma katılması sayesinde çabuk priz alması ve dayanıklı olmasıdır. Püskürtme beton, kayanın kesme mukavemetini artırır, tünel bölümü çevresinde kayanın gevşemesini, kaya boşluklarını doldurmasını, dökülmeleri ve sökülmesini önler. Kazıdan hemen sonra meydana gelen bazı gerilmeleri ve yer değiştirmeleri kapsar. Destek, çelik ağ ve kaya kütlesi arasında oluşturulabilir. Bölgesel boşlukların minimumda tutulmasını sağlar. Donatılı ve donatısız taşıyıcı eleman olarak kullanılır (Yoluk, 2020).



Şekil 17. Kuru karışım gösteren şema (Polat, 2010)

Tablo 3. Püskürtme betona ait dayanım değerleri (Polat, 2010)

Zaman	Dayanım (N/mm ²)
6 dakika	0,2 – 0,5
1 saat	0,5 – 1
24 saat	8 – 20
7 gün	30 – 35

4.2.4.2.Hasır Çelik

İki tip çelik hasır yapısı kullanılmaktadır. Bunlar birbirine kaynakla bağlanan zincir ve çelik hasır şeklinde iç içe tel örgülerdir. Püskürtme betonun statik özelliklerini arttırmak ve beton prizlerinden önce gerekli stabiliteyi sağlamak için hasır kullanılır. Çelik ağ, püskürtme betonun kesme mukavemetini artırır. Püskürtme beton ile birlikte kullanıldığında çelik hasır kayaya mukavemet kazandırır, onu hava ve nemden korur

ve bulonların takviye edici etkisine ek olarak rijit bir diyafram oluşturarak mukavemet etkisini geniş bir alana yaymaktadır (Yoluk, 2020).

4.2.4.3.Kaya Bulonları

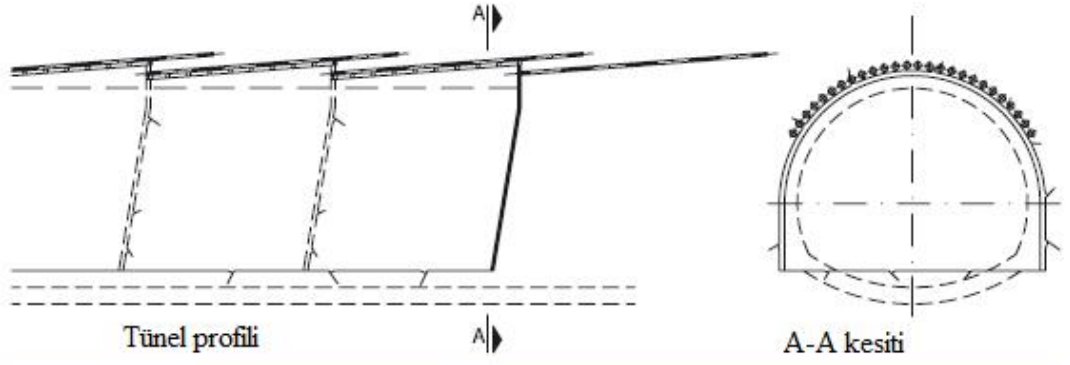
Kaya bulonları, kayayı, çekme gerilmelerine dayanabilmesi, çekme gerilmelerini ana kayaya aktarabilmesi, süreksizliklerin sürtünme direncini artırabilmesi veya kayada üç eksenli bir gerilme durumu oluşturabilmesi için güçlendirmek için yer kabuğuna bağlanan demir çubuklardır. Cıvatalar tünel kazarken duvardan ve tavandan kopmak üzere olan taşları tutan güvenlik elemanlarıdır. Kaya bulonları, tünel bölümü çevresinde kayayı desteklemek için kullanılan ana destek elemanlarından biridir. Kaya bulonları, taş blokları sabitlemek için tek başına ve ayrıca çevredeki kayanın gücünü artırmak için sistematik olarak kullanılabilir (Yoluk, 2020).

4.2.4.4.Çelik İksa

Çelik iksa, püskürtme betondaki yükün dağıtılmasının yanı sıra, püskürtme beton güç kazanana kadar kazılan tünel bölümünde konstrüksiyonun güvenliğini sağlamak için kullanılır. Kullanılan çelik destekler kayaya bağlı olarak haddelenmiş I, H, TH veya U kesitleri ve kafes kirişler olarak seçilebilir. Bu tür destek elemanları, daha az çatlaklı kayalarda olduğu gibi, kazı sonrası aşırı çatlamanın meydana geldiği kayalarda da kullanılabilir. Şiddetli çatlaklı kaya koşullarında, küçük taş blokların düşmesini önlemek için çelik destek ile kazı duvarı arasına bir çelik ağ, çelik çubuk, ahşap kama veya çelik plakalar yerleştirilebilir. Çelik aletler kesimi çevreleyen kaya kütlelerini güçlendirmez. Ancak, deformasyonla zayıflamış çevredeki kayayı desteklemektedirler (Yoluk, 2020).

4.2.4.5.Ön süren

Önceden kazıyı desteklemek için bir ön uygulama yapılır. Tünel ilerleme yönünde kullanılan enjekte edilen öncüler, ortamı iyileştirmek ve kaya mukavemetini arttırmak ve ayna önündeki kesme gerilmelerini kontrol etmek için kullanılır (Yoluk, 2020).

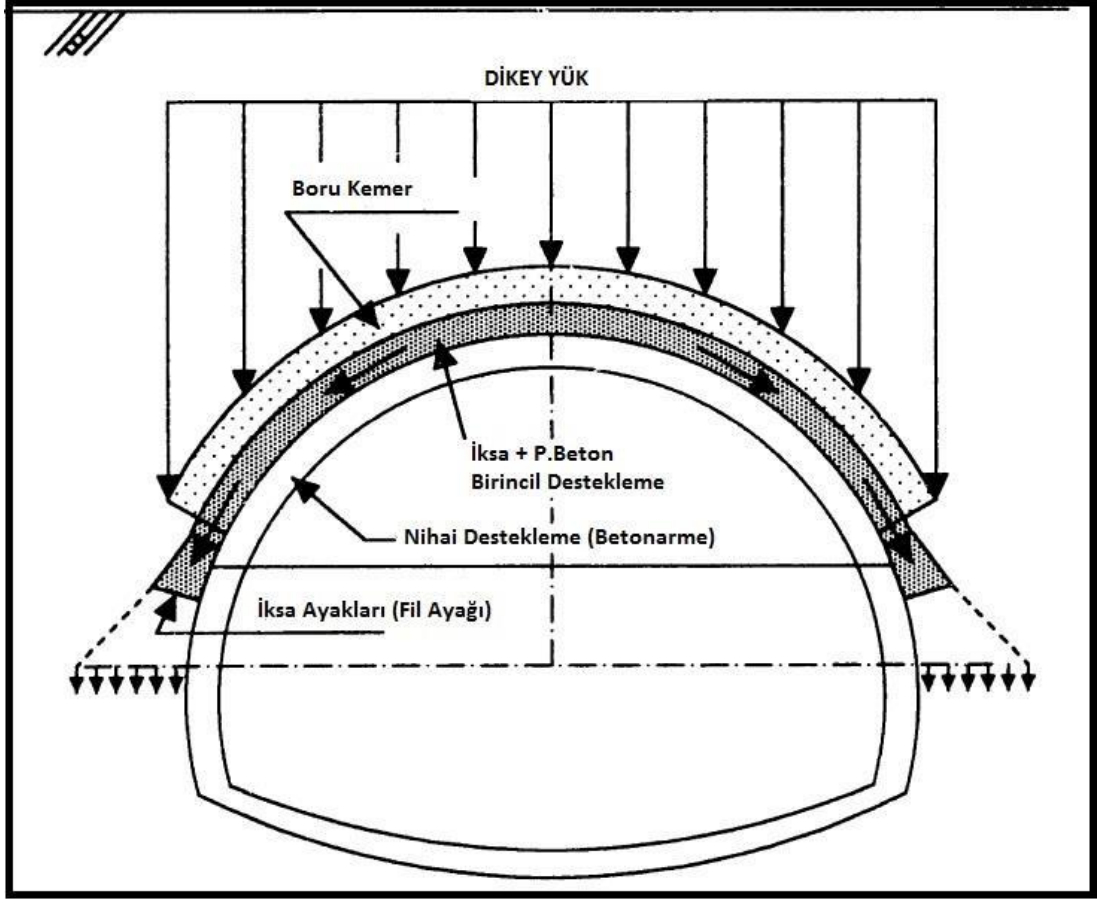


Şekil 18. İtalya Solignano tüneli ön süren uygulanmasının gösterimi (Polat, 2010)

4.2.5. Umbrella Arch Metodu

Bilim ve teknolojiye ilerlemeler nedeniyle geleneksel tünel açma, kaplama ve zemin iyileştirme tekniklerinde önemli değişiklikler olmuştur. Özellikle yumuşak zemin koşullarında ön tonoz, ön astar olarak adlandırılan bir takım yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bu yöntemler, esas olarak, tünel cephesinde kazı yapmadan tünelin yayı boyunca ileriye doğru bir tahkimat kabuğu oluşturma ve daha sonra bu kabuk altında kazıya devam etme ilkesine dayanmaktadır. Güçlendirme kabuğu, UAM borularından, jet grout kolonlarından veya beton cephe kemerinden yapılabilir. Paris metrosunda ilk kez bu yöntemler uygulanmıştır.

Güvenlik bandı yöntemi, NATM yöntemini desteklemek için ek bir yöntem olarak maliyetli kabul edilir. Teknik ve ekonomik faktörlerin uygun dengesi için ön araştırma esastır. Güçlendirilmesi gereken bölgenin konsolidasyon mekanizmasını açıklamak, kapsamını belirlemek, tasarım özelliklerini belirlemek, tasarım ve mühendislik özelliklerini bilmek için gerekli araştırmaların yapılması gerekmektedir.



Şekil 19. Umbrella Arch metodunda yüklerin dağılımı (Çelik & Türkmen, 2015)

Bu tür yeni sistemler ve kazı yöntemleri, olumsuz jeolojik koşullarda (tünel yüzeyindeki kaya kütleleri düzensiz, çatlak, düşük mukavemetli) ve mühendislik-jeolojik koşullarda büyük kesitli tünellerin inşası için geliştirilmiştir. Bir tünel projesinde, hedefe ulaşmak için kısa teslim süresi, düşük maliyet ve çalışanların güvenliği göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda zorlu jeolojik koşullarda tam kesitli kazı için ekipmanların kapasitesinin artırılması ve ön destek yöntemlerinin geliştirilmesi işi kolaylaştırmaktadır.

Yüzey cıvatası adı verilen destek elemanı, yumuşak zemine maruz kalan geniş kesitli tünellerde tünel aynasına stabilite sağlamak için tasarlanmıştır. Bu destek elemanı

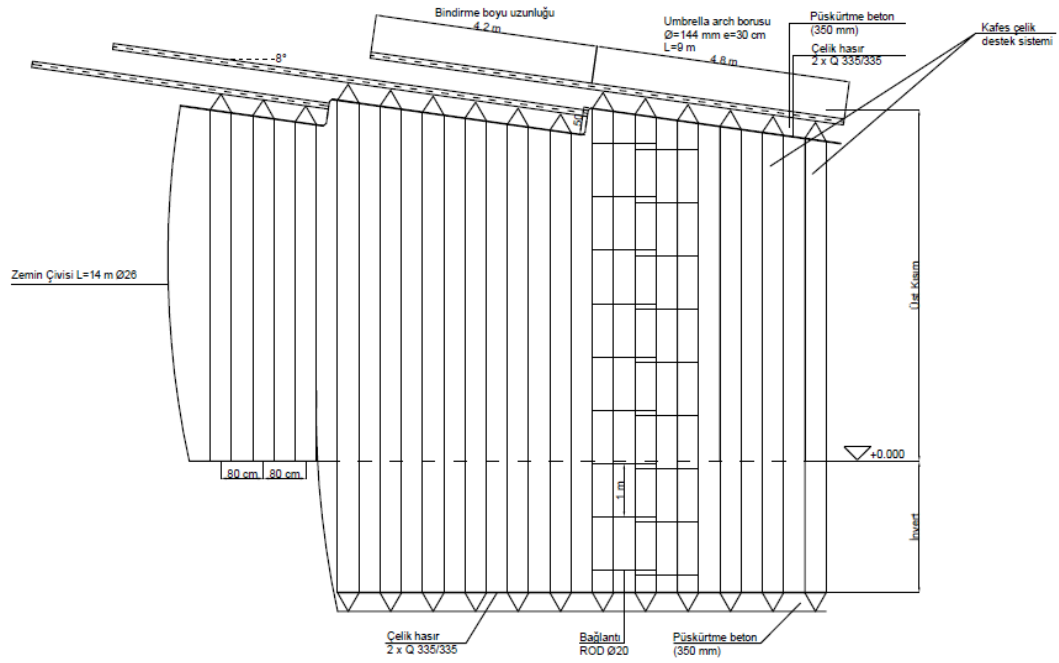
kullanılırken tünelin dibine belirli bir çap ve uzunlukta bir delik açılır, bu deliğe uygun kalınlık ve uzunlukta donatı yerleştirilir ve uygun kıvamda çimento harcı dökülür. Cıvata takviyesi olarak nervürlü uç çeliği kullanılır ve yeterli çekme mukavemetine sahip cam elyafı da kullanılabilir. Toprak çivilerinin kullanımı ilk olarak 1980 'lerden sonra İtalya'da büyük tünellerde kullanılmıştır.

Ülkemizde NATM yöntemi yardımı ile yapılan kazılar sonucunda tünelde deformasyonlar ve yüzeyde çökmeler izin verilen sınırları aşmıştır. Bu sebeple UAM yöntemi İstanbul Metro 2. Proje aşaması kapsamında Yenikapı kuyusu tünellerinde uygulanmaya başlanmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Bu sonuçların ardından Taksim bölgesinde tünel kazısı yapılırken bu yöntem uygulanmış ve burada başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

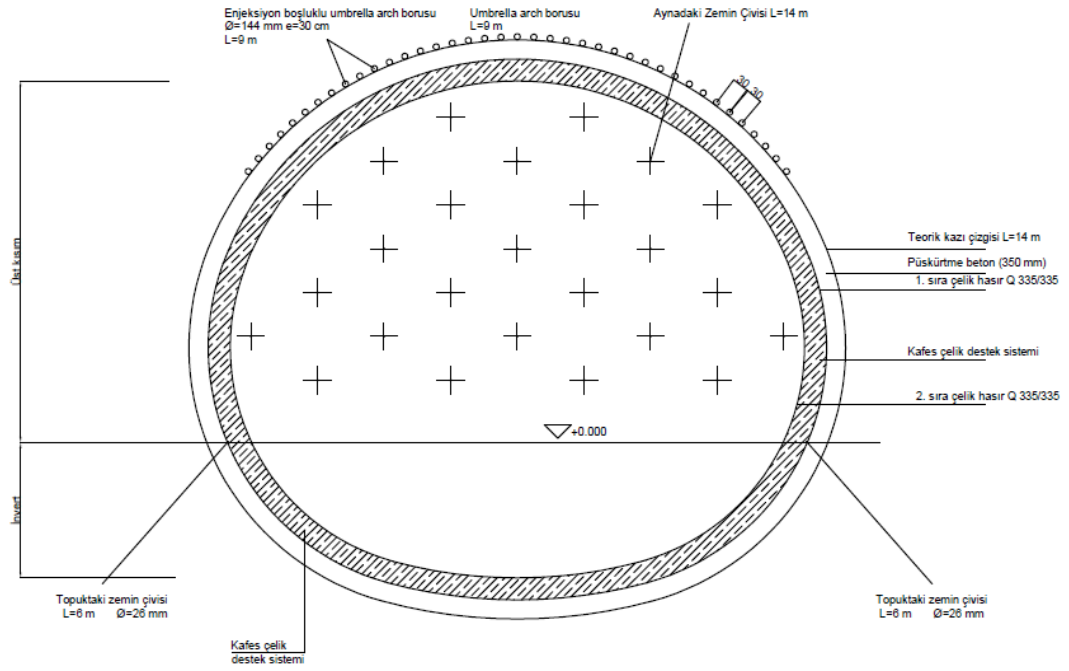
Bu yöntem sayesinde klasik yöntemle olumlu sonuçların alınamadığı zemin koşullarında tünellerde ve yüzeyde güvenlik, verimlilik ve seyir hızı gibi performans özellikleri maksimize edilebilmektedir. Çeşitli projelerde kullanılışılığını kanıtlamış olan yöntem, İtalya'dan sonra Japonya'da da birçok tünel projesinde kullanılmıştır.

Bu yöntemin NATM yöntemine göre en büyük dezavantajı ilerleme hızının düşük ve birim maliyetinin yüksek olmasıdır. Ancak burada dikkat edilmesi gereken, UAM yönteminin uygulanması ile oluşacak maliyet değil, uygulanmaması sonucu oluşacak çok daha büyük maliyetlerdir. Çünkü yöntemin kullanılmaması durumunda aşırı yüzey oturmaları oluşabilecektir (Ocak & Möröy, 2006).

UAM yönteminde kullanılan bazı destekleyici unsurlar klasik yöntemle benzerdir. Bunlar: kaya bulonları, çelik hasır, kalıp, püskürtme beton. Ancak uygulama bazı açılardan klasik yöntemden farklılık göstermektedir. Örneğin klasik yöntemde kaya bulonları kalıp boşluğuna eşit olarak dağılsa da UAM yönteminde UAM borularının bulunduğu alanda çakılamazlar. Klasik yöntemde genellikle Q221 / 221 çelik hasır kullanılırken, UAM yönteminde Q335 / 335 çelik hasır kullanılır. Ayrıca, her UAM periyodunun sonunda ayna bir kat çelik hasır Q221 / 221 ile kaplanır. Ayrıca iksada da farklılıklar vardır. UAM yönteminde kullanılan destekler bu UAM içindeki genişlemeler düşünülerek imal edilmekte ve buna göre sahada montajı yapılmaktadır (Selçuk, 2016).



Şekil 20. Umbrella Arch yönteminde ringin profil enkesiti



Şekil 21. Umbrella Arch yönteminde ringin enkesiti

5.1.Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Hattının Genel Jeolojik Durumu

Bahsi geçen metro hattı şu formasyonlardan oluşmaktadır (Selçuk, 2016);

- Kurtköy formasyonu
- Gözdağ formasyonu
- Aydos formasyonu
- Kartal formasyonu
- Dolayoba formasyonu
- Trakya formasyonu
- Tuzla formasyonu

5.1.1. Kurtköy Formasyonu

Formasyonun tepesinde, konglomera mercekler veya ara katmanlar içerir. Nadiren geniş alanları kaplayan çakıl taşları arasında leylak, yeşilimsi, orta-yuvarlak sütlü kuvars, kuvarsit, çakmaktaşı, granit ve gabro magmatit, volkanik ve şeyil çakılları ve yarı köşeli-yarım daire biçimli kırmızı şeyil ve arkoz kumtaşı çakılları bulunur. Çakıllar, yer yer zayıf boylanmış, taneli veya iri taneli kum hamuru ile sıkıca sabitlenmiştir. Kırmataş boyutu genellikle 1 – 5 cm 'dir, bazı yerlerde 10 – 15 cm 'ye kadar çıkar. Bu konglomeralar, farklı seviyelerinde birkaç metreden yüzlerce metreye kadar farklı boyutlarda mercekler oluşturur (Selçuk, 2016).

5.1.2. Gözdağ Formasyonu

Bu oluşum, üstlerinde katmanlı şeyiller ve mercekli kuvarsitlerden oluşur. Genellikle grimsi yeşil, gri ve kahverengi, inceden kalına doğru silisli ve mikalı şistler ve grovaplardan oluşur. Bunlar Küçük-Beylik dağının güneydoğusunda, Balçık tepesinin doğusunda ve Gaziler tepesinin doğusunda Gebze için tipik mostralardır. Formasyon, Aydos Formasyonu boyunca uyumlu ve kademeli bir geçişle başlar. Formasyon yatay ve dikey olarak üstteki Dolayoba Formasyonuna geçer. Formasyon içerisinde çeşitli araştırmacılar tarafından toplanan ve belirlenen fosillerin içeriğine göre Orta Ordovisiyen – Landoveriyen yaşına aittir (Selçuk, 2016).

5.1.3. Aydos Formasyonu

Bu formasyonu yapısı genel olarak kuvarsitlerden oluşmaktadır. Bazı yüzeylerde süt kuvars çakıllarını kapsayan silik çimentolu çakıl düzeyleri ile başlamaktadır. Çeşitli düzeylerde değişen oranlı ara katkılar olarak milli ve killi şeylleri kapsamaktadır (Selçuk, 2016).

5.1.4. Kartal Formasyonu

Kartal Formasyonu esas olarak kum büyüklüğünde killi – ince taneli kırıntılı kayaçlardan oluşur. Taze siyah-koyu gri, ayrılmış gri-açık kahverengi, ince-orta tabakalı, kırıklı, bol mikalı şistler hâkim kayaç tipini oluşturur. Nadiren 5 – 10 cm kalınlığında ince taneli kumtaşı ve makroskobik kırıntılı kireçtaşı ara katmanlarını kapsar (Selçuk, 2016).

5.1.5. Dolayoba Formasyonu

Formasyonun yaşı Silüriyen 'dir. Genellikle sarımsı gri, mavi ve pembe renkli çok sayıda fosilli resif kireçtaşlarından oluşur. Biolit, biyoklastik bir kalker ve kalker-şeyldir. Bunlar, Küçük – Beylik dağının güneydoğusunda, Gaziler ve Baklacık tepelerinin doğusunda, Gebze 'ye özgü mostralardır (Selçuk, 2016).

5.1.6. Trakya Formasyonu

Temelde kumtaşları, miltaşları ve çakıl taşları olmak üzere kırıntılı kayaçların karışması ile oluşur. Alt kısımlarda çeşitli kalınlıklarda kalkerlerin ara tabakaları ve mercekleri bulunur (Selçuk, 2016).

5.1.7. Tuzla Formasyonu

Kartal Formasyonu'ndaki kırıntılı kireçtaşlarının kalınlaşması ve ara tabakalarının artması ve şeyilerin giderek kaybolması ile mavimsi-gri masif kireçtaşları oluşur. Bu üye, çatıya daha yakın olan ince bir mikritik kireçtaşı tabakasına, alacalı sarımsı-kahverengi şeyillere dönüşür (Selçuk, 2016).

5.2.Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metro Hattı ile İlgili Genel Bilgiler

Hat 16 istasyona sahip olup İstanbul Anadolu yakasının ikinci metrosudur. Ayrıca bu hat üzerinde ülkemizin ilk sürücüsüz metro araçları çalışmaya başlamıştır. Temeli 6 Haziran 2012 yılında atılmış olup 21 Ekim 2018 tarihinde tamamlanmıştır.

Hat üzerinde 20 kilometre uzunluğuna sahip tünel, 16 istasyon, 2750 metre uzunluğunda bağlantı tüneli ve 126 sürücüsüz metro aracı (vagon) bulunmaktadır.

Hat üzerinde bulunan istasyonlar ise şu şekildedir;

- 1) Üsküdar
- 2) Fıstıkağacı
- 3) Bağlarbaşı
- 4) Altunizade
- 5) Kısıklı
- 6) Bulgurlu
- 7) Ümraniye
- 8) Çarşı
- 9) Yamanevler
- 10) Çakmak
- 11) İhlamurkuyu
- 12) Altınşehir
- 13) İmam Hatip Lisesi
- 14) Dudullu
- 15) Necip Fazıl
- 16) Çekmeköy

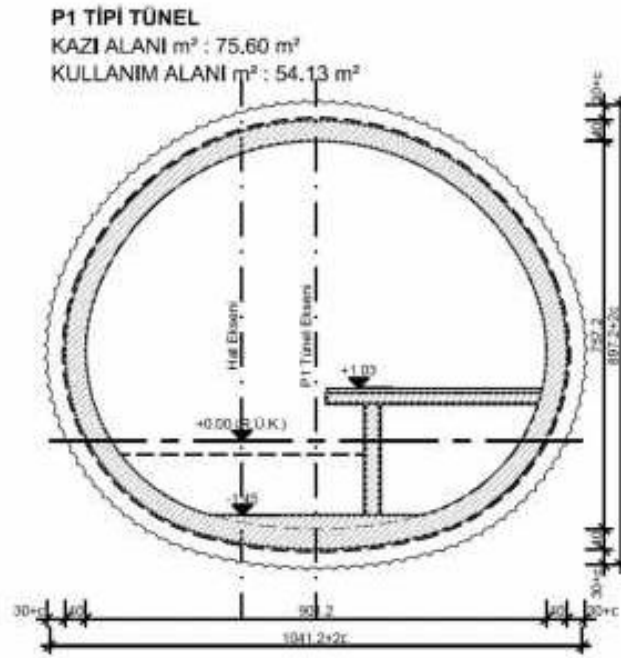
5.3.Çakmak İstasyonu Peronu

Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy metrosunun Çakmak peronu hattın 10. Durağı olup, bu peron için kurulan Alemdağ caddesinin altından geçmektedir. Konum olarak ise Ümraniye sanayisinin önünde ve Çakmak köprüsünün yakınında bulunmaktadır.



Şekil 23. Çakmak şantiyesinin yeri

Peron çalışmalarının yapıldığı tünel kesiti 75,60 metrekare, kullanım alanı ise 54,13 metrekaredir. Bunun için Şekil 24 incelenebilir.



Şekil 24. Çakmak peron tünelinin kesit görünüşü (GeoteknikRapor, 2012)

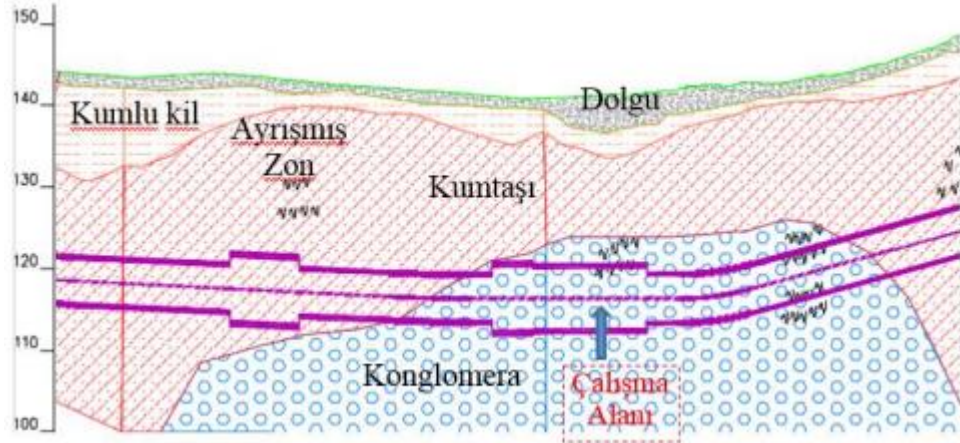
Peron tünelinin 169,43 metresi NATM yöntemi ile açılmış iken 86,56 metresi ise Umbrella Arch yöntemi ile açılmıştır. Peron alanında yapılan sondaj çalışmalarında mevcut olan zemin yüzeyinden 2 metre derinliğe kadar dolgu tabakası olduğu görülmüştür. Dolgunun altında ise 22,5 metreye kadar ise kumtaşı görülmüştür. Bu derinliklerin altında ise sondaj sonuna kadar kil taşı ve kum taşı tabakası bulunmaktadır (Selçuk, 2016).

Yapılan sondaj çalışmalarında Kurtköy formasyonuna denk gelen Çakmak İstasyonu'nun mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Kurtköy formasyonu için mekanik ve fiziksel özellikler (GeoteknikRapor, 2012)

Mühendislik Özelliği	Sembol	Birim	Değeri
Kaya Kütle Değeri	RQD	%	25
Kaya Kütle Oranı	RMR		40
Jeolojik dayanım indeksi	GSI		33
İçsel sürtünme açısı	ϕ	°	50
Kohezyon	c	kPa	389
Tek eksenli basınç dayanımı	$\sigma_{b,k}$	Mpa	24
Elastisite Modülü	E_k	Mpa	3833
Poisson oranı	ν		0,3
Doğal birim hacim ağırlık	γ	Kn/m ³	26,66
Porozite	n	%	3,74

Çakmak peronuna ait jeolojik kesitler ise Şekil 25 'te verilmiştir.



Şekil 25. Çakmak istasyonunun jeolojik kesiti (Araz, 2019)

6. NATM ve UAM YÖNTEMLERİNİN KIYASLANMASI

NATM ve UAM yöntemlerinin uygulanmasında geçen sürelerin ve maliyetlerin kıyaslanabilmesi için örnek olarak Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattında yapılan işlemler baz alınmış olup burada elde edilen veriler bizlere bu yöntemlerde zaman, maliyet ve deformasyonlar açısından genel fikirler vermesi açısından oldukça önemlidir.

Tablo 5. NATM yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalara ait süreler ve metrajlar (Selçuk, 2016)

İksa Kilometre	İlerleme (Metre)	Süre (Saat)
0+004,10	0,33	11,0
0+004,60	0,5	6,0
0+005,60	1,0	6,5
0+006,60	1,0	9,5
0+007,60	1,0	7,5
0+008,60	1,0	6,0
0+009,60	1,0	10,0
0+010,60	1,0	7,0
0+011,60	1,0	8,0
0+012,60	1,0	12,0
0+013,60	1,0	6,0
0+014,60	1,0	5,5
0+015,60	1,0	11,0
0+016,60	1,0	6,5
0+017,60	1,0	6,5
0+018,60	1,0	10,0
0+019,60	1,0	7,5
0+020,60	1,0	6,5
0+021,60	1,0	12,0
0+022,60	1,0	7,5
0+023,60	1,0	7,0
0+024,60	1,0	11,5
0+025,60	1,0	7,5
0+026,60	1,0	12,5
0+027,60	1,0	7,5
0+028,60	1,0	11,0
0+029,60	1,0	6,5

0+030,60	1,0	7,0
0+031,60	1,0	11,0
0+032,60	1,0	7,0
0+033,60	1,0	7,0
0+034,60	1,0	12,0
0+035,60	1,0	7,0
0+036,60	1,0	6,5
0+038,60	1,0	7,0
0+039,60	1,0	7,0
0+040,60	1,0	11,0
0+037,60	1,0	10,5
0+041,60	1,0	7,5
0+042,60	1,0	8,0
0+043,60	1,0	13,5
0+044,60	1,0	6,0
0+045,60	1,0	8,0
0+046,60	1,0	12,5
0+047,60	1,0	7,0
0+048,60	1,0	10,5
0+049,60	1,0	7,0
0+050,60	1,0	12,5
0+051,60	1,0	7,5
0+052,60	1,0	7,0
0+053,60	1,0	11,5
0+054,60	1,0	6,5
0+055,60	1,0	11,0
0+056,60	1,0	5,0
0+057,60	1,0	11,0
0+058,60	1,0	7,0
0+059,60	1,0	6,5
0+060,60	1,0	11,0
0+061,60	1,0	6,0
0+062,60	1,0	7,5
0+063,60	1,0	11,5
0+064,60	1,0	7,0
0+065,60	1,0	9,5
0+066,60	1,0	7,5
0+067,60	1,0	9,5
0+068,60	1,0	7,0
0+069,60	1,0	7,0
0+070,60	1,0	10,5
0+071,60	1,0	7,0
0+072,60	1,0	11,0
0+073,60	1,0	8,0
0+074,60	1,0	11,0
0+075,60	1,0	8,5
0+076,60	1,0	7,5

0+077,60	1,0	11,0
0+078,60	1,0	7,0
0+079,60	1,0	6,0
0+080,60	1,0	12,0
0+081,60	1,0	7,0
0+082,60	1,0	11,0
0+083,60	1,0	7,0
0+084,60	1,0	10,0
0+085,60	1,0	7,5
0+086,60	1,0	7,0
0+087,60	1,0	12,0
0+088,60	1,0	8,0
0+089,60	1,0	7,5
0+090,60	1,0	10,5
0+091,60	1,0	7,0
0+092,60	1,0	9,5
0+093,60	1,0	6,5
0+094,60	1,0	9,0
0+095,60	1,0	8,0
0+096,60	1,0	11,5
0+097,60	1,0	8,5
0+098,60	1,0	7,0
0+099,60	1,0	11,0
0+100,60	1,0	6,5
0+101,60	1,0	11,0
0+102,60	1,0	6,0
0+103,60	1,0	6,5
0+104,60	1,0	12,5
0+105,60	1,0	6,5
0+106,60	1,0	11,0
0+107,60	1,0	7,5
0+108,60	1,0	11,0
0+109,60	1,0	6,5
0+110,60	1,0	7,0
0+111,60	1,0	11,5
0+112,60	1,0	7,0
0+113,60	1,0	11,5
0+114,60	1,0	6,0
0+115,60	1,0	9,5
0+116,60	1,0	6,0
0+117,60	1,0	7,0
0+118,60	1,0	8,0
0+119,60	1,0	8,5
0+120,60	1,0	7,0
0+121,60	1,0	13,0
0+122,60	1,0	7,0
0+123,60	1,0	12,0

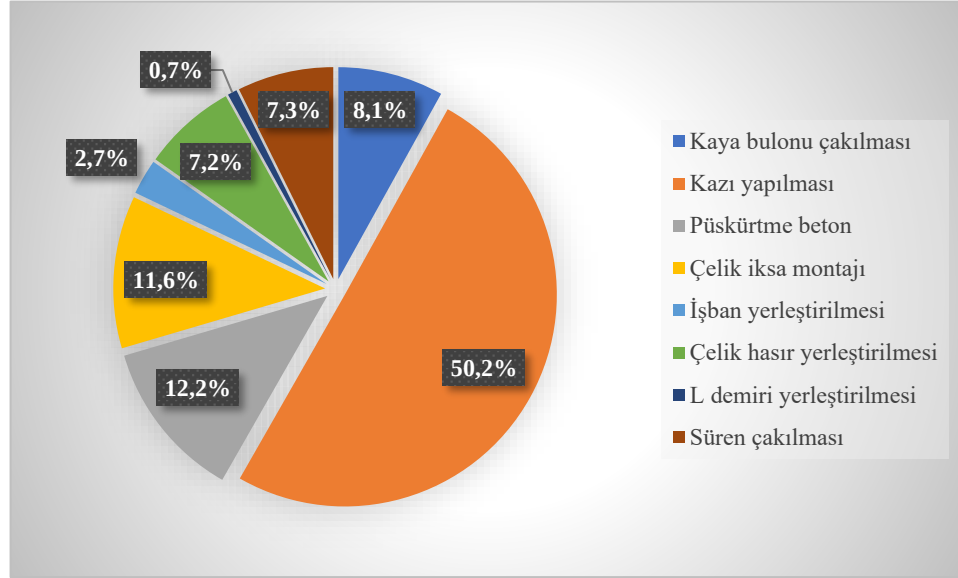
0+124,60	1,0	6,0
0+125,60	1,0	10,5
0+126,60	1,0	12,0
0+127,60	1,0	9,5
0+128,60	1,0	7,5
0+129,40	0,8	6,0
0+130,20	0,8	13,5
0+131,00	0,8	5,0
0+131,80	0,8	13,0
0+132,60	0,8	6,0
0+133,40	0,8	11,5
0+134,20	0,8	8,0
0+135,00	0,8	13,5
0+135,80	0,8	7,5
0+136,60	0,8	12,5
0+137,40	0,8	8,0
0+138,20	0,8	8,5
0+139,00	0,8	13,5
0+139,80	0,8	8,0
0+140,60	0,8	11,0
0+141,40	0,8	8,0
0+142,20	0,8	11,0
0+143,00	0,8	8,0
0+143,80	0,8	11,5
0+144,60	0,8	7,5
0+145,40	0,8	11,0
0+146,20	0,8	7,5
0+147,00	0,8	7,0
0+147,80	0,8	12,0
0+147,80	0,8	12,0
0+148,60	0,8	6,0
0+149,60	1,0	12,5
0+150,60	1,0	7,0
0+151,60	1,0	10,0
0+152,60	1,0	7,0
0+153,60	1,0	6,5
0+154,60	1,0	12,0
0+155,60	1,0	8,5
0+156,60	1,0	8,0
0+157,60	1,0	12,5
0+158,60	1,0	8,0
0+159,60	1,0	12,0
0+160,60	1,0	9,0
0+161,60	1,0	11,5
0+162,60	1,0	8,5
0+163,60	1,0	13,0
0+164,60	1,0	9,5

0+165,60	1,0	11,5
0+166,60	1,0	9,0
0+167,60	1,0	12,0
0+168,40	0,8	8,5
0+169,20	0,8	11,5
0+170,00	0,8	8,5
0+170,80	0,8	12,0
0+171,60	0,8	6,0
0+172,40	0,8	13,0
0+173,20	0,8	9,5

Tablo 5 incelenirse, hattın 169,43 metresi yani 177 iksanın toplamda 1576 saat 30 dakika sürdüğü bununda yaklaşık olarak 66 gün olduğu görülmektedir. Bu hesaba göre 9,30 metre / saat 'lık bir hız ile çalışmaların NATM yöntemi ile devam ettiği belirlenmiştir. NATM yapımı sırasında 8 farklı çalışmanın gerçekleştirildiği görülmektedir. Bu çalışmalara ait detaylar Tablo 6 'da verilmiştir.

Tablo 6. NATM yönteminin uygulanma adımlarına ait geçen süreler (Selçuk, 2016)

Adım	Süre (Dakika)	Yüzde
Kaya bulonu çakılması	7624	8,06%
Kazı yapılması	47488	50,20%
Püskürtme beton	11521	12,18%
Çelik iksa montajı	11013	11,64%
İşban yerleştirilmesi	2541	2,69%
Çelik hasır yerleştirilmesi	6777	7,16%
L demiri yerleştirilmesi	678	0,72%
Süren çakılması	6947	7,32%
Toplam Süre	94590	100%



Şekil 26. NATM yönteminde uygulanan adımların toplam süreye göre yüzdelik dağılımı
Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattının 177 iksası NATM yöntemi kullanılarak inşa edilmiştir. Projenin kalan 108 iksası ise UAM yöntemi ile inşa edilmiştir. Tablo 7 ‘de inşa edilen 108 iksaya ait süreler ve metrajlar verilmiştir.

Tablo 7. UAM yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalara ait süreler ve metrajlar (Selçuk, 2016)

İksa Kilometre	İlerleme (Metre)	Süre (Saat)
0+174,00	0,8	67,0
0+174,80	0,8	8,0
0+175,60	0,8	7,0
0+176,40	0,8	8,5
0+177,20	0,8	66,0
0+178,00	0,8	10,5
0+178,80	0,8	8,0
0+179,60	0,8	10,0
0+180,40	0,8	10,0
0+181,20	0,8	9,5
0+182,00	0,8	69,5
0+182,80	0,8	8,5
0+183,60	0,8	10,0
0+184,40	0,8	8,5
0+185,20	0,8	11,0
0+186,00	0,8	10,0
0+186,80	0,8	66,5
0+187,60	0,8	8,5
0+188,40	0,8	10,0
0+189,20	0,8	9,5
0+190,00	0,8	10,5
0+190,80	0,8	9,0

0+191,60	0,8	62,5
0+192,40	0,8	7,5
0+193,20	0,8	6,0
0+194,00	0,8	9,0
0+194,80	0,8	9,0
0+195,60	0,8	8,5
0+196,40	0,8	71,0
0+197,20	0,8	10,0
0+198,00	0,8	9,5
0+198,80	0,8	9,0
0+199,60	0,8	8,5
0+200,40	0,8	10,0
0+201,20	0,8	67,0
0+202,00	0,8	9,0
0+202,80	0,8	7,0
0+203,60	0,8	8,0
0+204,40	0,8	7,0
0+205,20	0,8	7,0
0+206,00	0,8	74,5
0+206,80	0,8	8,0
0+207,60	0,8	7,0
0+208,40	0,8	7,0
0+209,20	0,8	8,0
0+210,00	0,8	7,0
0+210,80	0,8	7,5
0+211,60	0,8	74,5
0+212,40	0,8	7,5
0+213,20	0,8	7,0
0+214,00	0,8	8,0
0+214,80	0,8	7,0
0+215,60	0,8	7,0
0+216,40	0,8	67,0
0+217,20	0,8	8,0
0+218,00	0,8	7,0
0+218,80	0,8	8,5
0+219,60	0,8	66,0
0+220,40	0,8	10,5
0+221,20	0,8	8,0
0+222,00	0,8	10,0
0+222,80	0,8	10,0
0+223,60	0,8	9,5
0+224,40	0,8	70,5
0+225,20	0,8	8,5
0+226,00	0,8	10
0+226,80	0,8	8,5
0+227,60	0,8	11,0
0+228,40	0,8	10,0

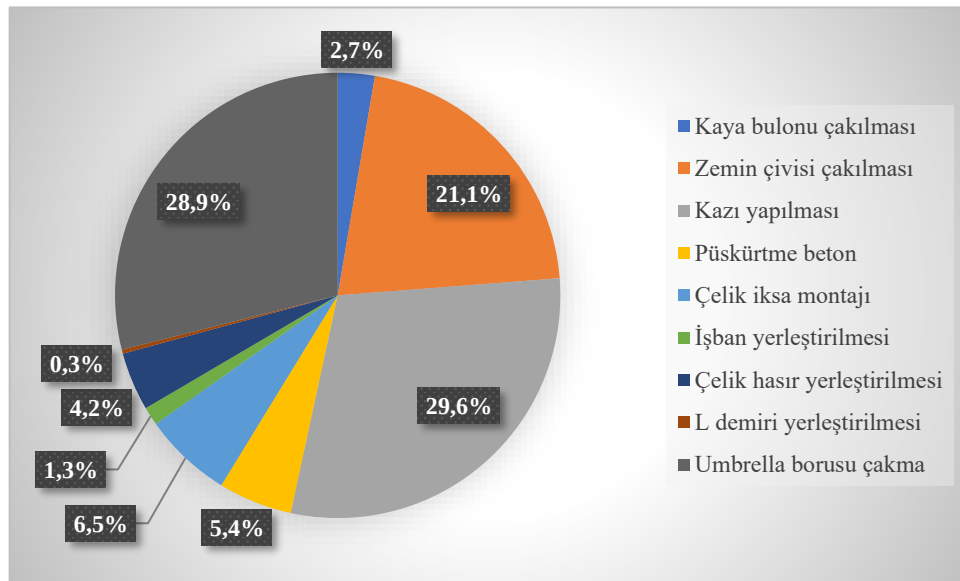
0+229,20	0,8	66,5
0+230,00	0,8	8,5
0+230,80	0,8	10,0
0+231,60	0,8	9,5
0+232,40	0,8	10,5
0+233,20	0,8	9,0
0+234,00	0,8	62,5
0+234,80	0,8	7,5
0+235,60	0,8	6,0
0+236,40	0,8	9,0
0+237,20	0,8	9,0
0+238,00	0,8	8,5
0+238,80	0,8	9,0
0+239,60	0,8	69
0+240,40	0,8	7,0
0+241,20	0,8	8,0
0+242,00	0,8	7,0
0+242,80	0,8	7,0
0+243,60	0,8	74,5
0+244,40	0,8	8,0
0+245,20	0,8	7,0
0+246,00	0,8	7,0
0+246,80	0,8	8,0
0+247,60	0,8	7,0
0+248,40	0,8	7,5
0+249,20	0,8	74,5
0+250,00	0,8	7,5
0+250,80	0,8	7,0
0+251,60	0,8	8,0
0+252,40	0,8	7,0
0+253,20	0,8	7,0
0+254,00	0,8	67,0
0+254,80	0,8	8,0
0+255,60	0,8	7,0
0+256,40	0,8	7,0
0+257,20	0,8	8,0
0+258,00	0,8	7,0
0+258,80	0,8	7,5
0+259,76	0,96	71,0

Tablo 7 incelenirse, hattın 86,56 metresi yani 108 iksanın toplamda 2050 saat 30 dakika sürdüğü bununda yaklaşık olarak 85 gün olduğu görülmektedir. Bu hesaba göre 23,68 metre / saat 'lık bir hız ile çalışmaların UAM yöntemi ile devam ettiği belirlenmiştir. Yapılan çalışmaların toplamı 2050,5 saat sürmüş olup bu çalışmalar

sırasında 9 farklı çalışmanın tamamladığı görülmektedir. NATM yöntemine ek olarak UAM yönteminde Zemin çivisi çakılması ve Umbrella borusu çakma işlemi bulunmakta ancak Süren çakılması işlemi yapılmamaktadır. Bu çalışmalara ait detaylar Tablo 8 'de verilmiştir.

Tablo 8. UAM yönteminin uygulanma adımlarına ait geçen süreler (Selçuk, 2016)

Adım	Süre (Dakika)	Yüzde
Kaya bulonu çakılması	3297	2,68%
Zemin çivisi çakılması	25946	21,09%
Kazı yapılması	36439	29,62%
Püskürtme beton	6594	5,36%
Çelik iksa montajı	7942	6,49%
İşban yerleştirilmesi	1648	1,34%
Çelik hasır yerleştirilmesi	5206	4,23%
L demiri yerleştirilmesi	374	0,28%
Umbrella borusu çakma	35572	28,91%
Toplam Süre	123030	100%



Şekil 27. UAM yönteminde uygulanan adımların toplam süreye göre yüzdelik dağılımı

Tablo 5 ve Tablo 7 'de verilen süreler göz önüne alınarak elde edilen verilerin karşılaştırılması sonucunda UAM yöntemi ile imal edilen tünelin 1 metresinin NATM yöntemi ile imal edilen tünele göre imalat süresi yaklaşık olarak 2,55 kat olduğu görülmüştür.

6.1. NATM ve UAM Yöntemi İş Kalemlerinin Birim Süreleri

Tablo 5 ve Tablo 7'de gösterilen imalatlar Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy metro hattının Çakmak İstasyonu inşası sırasında yapılan NATM ve UAM yöntemidir. Yöntemler kendi içinde yapım biçimine özgü farklı imalatlar içermektedir. Ancak yapılan imalatların birim metre için geçen sürelerine bakarak yöntemdeki her bir iş kaleminin süresini anlamak mümkün olmaktadır.

Çakmak istasyonu sırasında kullanılan yapım yöntemlerinden NATM ile inşa edilmiş 169,43 metrelik bölümün ve UAM ile inşa edilmiş 86,56 metrelik bölümün süreleri Tablo 6 ve Tablo 8 'te belirtilmiştir. Bu sürelerden yola çıkarak her yöntemin iş kalemlerinin birim sürelerine bakarak yöntemleri kıyaslamak mümkün olmaktadır. Sırasıyla incelemek gerekirse NATM metodunda uygulanan birim süreler şu şekilde ortaya çıkmaktadır.

Tablo 9. NATM yönteminin iş kalemlerinin birim süreleri

Adım	Yapılan İş Uzunluğu (metre)	Süre (Dakika)	1 Metrenin İmalat Süresi (Dakika)
Kaya bulonu çakılması	169,43	7624	45,00
Kazı yapılması	169,43	47488	280,28
Püskürtme beton	169,43	11521	68,00
Çelik iksa montajı	169,43	11013	65,00
İşban yerleştirilmesi	169,43	2541	15,00
Çelik hasır yerleştirilmesi	169,43	6777	40,00
L demiri yerleştirilmesi	169,43	678	4,00
Süren çakılması	169,43	6947	41,00

Aynı hesaplamayı UAM yöntemi için yapacak olursak şu şekilde bir görünüm ortaya çıkmaktadır.

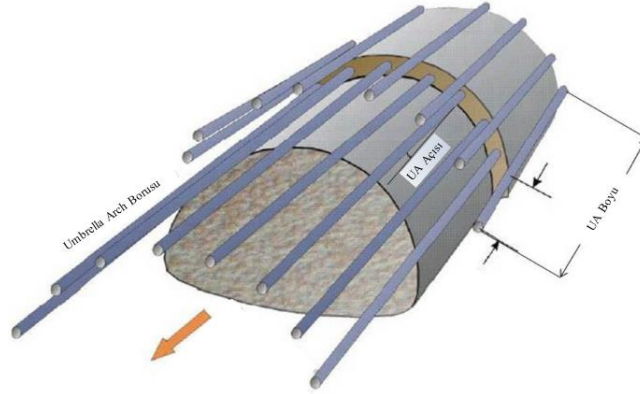
Tablo 10. UAM yönteminin iş kalemlerinin birim süreleri

Adım	Yapılan İş Uzunluğu (metre)	Süre (Dakika)	1 Metrenin İmalat Süresi (Dakika)
Kaya bulonu çakılması	86,56	3297	38,09
Zemin çivisi çakılması	86,56	25946	299,75
Kazı yapılması	86,56	36439	420,97
Püskürtme beton	86,56	6594	76,18
Çelik iksa montajı	86,56	7942	91,75
İşban yerleştirilmesi	86,56	1648	19,04
Çelik hasır yerleştirilmesi	86,56	5206	60,14
L demiri yerleştirilmesi	86,56	374	4,32
Umbrella borusu çakma	86,56	35572	410,95

Yöntemlerde ortak olan bulunan ve bulunmayan iş kalemleri olduğu daha önce de belirtilmiştir. Öncelikle ortak olan kalemleri kıyaslanacak olursa her iki yöntemde de öncelikli olarak kaya bulonu çakılması gerekmektedir. İki yöntemdeki kaya bulonu çakılması sırasıyla 45,00 ve 38,09 dakika sürmektedir. Her iki yöntemde aynı şekilde iş kalemi uygulaması yapılmasına rağmen bu farklılık çalışan ekibin tecrübesi, çalışmanın verimliliği ve uygulama sırasında meydana gelen teknik aksaklıklar gibi faktörlerinden dolayı süre farkı olarak ortaya çıkmıştır.

İki yöntemdeki diğer ortak kalem kazı yapılmasıdır. Bu kalem birim metrede NATM yönteminde 280,28 dakika gerektirmekteyken UAM yönteminde 420,97 dakika sürmektedir. Bu iki yöntemin aynı iş kaleminde ortaya çıkan büyük farklılığın sebebi imalatın uygulanma biçiminden kaynaklanmaktadır. NATM metodu ile gerçekleştirilen tünel kazıları aynı çapta devam edilen kazılar biçiminde uygulanmaktadır. NATM yönteminde kazıyı gerçekleştiren ekip peron tüneli boyunca belirlenen çapta ilerlemeye devam etmektedir. Ancak UAM metodu yöntemin adında

belirtildiği üzere Umbrella Arch boruları yerleştirilerek gerçekleştirilmektedir. 9 metre uzunluğundaki bu boruların delik açısı $6-8^{\circ}$ 'lik açıyla yerleştirilmesi UAM yönteminin esasını oluşturan bir durumdur. Bu durumun gerçekleştirilmesi için de kazının UAM borularının uygulanmasına uygun şekilde yapılması gerekmektedir. UAM borularıyla sağlanabilecek destek sisteminin oluşması için kazı, kademeli şekilde yapılmalıdır. Bu şekilde yapılan uygulama, kazı işleminin hızını yavaşlatacak bir etki oluşturmaktadır. UAM borusunun çakılması için belirli mesafe aralıklarıyla yeni kademe sağlanması, sürekli yeni kot geçişlerine sebep olan ve yapım hızını yavaşlatan olumsuz bir etken olmaktadır. Bu uygulamanın yavaşlatıcı olduğu Çakmak Peronu yapımında da kendisini göstermiştir. Nitekim, kazı yapılması kalemi NATM yönteminde bir metre ilerleme 280,28 dakika sürerken UAM yönteminde kazı yapılması 420,97 dakika sürmüş yani 140,69 dakika daha fazla vakit almasına sebep olmuştur.



Şekil 28. Kademeli kazı ve UAM borusu uygulaması (Bagherzadeh vd., 2020)

Püskürtme beton uygulaması bir metre için kıyaslanacak olursa NATM yönteminde 68,00 dakika sürerken, UAM yönteminde 76,18 dakika süre almaktadır. UAM yönteminde püskürtme betonun daha uzun sürme sebebi de kazı biçimine bağlıdır. Püskürtme beton işleminin amacı tünel kesiti boyunca açılan alana beton püskürtmek kaya kütlelerinin dayanıklılığını arttırmak olduğu için tüm kesit betonla kaplanmalıdır. NATM yöntemi kazısı belirli bir çapta doğrusal şekilde devam ederken, UAM yönteminin kademeli olması püskürtme işlemi sırasında kademe geçişlerinde hız kaybettirmektedir.

Çelik iksa montajı sırasıyla NATM ve UAM yöntemlerinde 65,00 ile 91,75 dakika olarak ortaya çıkmıştır. İki yöntemde de uygulanan iksa püskürtme beton dayanımını kazanana kadar inşa faaliyetinin güvenliğini sağlama amaçlı olduğu için kesite uygun şekilde yapılması gerekmektedir. Tıpkı püskürtme beton kaleminde olduğu için UAM

yönteminin kademeli şekilde yapılması iksanın da aynı şekilde tünel kesitinde uygulanmasını yavaşlatmaktadır. Kademeli kazıya uygun şekilde topografik ölçümler yapıp iksanın iki ayağının da zemine basması sağlanarak uygulanmasının gerektirmesi montaj hızında UAM yöntemi için dezavantaj oluşturmaktadır.



Şekil 29. Tünel Ekseninde Çelik İksa Uygulaması (Çoruh, Köksal, Kaplan, & Demirci, 2017)

İşban yerleştirilmesi NATM ve UAM metotları için 15,00 ve 19,04 dakika olarak ortaya çıkmıştır. İşban işleminin amacı iksaların birbirine bağlanmasıdır. UAM metodunda tünel kesiti kademeli kazı olduğu için iksaları birbirine bağlayacak olan işbanlar da buna uygun olarak ayarlanmalıdır. Bu da iş kaleminin süresinin uzamasına sebep olmaktadır.

Çelik hasır yerleştirilmesi işlemi NATM ve UAM metotları için 40,00 ve 60,14 dakika olarak iki yöntemde karşımıza çıkmıştır. İksada olduğu gibi hasırın yerleştirilmesi de açılan kesite uygun olarak yapılmalıdır. Bu durum da UAM yönteminde NATM yöntemine göre zaman alan bir uygulama olarak ortaya çıkmaktadır. Yine aynı şekilde kesite göre montajı yapılan çelik iksaya da bakıldığında NATM ve UAM'nın bu iş kalemlerinde uygulanma sürelerinin oranının benzer olması tünel kesiti biçiminin bu imalatlar üzerindeki etkisini kanıtlayan bir unsurdur.

L demiri yerleştirilmesi iki yöntemde çok yakın sürelerde gerçekleştirilmiştir. Bunun sebebi L demirinin iki yöntemde de tünelin kazı kesitinden bağımsız olarak gerçekleştirilen bir uygulama olmasıdır.

NATM yöntemi ile UAM yöntemi arasında kendisine özgü olan bazı iş kalemleri de bulunmakta olup bunlar da yöntemin uygulanması üzerinde etkiye sahip olmaktadır. Çakmak Peronu inşasında zemin güvenliğini sağlamak amacıyla NATM yönteminde süren çakılması gerçekleştirilmiş, UAM yöntemindeyse umbrella arch boruları çakılmıştır. Esas itibarıyla süren ve UAM borularının çakılma amacı birbiriyle aynıdır. Ancak UAM boruları, NATM yönteminin kohezyonu düşük ve deformasyonların yüksek olduğu zeminlerde kullanılamamasından dolayı istenilen verimi arttırmak için kullanılan borulardır (Avcı & Keleş, 2017). Fakat uygulanma olarak UAM boruları sürenlere göre daha vakit alan imalat olarak karşımıza çıkmaktadır.

Çakmak Peronunda UAM yöntemi kapsamında uygulanan diğer bir iş kalemi de zemin çivisidir. Zemin çivisi, kazı takviye uygulamalarında ve şev stabilitesinin desteklenmesinde zemine yük aktarımını sağlayan bir yapı elemanıdır ve zemin kütlelerinin stabilitesinin artırılabilmesine yönelik, uzun çubukların veya çivilerin, örselenmemiş doğal zemine tesisini içerir (Özdemir, 2006). Uygulama aslında bir ankraj işlemi gibi görünmekle birlikte çivi elemanları ankraja göre daha küçük değerlerde gerilme kuvvetine sahip olmaları ve pasif olarak çalışmaları bakımından farklılık gösterirler. Bu peron inşaatında kullanılan zemin çivileri de ayna yüzeyine dik olarak uygulanarak zemin stabilizasyonu sağlamaktadır. Bu kalemin imalatı diğer imalatlara göre kolaydır. Ancak Çakmak Peronu inşaatında bu işlemin süresinin bir metrelik imalat için 299,75 dakika çıkmasının sebebi ayna yüzeyinde 16 tane zemin çivisi çakılmış olmasıdır.

Tüm iş kalemlerinin kıyaslamaları göz önüne alındığında NATM yöntemi UAM yöntemine göre inşa süresinde daha hızlı ilerlemenin sağlandığı bir yöntem olarak net şekilde ortaya çıkmıştır. NATM yönteminde tünel kesitinde herhangi bir değişikliğe uğramadan kazının gerçekleştirilmesi diğer kalemlerin de buna bağlı olarak daha kolay şekilde yapılmasına olanak sağlamış ve bu durum sonucunda daha kısa sürede NATM yöntemi tamamlanmıştır.

Tablo 11. NATM ile UAM yöntemi yapım hızı mukayesesi

İş Kalemleri	NATM İçin Yapım Hızı (Dakika)	UAM İçin Yapım Hızı (Dakika)	Yapım Hızı Farkı (m/dk) ((+): NATM Daha Hızlı) ((-): UAM Daha Hızlı)	Sebepl
Kaya Bulonu Çakılması	45,00	38,09	6,91 (-)	Uygulama İçeriğinden bağımsız sebepler
Kazı Yapılması	280,28	420,97	140,69 (+)	Kademeli Kazının Zorluğu
Püskürtme Beton	68,00	76,18	8,18 (+)	Kazı Biçiminin Farklılığı
Çelik İksa Montajı	65,00	91,75	26,75 (+)	Kazı Biçiminin Farklılığı
İşban Yerleştirilmesi	15,00	19,04	4,04 (+)	Kazı Biçiminin Farklılığı
Çelik Hasır Yerleştirilmesi	40,00	60,14	20,14 (+)	Kazı Biçiminin Farklılığı
L Demiri Yerleştirilmesi	4,00	4,32	0,32 (+)	Uygulama farklılığı yoktur (Belirgin hız farkı yoktur)
Süren Çakılması	41,00	Uygulanmıyor	41 (-)	Zemin yapısının daha uygun olduğu koşullarda kullanılması
UAM Boruları Çakılması	Uygulanmıyor	410,95	410,95 (+)	Zemin yapısının daha elverişsiz olduğu koşullarda kullanılması
Zemin Çivisi Çakılması	Uygulanmıyor	299,75	299,75 (+)	Zemin yapısının daha elverişsiz olduğu koşullarda kullanılması

7. METRO İNŞASI VE SÜREKLİ BORU KEMER YÖNTEMİ

7.1.Metro Tünellerinin İnşası

Tünel yapımı geçmişten günümüze gelişen teknoloji, zemin şartları, tünel çapları gibi çeşitli durumlarla beraber farklı yapım yöntemleri kazanmıştır. Metro tünelleri de aynı şekilde bu gelişimlerden etkilenmiş ve farklı yapım türleriyle inşa edilmeye başlanmıştır. Günümüzde genellikle Metro tünellerinin ana hatları tünel delme makineleri (tunneling boring machine (TBM)) ile inşa edilirken; makas, bağlantı ve peron tünelleri NATM ya da UAM yöntemiyle inşa edilmektedir.



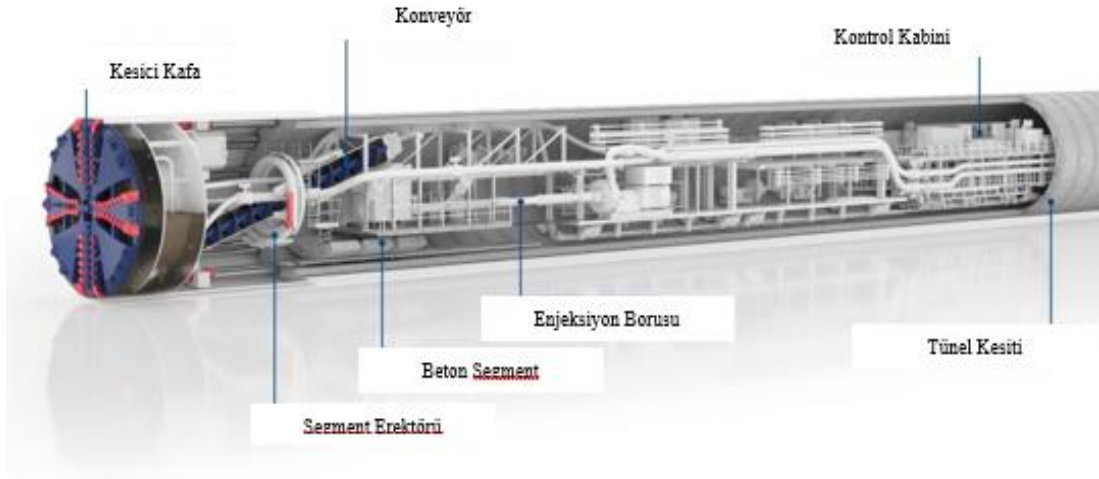
Şekil 30. Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy Metrosu yapımında kullanılan TBM (Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Sancaktepe Metrosu, t.y.)



Şekil 31. Üsküdar -Ümraniye - Çekmeköy Metrosu’nda uygulanan NATM üst yarı çalışması (Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Sancaktepe Metrosu, t.y.)

Metro tünelleri yerleşim yerlerinin alından geçerek inşa edilen yapılardır. Metro tünel g zerg hlarındaki yerleşim yerlerinde sorun olmaması için tünel inşaatı esnasında iki probleme çözüm üretmek gerekmektedir. Bunlar inşa edilen tünelin aynasında stabilizeyi sağlamak ve tünelin çevresindeki zemini stabil olarak tutabilmektir. Aksi takdirde büyük can ve mal kaybıyla sonuçlanabilecek kazalar meydana gelebilmektedir. TBM ’ler bu konudaki kazaları önleyecek en önemli makinelerden biridir. Sağladığı kolaylıklar TBM ’in türüne göre değişiklik göstermekle birlikte yer altı sularının yarattığı basınç durumuna göre kazılan noktalara hava ve zemin basıncı vererek hem içeriye su gelmemesini sağlayan hem de boşalan toprağın yerine su dolmasıyla zeminde muhtemel çökme olaylarına fırsat vermemek için tasarlanmış hidrolik mekanizmalar ile çalışan makineler olarak iş güvenliği konusunda avantajlar yaratmaktadır (Tumaç & Gümüş, 2015). Çünkü TBM ’ler kendi içlerinde barındırdıkları ekipmanlar yardımıyla tünel ekseninde delme işleminin yapılmasını, kazısı yapılan toprağın atılmasını, tünelde gerçekleştirilecek i kaplamanın ve enjeksiyonun yapılmasını sağlarlar. Ayrıca yönlendirilme işlemi de yine kendinde bulunan ekipmanlar yardımıyla gerçekleştirmektedir.

TBM’lerde  n kısımda bulunan kesme kafasının dönüşü sayesinde kesiciler toprağı ufak parçalar haline getirir ve tüneli açar. Kazılan alanın basınç durumuna göre karşı hava basıncı uygulanır. Uygulanan basınç yardımıyla zeminin olası göçmesi engellenir. Kazılan toprak da konveyörler yardımıyla arka taraftaki taşıma bandına aktarılarak kazı alanının dışına aktarılmış olur. Bu işlemler gerçekleşirken orta kısımda bulunan kumanda odası yardımıyla kontrol sağlanmaktadır. Burada bulunan görevliler her an kesme kafasında bulunan deliklerden gelen kazı malzemesini görebilmekte ve buna göre gerekli tedbirleri alabilmektedir. Aynı zamanda gerekli segment boyu ilerleme sağlandığında i kaplamanın yapılması için makine üzerinde emirler vererek ring montajını tamamlayabilmektedir.



Şekil 32. TBM bölümleri (HS2, 2017)

Aynı zamanda bu işlemler gerçekleşirken bilgisayarlar yardımıyla TBM 'in her bölümünden ölçümler alınabilmektedir. Bu sayede TBM 'in çalışma verimliliği de ölçülüp, kayıt altına alınabilmektedir. Ölçümler sayesinde verimi düşüren sebeplerin ortaya konması ve gerekli çözümler bulunması kolaylık kazanmaktadır.

TBM 'in tünel inşaatına güvenin yanı sıra birçok ekipmanı bir araya getiren unsuru olması metro tünellerinin yapım hızına büyük bir katkı sağlamaktadır. Metro tünel inşaatının gerçekleştirilmesinde gerekli olan kazının yapılması, kazı malzemesinin tünel dışına taşınması, tünel kesitinde kazı destek sisteminin oluşturulması gibi iş kalemlerini TBM 'in bir araya toplaması bu iş kalemlerinin senkronize bir şekilde olmasını sağlar. Bu sayede bu işlemler arasındaki geçişte oluşacak zaman kayıpları minimuma indirir. Aynı zamanda bu işlemlerin tek bir makine tarafından gerçekleştirilmesi iş kalemlerinin yapılması sürecini de oldukça kısaltmaktadır. Çünkü yapımı yapılacak hatta uygun kesitte TBM kullanılması tek seferde ayanın tamamının kazısının yapılmasını sağlamakta, kazı malzemesinin taşınmasında aracı başka bir alet olmadan tünel dışına otomatik şekilde alınmasını sağlamakta, ringe uygun şekilde kazısı yapılan bölümlerde segmentlerin kolaylıkla yerleştirmesine fırsat vermektedir. Aynı zamanda enjeksiyonun da yine TBM tarafından gerçekleştirilmesi bu işlemin tamamlanmasını hızlandırmaktadır. Tünel inşaatı sırasında ringin hızlı şekilde tamamlanması da açılan tünel kesitinin kendi ağırlığını uzun süre taşımasına gerek kalmadan destek sisteminin oluşmasına neden olmaktadır. Bu da meydana gelebilecek zemin oturmalarının önüne geçecektir. Aynı zamanda hızlı inşa, metro hattının kısa

sürede tamamlanarak işletmeye geçirilmesi ve toplum yararına kullanılması için önemlidir.

Ancak metrolardaki tünel hattının tamamının TBM ile yapılması her zaman mümkün olamamaktadır. Çünkü tünel hatlarında kesitlerin değiştiği bölümler bulunmaktadır. Bağlantı tünelleri, makas tünelleri ve peron tünelleri bu bölümlerdendir. TBM 'in sadece tünel kesiti sabit olan alanlarda uygulanması bu bölümlerde kullanılmamasına sebep olacaktır. TBM 'in kesici kafasının belirli bir çapta olması istenilen tünel kesiti çapını sağlamayacak, ardından gerçekleştirilecek olan segment montajı da farklı kesit boyutlarında uygulanamayacaktır.



Şekil 33. Üsküdar – Çekmeköy Metrosu makas tüneli örneği (Ant Tünel, 2017)

Metro hatlarının TBM kullanılmayan bu bölümlerinde genellikle NATM ya da UAM metodu tercih edilmektedir. Bu metotlardan hangisinin kullanılacağı noktasında karar verilmesini sağlayan unsur zeminin durumu olmaktadır. Zeminin durumu kazı yapılan kesitin kendini taşıyabilmesine olanak veriyorsa NATM metodu tercih ediliyorken, zemin şartları daha olumsuz hale gelip, stabilitenin düşmesi durumunda UAM metodu tercih edilmektedir.

NATM ve UAM metotlarının tercihinin belirlenmesi sonucu inşa süresi üzerine etkisi Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy metrosunun Çakmak peronu üzerinde Tablo 9 ve Tablo 10'da, iş kalemlerine göre teker teker kıyaslanarak incelenmiştir. Bu incelemeye göre NATM metodunun UAM yöntemine göre inşa süresi bakımından daha avantajlı sebepleriyle beraber ortaya konmuştur.

7.2.Sürekli Boru Kemer Metodu Tanımı

Sürekli boru kemer metodu, tünelde kazı destek kafesi oluşturmak için başlığın çevresine yataya yakın çelik çubukların, boruların yerleştirilmesini tanımlar. Başka bir deyişle, kazı çatısını veya tünel tacını desteklemek için tünel başlangıç aynasının üstünden tünelin nihai aynasına kadar sürekli olarak boruların kazıdan önce kemer oluşturacak şekilde imal edilerek tünel kazısının tek kesitte yapılmasına imkan veren kazı destek sistemidir. Bu yöntem, tek noktadan uzun mesafeler boyunca delgi yapılmasını esas alarak uygulanan bir yöntem olup bu sayede umbrella arch borularının boylarının arttırılmasının oturmaların yüzey dağılımı üzerinde olumlu bir etki yaparak yüzey oturma bölgesini daraltma etkisini, tünel hattı boyunca uygulayarak sağlamaktadır (Çeçen & İncecik 2008). Bu yöntem özellikle karayolu, metro gibi altyapı projelerinde önemli bir bölüm olan tünel kısımlarında kullanılabilir.

Tünel inşası sırasında zeminin zayıf olduğu, kırıklı yapıda olduğu ya da yüksek su basıncı olduğu alanlar bulunabilir. Bu koşullar altında, boru kaplama veya zemin dondurma gibi farklı kaplama teknikleri kullanılarak kazılacak bölümü stabilize etmek gerekebilir (Anzeve, 2020). Bu amaçla sürekli boru kemer uygulaması için yüksek basınçtan faydalanarak uzun hatlar boyunca delikler açmak için çekiçle darbe verilir. Çekiç sürekli olarak kayaya çarparken sondaj dizisi döner. Çekiç içinde, basınç ile çalışan bir piston, matkap ucuna vurma gücünü verir. Bu, dönme hareketi ile birleştiğinde, zemin çok verimli bir şekilde delinir. Güç aktarımı, piston doğrudan uca çarptığında delikte gerçekleştiğinden minimum enerji kaybı olur (Driconeq, t.y.). Bu delikler yüz metreden fazla uzunlukta ve farklı genişlikte delikler açılabilir. Metot esas olarak hava basıncından faydalanarak delik açma yöntemi olarak kullanılmaktadır. Zemindeki delgiyi hava basıncı sayesinde oluşturduğu için hava ihtiyacı gerektirmektedir. Fakat gelişen teknoloji ve yöntemden faydalanan verimi artırma isteği sebebiyle su gücünden de faydalanan sistemler de ortaya çıkmıştır. Aynı şekilde eski teknoloji ürünlerde rotasyon hızı düşük olmasına rağmen yeni çıkan su gücüyle faydalanan modellerde bu konuda da çalışma yapılmış ve dakikadaki devir sayısı (rpm) artmıştır.

Sürekli boru kemer yöntemi yatay olarak uygulanmaktadır. Örneğin; İsveç 'te çok zayıf konsolide kum ve çakıldan oluşan dikey bir kırılma zonu içeren, düşey yönelimli

kırık kaya tabakalarından oluşan bir bölgede tabakada zeminin TBM 'in de ağırlığını taşıyamaması üzerine donma deliği işlemi ile çözüm gerektirmiştir (Prime Horizontal, 2007) ve bu yöntemle kaya kütlelerini stabilize etmek gerekmiştir. 125 m uzunluğunda Wassara ile yatay enjeksiyon delikleri açılmıştır (Johansson, 2014).

Ayrıca yöntemde delik içi düşük sapmalar meydana gelmekte olup deliklerin oluşması sağlayan makinelerin çekiç kısmı uç kısımda yer almakta olduğu için uzun hatlar boyunca delik açılabilmesi sağlanmakta olup, güç kaybı minimum şekilde gerçekleşmektedir. Bu sayede UAM yönteminde gerekli olan kademeli kazı ortadan kalkmaktadır. Sürekli boru kemer metodundaki kazı, NATM metodunda olduğu gibi yapılabilmektedir. Buna bağlı olarak uygulanan kazı desteğinin diğer iş kalemlerinin uygulanışı da NATM yöntemindeki şekilde gerçekleştirilebilecektir. Bununla birlikte sürekli boru kemer metodu ile yapılan delik işlemlerinde farklı çaplarda delikler de açılabilir. Bu sayede daha az sayıda delik açma işlemi gerçekleştirilerek gerekli kazı desteğini sağlamayı mümkün kılmaktadır. Bu sayede, örneğin uzun mesafe boyunca aktif şehir içi ana arterin altından geçen ve umbrella borusunun zemine soketlenme imkanının bulunmadığı tünel koşullarında alternatif olarak kullanılabilir (Eyigün, 2018).

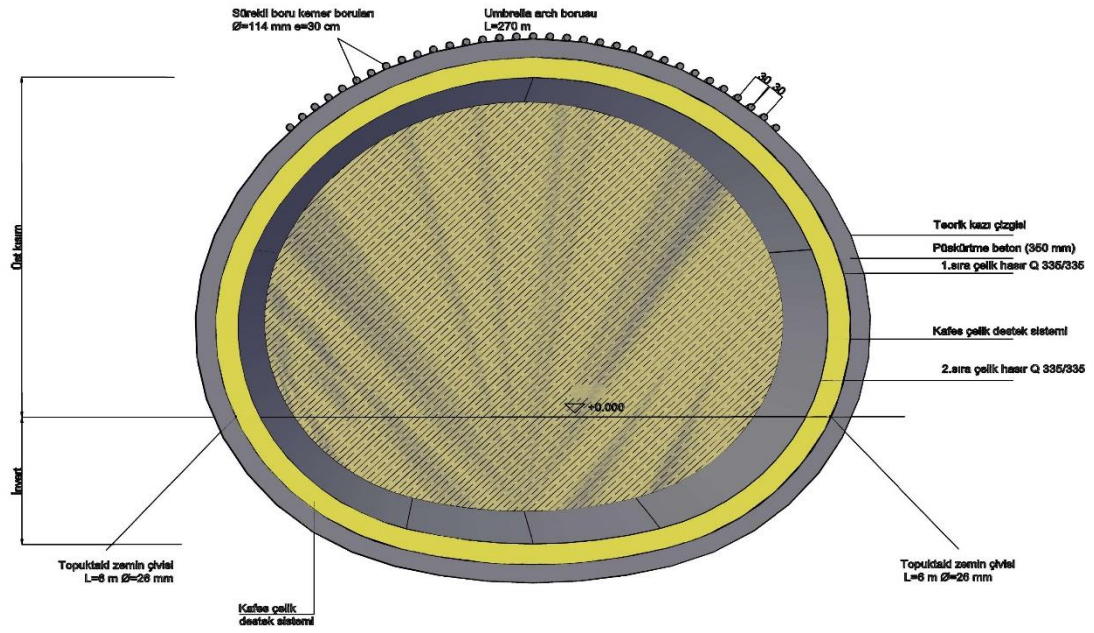
7.2.1. Metro İnşaatlarında Sürekli Boru Kemer Metodu Uygulanması

Tüm inşaat projelerinin tamamlanma süresi proje üzerinde bulunan kritik aktivite olarak adlandırılan faaliyetlerinin tamamlanmasına bağlıdır. Metro projeleri gibi projelerin şehir içinde inşa edilmesi, şehir içi toplumsal fayda yaratmak için kısa sürede işletmeye geçirilmek istenmesi gibi faktörlerden dolayı kritik aktivitenin tamamlanacağı süre büyük önem arz etmektedir. Metro projelerinin ana hatlarının TBM yöntemi ile inşa ediliyor olması projenin hızı için olumlu bir faktör yaratmaktadır. Fakat proje çapının değiştiği bölümlerde bu yöntem yerine kullanılan diğer yöntemler, TBM yöntemi ile kıyaslanacak olursa daha yavaş şekilde gerçekleşmektedir. Bu durum metro projesinin inşa sürecini olumsuz etkilemektedir ve projenin tamamlanmasını belirleyici unsur olarak öne çıkmaktadır.

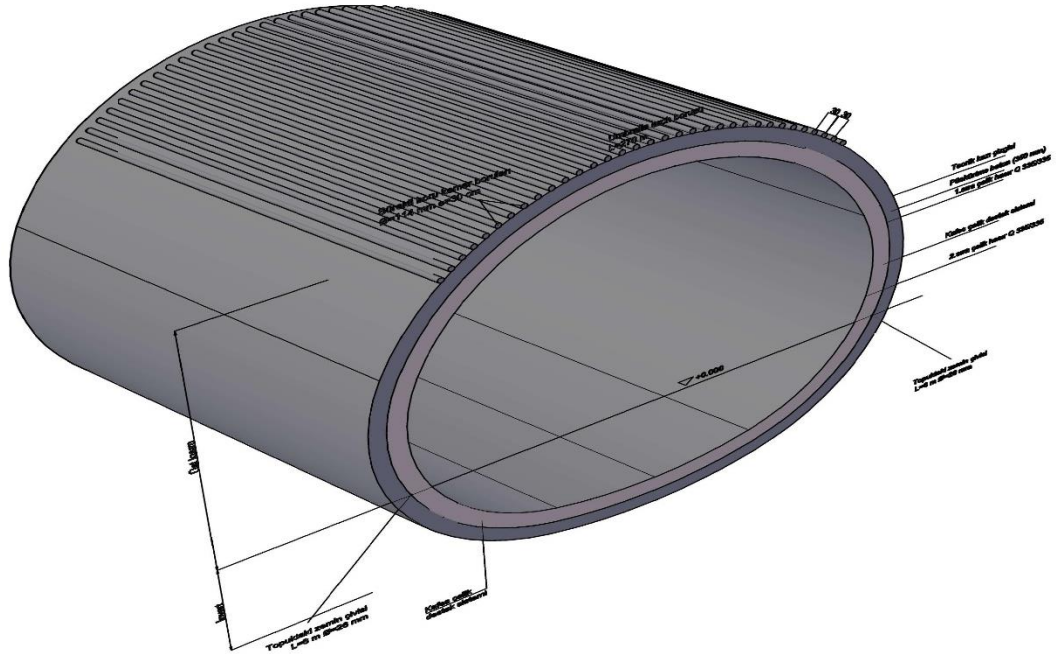
Sürekli boru kemer metodu kritik yola etki etmek için metro tünelleri inşasında kullanılan konvansiyonel metotlara alternatif sunmaktadır. Bu metot kullanımında sırasıyla şu iş kalemleri bulunmaktadır:

- Kaya Bulonu Delinmesi
- Kazı Yapılması
- Püskürtme Beton Uygulaması
- Çelik İksa Montajı
- İşban Yerleştirilmesi
- Çelik Hasır Yerleştirilmesi
- L Demiri Yerleştirilmesi
- Uygun Boru Yerleştirilmesi
- Topuğa Zemin Çivisi Yerleştirilmesi (Zeminin durumuna göre uygulanır)

Bu yöntemin iş kalemleri incelenecek olursa UAM yöntemi ile aynı şekildedir. Fakat UAM yöntemine göre uygulanma şekli farklıdır. Sürekli boru kemer metodu, kazı destek sisteminin oluşturulmasında boruların yerleştirilmesi kısmında UAM yönteminden ayrılmaktadır. Sürekli boru kemer yöntemi kullanımında borular tünel ekseninde uzun hatlar için ayna üzerinde tek seferde uygulanabilmektedir. Tünel hattında atılacak borularda herhangi bir eğimli açığa gerek duyulmaksızın 0^0 açı yani zemine paralel şekilde uygulama gerçekleştirmek mümkün hale gelecek ve sürekli boru kemer borularına verilecek uygulama açısı tünel eksenine paralel olduğunda UAM metodundaki açılı boru uygulamasına göre düşük yüzey oturmaları elde edebilecektir (Çeçen & İncecik 2008). Bu durumda UAM yönteminde gerçekleştirilen açılı şekilde UAM borularının yerleştirilmesi işlemi esnasında kullanılan kademeli olarak yapılan kazıya gerek kalmayacaktır.



Şekil 34. Sürekli boru kemer yöntemi kazı desteğinin 3 boyutlu ön görünüşü



Şekil 35. Sürekli boru kemer yöntemi kazı desteğinin 3 boyutlu perspektif görünüşü

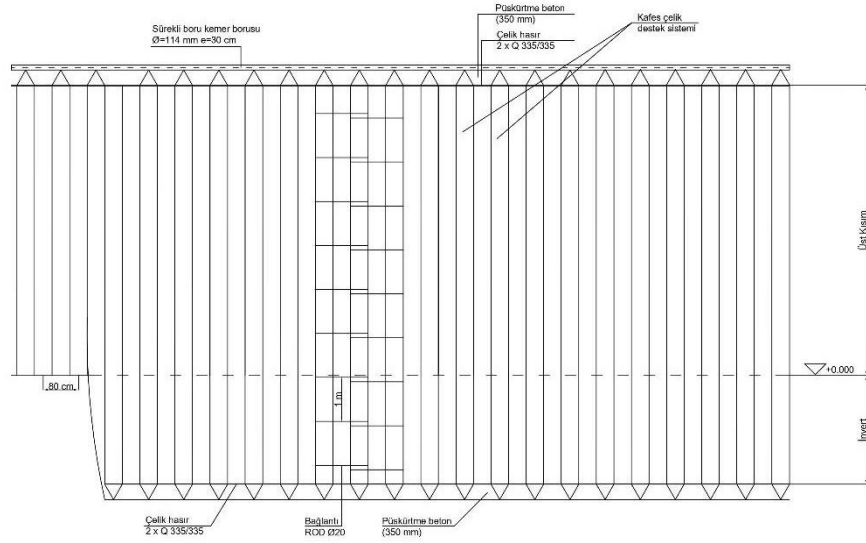
7.2.2. Çakmak İstasyonu Peron Tüneli Sürekli Boru Kemer Uygulaması Zaman Analizi

Sürekli boru kemer metodunun uygulanmasının esas noktası tünel kazısı biçimini kademeli kazıya gerek duymadan gerçekleştirmesidir. Fakat bu yöntem uygulanırken tünel yapımında kullanılan UAM metodunun da amaçladığı şekilde gelişecek olan

Ayrıca bu durumu sağlamak hem kazı biçimini UAM yönteminden değiştirerek bu iş kaleminde ve hem de kazı biçimine bağlı olarak gerçekleşen kazı desteğin diğer iş kalemlerinde uygulamayı UAM yönteminden NATM yöntemine doğru yönlendirmektedir. Yani yöntem, NATM yönteminin yapım hızını ve UAM yönteminin zemin stabilitesini sağlamasındaki faydayı birleştirilebilmektedir. Bu durum iş güvenliğinden ödün verilmeden gerçekleştirilen daha hızlı tünel inşaları ve daha kısa sürede inşası tamamlanabilen projelerdir.

[illegible]

Şekil 36. Sürekli boru temel yöntemi enkesiti



Şekil 37. Sürekli boru kemer yöntemi boykesiti

Şekil 36 ve Şekil 37 Çakmak İstasyonu peron tüneli inşaatının sürekli temel metodu ile yapılması durumunda oluşacak tünel kesitlerini göstermektedir. Yöntemin incelenmesi yapılırken peron tünelinin 270 metrelik olan hattın tamamının bu yöntemle yapıldığı düşünülerek kesitler hazırlanmıştır. Aynı UAM yöntemindeki gibi çapı 114 mm olan UAM borusu için delinme işlemi bu kez peron tüneli uzunluğu 270 m olan tünel hattı boyunca uygulanmış ve bu sayede gerekli stabilite sağlanmış olarak aynadaki zemin çivisi de ortadan kaldırılmıştır. Bunun haricinde uygulanan diğer iş kalemleri incelenecek olursa, Şekil 20 ve Şekil 21 'de gösterilen UAM yöntemi kesitlerinde belirtilen uygulama aralıkları ve kullanılan materyaller aynı olacak şekilde uygulama yapılacağı esas alınmıştır. Fakat Şekil 37 'e bakılacak olursa Şekil 21 'den farklı olarak ortada herhangi bir kademeli kazı kalmadığı net şekilde görülmektedir. Bu da yöntemdeki kazıyı aslında NATM yönteminde uygulanan kazıya dönüştürmektedir. Bu durumlar göz önüne alınacak olursa Çakmak Peronu İstasyonu'nda 1 m 'lik ilerleme için ortaya çıkacak süre şu şekilde oluşmaktadır.

Tablo 12. Sürekli boru kemer yöntemi ile bir metrelik ilerleme süreleri

Yapılan iş	Metre başına dakika
Kaya bulonu delinmesi	45,00
Kazı yapılması	280,28
Püskürtme beton	68,00
Çelik iksa montajı	65,00
İşban yerleştirilmesi	15,00
Çelik hasır yerleştirilmesi	40,00
L demiri yerleştirilmesi	4,00
Umbrella borusu delinmesi	410,95
Topuğa zemin çivisi delinmesi	112,40
Toplam	1.040,63

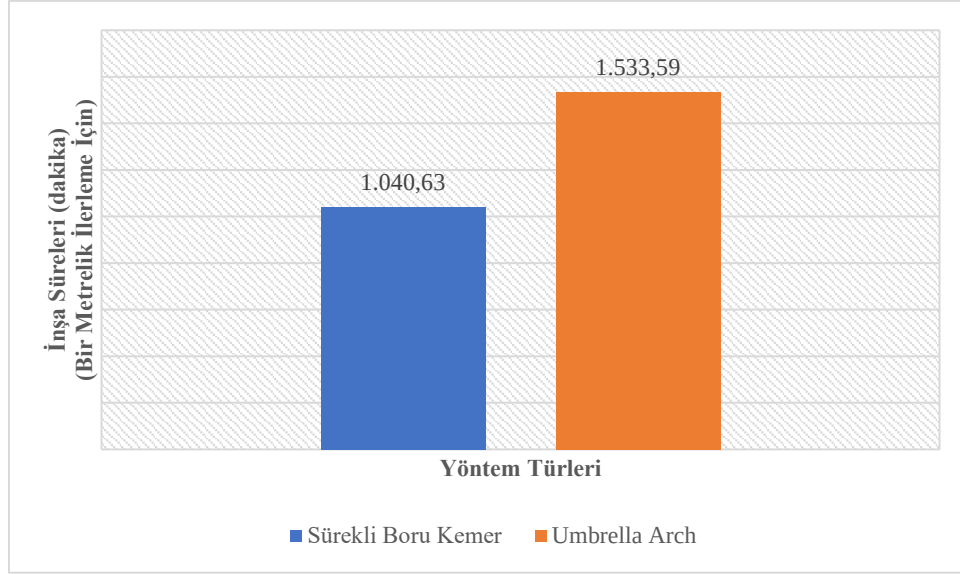
Tablo 12 ‘de ulaşılan durum Çakmak Peronu İstasyonu’nda gerçekleştirilen tünel işlemlerindeki süreler esas alınarak düzenlenmiştir. Yöntemdeki sürelerle bakılacak olursa kaya bulonu delinmesinden, L demiri yerleştirmesine kadar geçen iş kalemi süreleri NATM yönteminde uygulandığı gibi gerçekleştirildiğinden NATM yöntemindeki süreler esas alınmıştır. Ancak stabiliteyi sağlamak için uygulanan UAM borusu delinmesi işlemi; bu yöntemde kullanılacak makinelerin devir hızının, bu tünel hattının inşasında jumbo adı verilen UAM borusu delgi makinelerinin devir hızına uygun makineler olduğu için aynı süre kabul edilmiştir. Topuğa zemin çivisi delinmesi işlemi de UAM yönteminde aynaya uygulanmış olan toplam delgi sayısının topuğa uygulanan delgi sayısına uygulanmasının oranı ile elde edilmiştir. Sonuç olarak sürekli boru kemer yöntemiyle bir metre tünel inşası gereken süre (ring) 1040,63 dakika olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sürenin UAM yöntemiyle gerçekleştirildiğinde 1533,59 dakika olarak uygulama süresi gerektirdiği görülmektedir.

Tablo 13. UAM yöntemi ile bir metrelik ilerleme süreleri

Yapılan iş	Metre başına dakika
Kaya bulonu delinmesi	38,09
Aynaya zemin çivisi delinmesi	299,75
Kazı yapılması	420,97
Püskürtme beton	76,18
Çelik iksa montajı	91,75
İşban yerleştirilmesi	19,04
Çelik hasır yerleştirilmesi	60,14
L demiri yerleştirilmesi	4,32
Umbrella borusu çakma	410,95
Topuğa zemin çivisi delinmesi	112,40
Toplam	1.533,59

İki yöntem arasında ortaya çıkan süre farkı mukayese edilecek olursa, bu yöntemler arasında 1 m ‘lik ringin tamamlanması için gereken süre farkı 492,96 dakika olarak görülmüş, sürekli boru kemer yöntemi ile tünel inşasının UAM yöntemine göre 1 m ‘lik inşada bile yaklaşık olarak 8 saat uygulama süresi kazandırdığı ortaya çıkmıştır. Diğer bir ifade ediliş biçimiyle sürekli boru kemer yöntemi ile inşa etmek UAM yöntemine göre gereken süreyi %32 oranında düşürdüğü tespit edilmiştir.

Bu durumun oluşmasındaki en büyük farka sebep olan iki unsur da Tablo 12 ve Tablo 13 incelendiğinde anlaşılmaktadır. İki yöntem arasındaki ilk fark kazı biçiminde kademeli kazıyı ortadan kaldırmanın büyük bir avantaj sağladığıdır. Diğer farksa gerekli zemin stabilitesinin sürekli borular yardımıyla oluşturmanın bu yöntemde doğrudan bir iş kalemini ortadan kaldırdığını ortaya koymuştur. Yani, UAM yönteminde uygulanması gereken tünel aynasında zemin çivisi delinmesi iş kalemi sürekli boru kemer metodunda uygulanmamıştır. Boruların tek seferde hat boyunca uygulanabilmesi ile kazı sırasında tünel aynasından oluşabilecek göçme tehlikesinin önüne geçilmiştir ve bu kısımda herhangi bir zemin çivisi delinmesine ihtiyaç kalmaması da süre kazancını ortaya çıkarmıştır.

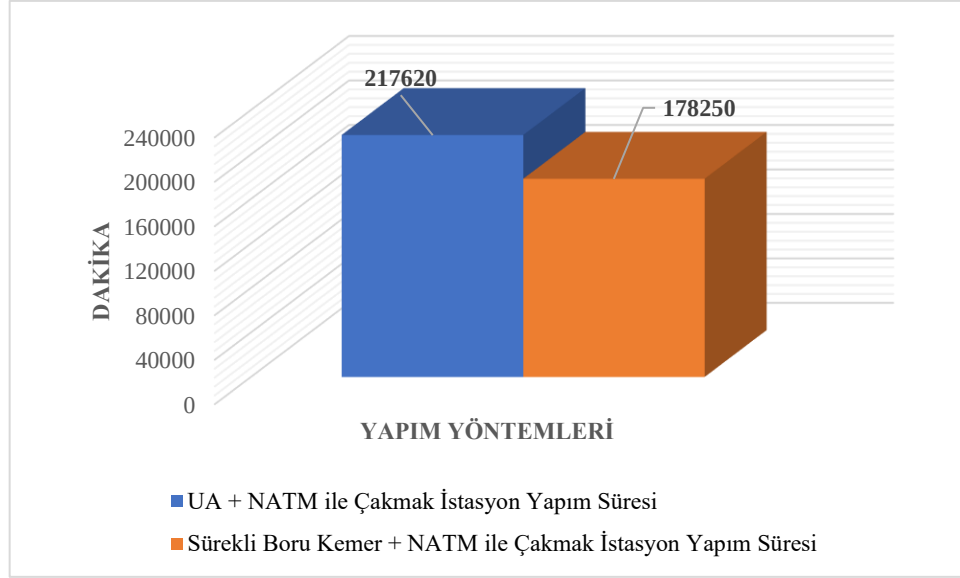


Şekil 38. Sürekli boru kemer ile UAM yöntemi süre kıyaslaması

7.2.3. Sürekli Boru Kemer Yönteminin Çakmak İstasyonu İçin Uygulanmasının Zamansal Değerlendirmesi

Sürekli boru kemer yönteminin UAM yöntemi yerine kullanılması sonucunda 1 metrelik uygulama için gereken süre 1533,59 dakika yerine 1040,63 dakika gerekecektir. Yani sürekli boru kemer yöntemi yapım süresini %32 oranında kısaltacaktır.

Çakmak İstasyon tüneli inşasında NATM yöntemi ile toplam 169,43 m kazı + tahkimat yapılmış, toplamda 1576 saat 30 dakika sürmüştür. Aynı istasyon içerisinde gerçekleştirilen UAM yöntemi ile de toplam 86,56 m kazı + tahkimat yapılmış, bu da toplamda 2050 saat 30 dakika sürmüştür. (Selçuk, 2016). Toplamda Çakmak İstasyonu peronu yapımı sırasında 255,99 metrelik istasyon yapımı sağlanmış ve bu işlemlerin sıralı bir şekilde yapılması durumunda 3627 saat boyunca çalışma gerçekleştirilmiştir. Eğer istasyon inşası sırasında UAM yöntemi yerine sürekli boru kemer yöntemi kullanılmış olursa 2050 saat 30 dakika süren yapım metodu %32 oranında zaman kazanacak ve 1394 saat 20 dakika sürecektir. Toplam Çakmak istasyonu peron hattı yapım süresi de sıralı olarak yapılması durumunda 2970 saat 50 dakikaya inecektir. Bu sayede 656 saat 10 dakikalık yapım süresi kısaltılmış olup Çakmak İstasyon peronu yapımında %18 zaman kazancı elde edilebileceği hesap edilmiştir.



Şekil 39. Sürekli boru kemer yönteminin Çakmak İstasyonu için uygulanması

7.2.4. Sürekli Boru Kemer Yönteminin Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu’nun Tamamı İçin Uygulanmasının Zamansal Analizi

Proje, önceden tespit edilmiş spesifik amaçlara belirli bir zaman diliminde optimum bir şekilde ulaşmak üzere kaynakların nasıl ve ne şekilde kullanılacağını gösteren bir çalışmadır (Ece & Kovancı, 2004). Yani bir çalışmanın proje olması için belirli bir başlangıç ve bitiş zamanı, özel bir amacı, kendine özgü bir birtakım özelliği bulunmalı ve bunların doğru şekilde yönetilebilmesi için özel bir uzmanlıkla yönetilebilmesi gerekmektedir. Projeler, verimli şekilde yürütmek ve sonlandırabilmek için proje yönetimi adı altında idare edilmektedir. Proje yönetimi ile projelerin zaman, maliyet ve kalitesini kontrol altında tutarak tamamlamak amaçlanmaktadır. Bu nedenle, proje yönetimini başarıyla yürütebilmek için projenin amacını belirleyip, bu amaca ulaşmak için kullanılacak yöntemi seçip, eldeki uygun kaynakları uygun şekilde yönetip, tüm süreci de kontrol altında tutmak gerekmektedir.

Tarihte proje yönetimi konusunda ilk örneklerin Piramitler ve Çin Seddi olduğu düşünülmektedir (Sönmez, 2007). Modern proje yönetiminin ilkel ve başlangıç uygulamalarının geçmişiyse sanayi devrimine kadar uzanmaktadır (Kır, 2007). Bu zamandan sonra teknolojinin hızla ilerlemesi ve basit proje yönetiminin sorunlara yanıt verememesi sebebiyle farklı proje yönetim teknikleri de gelişmeye başlamıştır. 20. yüzyılda Henry GANTT tarafından GANTT diyagramı adı verilen teknikle

başlayan ilerlemeye daha sonrasında Kritik Yol Metodu (Critical Path Method (CPM)) ile Program Değerlendirme ve Gözden Geçirme Tekniği (Project Evolution and Review Technique (PERT)) de eklenmiştir.

Proje yönetimleri birbirleri ile etkileşim halinde, birbirini tamamlayan beş ayrı evreden oluşmaktadır. (Coskun & Ekmekçi, 2012). Bunlar sırasıyla başlatma, planlama, uygulama, kontrol ve sonlandırma evresi olarak adlandırılmaktadır. Bu evreler birbiriyle bağlantılı şekilde ilerleyen ancak aralarında kesin sınırı olmayan evrelerdir.

Proje yönetimi kapsamında iş programı hazırlamak ve belirli aralıklarla bu programı güncellemek büyük önem arz etmektedir. Gerçekçi bir iş programı oluşturarak projenin maliyeti, tamamlanacağı süresi, gerekli ekipman ve çalışan sayısının bulunması mümkün hale gelmektedir. Günümüzde inşaat sektöründe iş programı hazırlamak için en çok CPM ve PERT metotları tercih edilmektedir. Bu metotlar kendi içerisinde GANTT diyagramları da bulundurmakta olup üç aşamadan oluşur. Bunlardan planlama aşaması projeleri çeşitli aktivitelere bölüp süresini tahmin ederek bu aktiviteler arasında öncül ardıl bağlantısını kurmayı, programlama aşaması planlama aşamasında belirlenen aktiviteleri kullanarak projenin zamanlamasını ortaya çıkarıp kritik olan ile kritik olmayan faaliyetleri göstermeyi, kontrol aşaması da belirli süreyle bu programın güncellemesini ve projenin durum analizini çıkarmayı içermektedir.

Hazırlanan iş programı için kritik yol, en kısa tamamlanma süresini hesaplayan aktiviteler serisidir (Demirbağ, 2008). Bu yolu oluşturan aktivitelerin her biri de kritik aktivite olarak adlandırılmaktadır. Kritik yol üzerinde bulunan herhangi bir aktivitedeki gecikme süresi proje süresinin de aynı uzunlukta gecikmesine sebep olacaktır. Bu sebeple, kritik aktiviteler bolluğu sıfır olan aktivitelerdir. Kritik yol üzerinde bulunmayan diğer aktiviteler de kritik olmayan aktivite olarak adlandırılmaktadır ve bolluğu sıfır olmamaktadır. Kritik olmayan aktivitelerdeki gecikmenin bolluktaki süreden az veya eşit olduğu durumlar projenin tamamlanma süresini değiştirmemektedir.

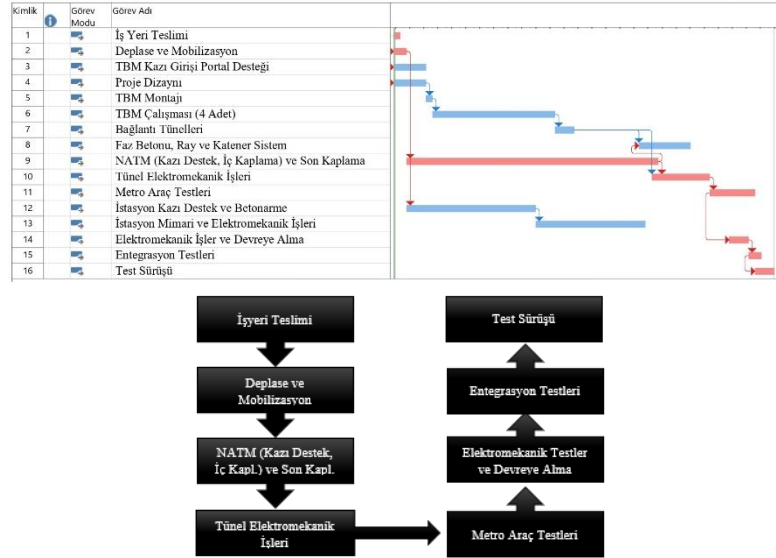
Üsküdar - Ümraniye - Çekmeköy Metro Projesi inşaatı 2012 yılında başlamış ve toplam 60 ay sürede inşaatı tamamlanarak işletme aşamasına geçmiştir. Projenin

yürütülmesi kısmında kendi iş programı hazırlamış, gerçekleşen olumsuzluklara göre revizeler yapılmıştır. Proje tamamlanması ile oluşan son halinde iş yeri tesliminden test sürüşü aşamasına kadar birçok faaliyeti içerecek şekilde iş programı meydana gelmiştir.

Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu inşaatı süresince de bazı aktiviteler doğrudan etkilerken, bazılarının böyle bir etkisi olmamıştır. Bunların belirlenmesinde aktivitelerin gerçekleşme hızı ve aktivitelerin birbiriyle olan bağlantı türleri etkili olmuştur.

[illegible]

Şekil 40 ‘taki iş programı incelendiğinde işin minimum sürede bitmesini belirleyen bazı aktiviteler bulunmaktadır. Bu aktiviteler yukarıda da anlatıldığı üzere projenin süresini etkileyen kritik aktivitelerdir. Bu aktiviteler projenin yapım süresini doğrudan etkilemiştir. Uygulanan iş programında bu aktiviteler 8 iş kaleminden oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla iş yeri tesliminden başlayıp, deplase ve mobilizasyonla devam eden daha sonrasında istasyonların inşa edilmesi aktivitesi olan NATM (Kazı destek ve birinci kaplama) ve nihai kaplama iş kalemi ve metro hattındaki elektromekanik işleri içeren tünel elektromekanik işleri, metro araç testleri, devreye alma, entegrasyon ve test sürüşleridir. Yani, NATM (Kazı destek ve birinci kaplama) ve nihai kaplama aktivitesi NATM ve UAM inşa edilen istasyonların süresini içeren ve projenin tamamlanmasını doğrudan etkileyen kritik aktivite olarak karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 41. Metro projesinin uygulanan akış diyagramı ve proje kritik yolu

Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy Metrosu ’nun yapımı sırasında uygulanan yöntemler ve bu hattın yapımının gerçekleştiği zemin yapısı incelendiği zaman metro projesinde tünel destek sistemi olarak NATM ve UAM yönteminin kullanıldığı ve UAM yöntemin projenin hızını belirleyen aktivite olduğu anlaşılmaktadır. Bu sebeple NATM (Kazı destek ve birinci kaplama) ve son kaplama kalemi olarak adlandırılan 39 ay süren kritik aktivitenin oluşmasının ana unsuru UAM yöntemidir.

Önceki bölümde Çakmak İstasyonu tünelinin inşası kapsamında uygulanan sürekli boru kemer yönteminin UAM yöntemindeki iş kalemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır. Buradan çıkan sonuca göre %32 oranında sürekli boru kemer metodunun

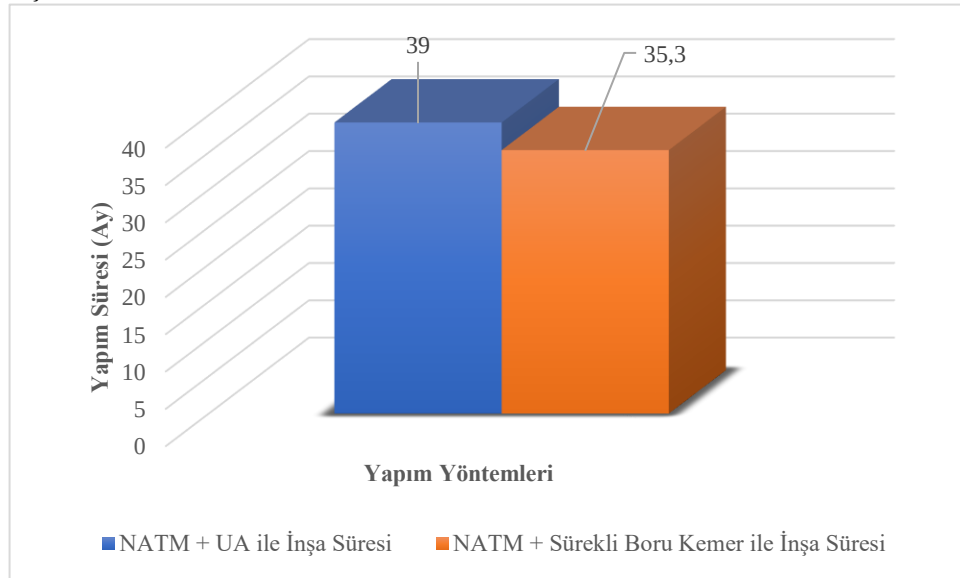
UAM (umbrella arch) metoduna göre süre avantajı sağladığı görülmüştür. Yine önceki kısımda Çakmak İstasyonu'nun kazısında kullanılan NATM ve UAM yöntemi yerine NATM ve sürekli boru kemer yöntemi kullanılması durumunda istasyon peronu yapım süresinin %18 oranında daha kısa sürede tamamlanacağı ortaya konmuştur.

Projenin iş programında belirtilen NATM (Kazı destek ve birinci kaplama) ve nihai kaplama kalemi için sürekli boru kemer metodunun umbrella arch yöntemi ile kıyaslamasını yapmak için öncelikle yapım faaliyeti belirleyici olan istasyon belirlenmiştir. Çakmak İstasyonu inşası tüm proje üzerinde yapım süresine etki eden kritik istasyon olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü bu istasyonun zemin durumu, projenin ilerleyişi sırasında ana giriş istasyonuna dönüşmesi, yaşanan aksaklıklar olması ve yerinde yapılan gözlemlerden alınan bilgilerin derlenmesi sonucunda tünel hattının tamamında belirleyici etki yarattığı bilinmektedir. Planlanan iş programına göre tünellerin ana (ilk) tünel kaplama işleri ve nihai (kesin) tünel kaplama işlerinin 770 günde (25,5 ay) tamamlanması hedeflenmiş iken ancak 41 ayda sürede bitirilebilmiştir. Sahada kaydedilen faaliyet raporlarına göre, beklenmedik çökmeler ve bu çökmeler sonrasında zeminin güçlendirilmesi nedeniyle sadece Çakmak İstasyonu'ndaki tünellerin kazı destek ve birinci kaplama yapımı yaklaşık 23 ay sürmüştür (Namlı, 2021). Ayrıca geoteknik raporlarının değerlendirilmesi sonucunda ve yerinde gözlem yapan ekipten alınan bilgilere göre de istasyon inşalarında umbrella arch yöntemi uygulamasından yararlanıldığı bilinmektedir.

Çakmak İstasyonu inşaatının kritik istasyon olduğunun belirlenmesi sonucunda bu istasyon yapımı esas alınarak projedeki NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kaleminin 39 ay sürmesi üzerinden hesaplama yapılmıştır. Buna göre, Çakmak İstasyonu yapımında NATM ve UAM yöntemi kullanılması yerine NATM ve sürekli boru kemer yöntemi uygulanması durumunda peron tüneli için %18'lik zaman kazancı bulunmaktadır. Fakat istasyon yapımında peron tüneli dışında havalandırma tüneli, erişim tüneli ve merdiven tüneli gibi bölümler de bulunmaktadır. Çakmak İstasyonu için bu bölümlerin yapıldığı süreler esas alındığında ikincil kaplama için 16 aylık sürenin 8,5 ayının peron tüneli yapımına ayrıldığı bilinmektedir (Namlı,2021). Kaplama işlemleri, tünel kazısının gerçekleştirilmesi ardından hemen gerçekleştirilen bir işlemler olduğu için peron tüneli yapımının da buna orantılı olarak

gerçekleştirildiği esas alındığında istasyon için peron tüneli yapım süresinin oranı %53'tür. Buna göre, 39 ay süren NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama kalemi üzerinde peron tünellerinin yapım süresi 20,7 ay kalan diğer istasyon tüneli bölümlerinin yapımı (havalandırma, merdiven tüneli vb.) 18,3 ay olarak ortaya çıkmaktadır. 20,7 süren peron tünellerinin yapımı için UAM yöntemi yerine SBK yöntemi uygulandığında bu iş kalemi %18 oranında kısalarak 17 ayda sona erecektir. NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama kalemi de 35,3 aya (17 ay peron tüneli yapımı + 18,3 ay kalan istasyon tünelleri yapımı) düşecektir. Bu iş kaleminin kritik aktivite olması sebebiyle projedeki kısalma da bu faaliyete bağlı olarak kısalmakta ve 60 aydan 56,3 aya (2 ay mobilizasyon + 35,3 ay NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama ile tünel yapımı + 19 ay elektromekanik çalışmalar) düşmektedir. Bu sayede tüm proje üzerinde ortaya çıkan kazanç %6 olarak ortaya çıkmaktadır. Ayrıca bu sayede proje 3,7 ay daha erken açılarak işletme gelirinin de daha erken kazanılmasına sebep olacağı görülmektedir.

Şekil 41 'de oluşabilecek iş programı incelenecek olursa sürekli boru temel yönteminin NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kalemi üzerinde etkisi değerlendirilmiştir. Bölüm 7.2.3. 'de yapılan değerlendirmede UAM ve NATM yöntemi yerine sürekli boru kemer ve NATM yöntemi kullanımının peron tüneli yapımına %18 oranında zaman kazandırdığı belirlenmiştir. Aynı zamanda Çakmak İstasyonu incelemesi sonucunda istasyon kapsamında inşa edilen tünellerden peron tüneli yapımının Çakmak Metro istasyonundaki tüm tünellerin yapım süresinin %53 'ünü (Namlı, 2021) oluşturduğu görülmüştür. Buradan ortaya çıkan sonuçlar, istasyonlar için gerçekleştirilen NATM (Kazı destek ve birinci kaplama) ve nihai kaplama iş kalemi üzerinde uygulandığında 39 aylık yapım süresinin 20,7 ayının peron tüneli inşası için harcandığını (20,7 peron tüneli + 18,3 havalandırma geçiş tüneli vb bölümler) ve peron tüneli inşasında SBK yöntemi kullanılması durumunda bu sürenin 17 aya düşeceğini (20,7 ay üzerinde %18 oranında SBK yönteminin getirdiği katkı) göstermiştir. Buna bağlı olarak da NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama süresinin $17 + 18,3 = 35,3$ aya düşebileceği görülmüştür. Projenin tamamlanma süresi de 60 ay (2 ay mobilizasyon + 39 ay NATM+UAM ile tünel yapımı + 19 ay elektromekanik işler) yerine 56,3 aya (2 ay mobilizasyon + 35,3 ay NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama ile tünel yapımı + 19 ay elektromekanik çalışmalar) kısalmaktadır. Bu sayede tüm proje üzerinde ortaya çıkan süre kazancı %6 olarak ortaya çıkmaktadır.



Şekil 43. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu yapımında NATM ve UAM yöntemi ile NATM ve sürekli boru kemer yöntemi ile yapımın süre kıyaslaması

Sürekli boru kemer yöntemi; Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metro hattı inşa süresi üzerinde oluşabilecek süre kazancı yukarıda belirtilmiştir. Ayrıca bilinmesi gereken diğer bir unsur da sürekli boru kemer yönteminin, bu metro hattında uygulanmamış olan farklı kazı destek elemanları kullanımıyla da uygulanabilme imkânı vardır. Diğer bir ifade ediliş biçimiyle sürekli boru kemer yönteminin yenilikçi uygulamalarla entegre şekilde kullanılabileceğidir. Bu sayede süre kazanımı daha da fazla arttırılabilecektir. Örneğin; yine bu metro hattı üzerinde yapılmış bir çalışmada içinde homojen dağılmış çelik lifler bulunan ve basınçlı hava ile uygulanacak yüzeye, yüksek hızla püskürtülen harç veya beton olan çelik lifli püskürtme beton incelenmiştir (Araz, 2019). Çelik lif kullanımı; beton içerisinde donatı korozyonunu azaltılmasında, donatı işçiliğinin azaltılmasında, dayanımın arttırılmasını sağlayacağı bilinmekte olup bu sistemin metro tüneline kullanılması durumunda projenin yapım süresine etkisi değerlendirilmiştir. Araştırmada, çelik lifli püskürtme betonun tünel kaplamasına etkisi farklı durumlar için ortaya konulmuştur. Buna göre birincil kaplamanın fiber takviyeli püskürtme beton ile yapılması durumunda, NATM ile yapılan tünellerin süresi 39 ay yerine 29,8 ay tamamlanabilmektedir ve %24 oranında NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kaleminde süre kazancı ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak da projenin toplam tamamlanma süresini 60 aylık süreden 51 aya düşürmüştür (Namlı, 2021).

Sürekli boru kemer yönteminin birincil kaplamada çelik lifli püskürtme betonun kullanılması bu çalışma üzerinden değerlendirilmiştir. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Projesi kapsamında uygulanmış olan NATM + UAM yöntemi yerine NATM + Sürekli boru kemer yöntemi kullanımının peron tünelleri için %18’lik bir kazanç sağladığı görülmüş ve 39 ay süren NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama kalemi içerisinde gerçekleştirilen peron tünelleri için uygulandığında (%53 oranında peron tünelleri yapımı sürmüştür. Bu da 39 ay süren iş kaleminin 20,7 ayı demektir.) bu iş kaleminin süresini 35,3 aya düşürmüştür (20,7 ay süren peron tünelleri SBK yöntemi ile %18 oranında hız kazanarak 17 aya düşmüş ve kalan 18,3 aylık havalandırma, geçiş ve merdiven tünelleri de eklenince 35,3 aya ulaşılmıştır.). Birincil kaplamada fiber takviyeli beton kullanılmasının sağladığı %24 oranındaki kazanç da NATM + SBK kullanılmasıyla beraber kullanılması durumunda 35,3 aylık NATM (Kazı iç kaplama) ve son kaplama iş kalemi süresi 26,9 aya (35,3 aylık sürenin %24

oranında düşmesi) düşmüştür. NATM tünellerinin yapımı 2 aylık mobilizasyon süresi eklendiğinde $2 + 26,9 = 28,9$ ayda tamamlanabilmektedir. Bu duruma bağlı olarak projenin süresi de 60 ay yerine 47,9 aya (2 ay mobilizasyon + 26,9 ay NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama ile tünel yapımı + 19 ay elektromekanik çalışmalar) içerisinde tamamlanabileceği ortaya çıkmıştır. Bu durumda projede meydana gelen zamansal kazanç %20 oranında olacaktır.

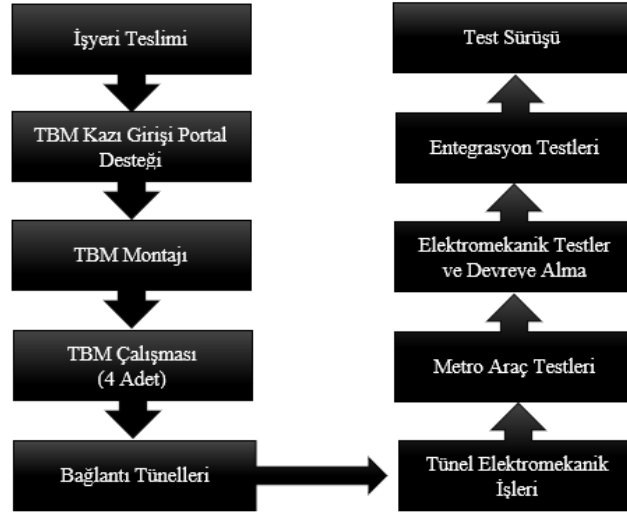
SBK Yön. + Birincil Kap. (Fiber Tak. Betonlu) İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
İş Yeri Teslimi																																																		
Deplase ve Mobilizasyon																																																		
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																																		
Proje Dizaynı																																																		
TBM Montajı																																																		
TBM Çalışması (4 Adet)																																																		
Bağlantı Tünelleri																																																		
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																																		
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																																		
Tünel Elektromekanik İşleri																																																		
Metro Araç Testleri																																																		
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																																		
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																																		
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																																		
Entegrasyon Testleri																																																		
Test Sürüşü																																																		

Şekil 44. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı

Yapılan çalışmada birincil tünel kaplamanın fiber takviyeli püskürtme beton ile ikincil kaplamanın fiber takviye eklenmiş beton dökülmesi şeklinde bir uygulama yapılması da incelenmiştir (Namlı, 2021). Buna göre, yapılan karma yöntem ile 39 aylık NATM (Kazı iç kaplama) ve son kaplama iş kalemi süresini 39 ay yerine 25,8 aya düşürmüştür (Namlı, 2021). Bu kalem üzerindeki toplam süre kazancını da %34 oranında sağladığını göstermiştir. Bu iş kalemindeki düşüş proje süresini de doğrudan etkilemiştir. Ancak, NATM tünellerinin yapımı (2 aylık mobilizasyon + 25,8 aylık tünel imalatları) toplam 27, 8 ay olsa da 4 TBM ile yapılan TBM tünellerinin yapım süresi 28 ay gerektirdiğinden TBM tünellerinin yapımı kritik aktivite haline gelerek 19 aylık tünel yapımı sonrasındaki işler de eklendiğinden toplam projenin yapım süresi 60 ay yerine 47 ayda tamamlanmasına sebep olmuştur. Ayrıca bu yöntemin kullanılması kritik aktivitenin değişerek TBM ile açılan tünellerin proje süresi üzerinde belirleyici etki yarattığını göstermiştir.

İncelemesi yapılmış olan fiber takviyeli püskürtme beton ve fiber takviyeli dökme beton karmasının sonuçlarıyla SBK yönteminin bir arada uygulanması sonucunda ortaya şu şekilde bir durum çıkacaktır. Karma uygulamalı fiber takviyeli beton uygulaması yapılması durumunda %34 oranında NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama kalemi üzerinde bir süre kazancı oluşmaktadır. UAM ile NATM yöntemi kullanılması yerine SBK ile NATM yöntemi kullanılması da peron tüneli inşasında %18 oranında süre katkısı sağlamaktadır. 39 ay süren NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kalemi içerisinde %53 'lük oran peron tünelleri yapımına aittir (39 ayın %53 'ü olan 20,7 ay peron tüneli inşasına, kalan 18,3 ay peron tüneli dışındaki merdiven, havalandırma ve geçiş tüneli gibi kısımlar). Peron tünelleri için SBK+NATM yöntemi uygulanarak bu iş kalemi için gerekli süre 35,3 aya (20,7 aylık sürede kazanılan %18 'lik zaman kazancı = 17 ay + 18,3 aylık kalan istasyon tüneli bölümleri) düşmektedir. Bu süre üzerinden de birincil ve ikincil kaplamada iki farklı biçimde uygulanan fiber takviyeli beton uygulaması yapıldığında NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kaleminin süresi $35,3 \times (1 - \%34) = 23,4$ ay (35,3 ay süren NATM+SBK yöntemleri uygulanan istasyon yapımlarının %34 oranında süresinin azalması) olacaktır. Proje süresi 60 ay yerine 47 aya (6 ay mobilizasyon, TBM portal desteği ve montajı + 19 ay 4 adet TBM ile yapılan tünel kazıları + 3 ay bağlantı tünelleri + 19 ay elektromekanik çalışmalar) düşmektedir. Proje süresindeki

düşüşün NATM ile yapılan istasyon süreleriyle aynı miktarda düşmemesinin sebebi kritik aktivitenin NATM ile yapılan bölümlerden TBM ile yapılan ana hat tünellerine geçmesidir. Projenin bu durumundaki süre kazancı uygulama durumuna göre %22 'de kalmaktadır.



Şekil 45. Kritik aktivitenin TBM ile yapılan anahat tünellerine geçmesi ile oluşan proje kritik yolu

SBK Yön. + Kap. Karma Uyg.(Fiber Tak. Bet.)İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
İş Yeri Teslimi																																																	
Deplase ve Mobilizasyon																																																	
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																																	
Proje Dizaynı																																																	
TBM Montajı																																																	
TBM Çalışması (4 Adet)																																																	
Bağlantı Tünelleri																																																	
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																																	
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																																	
Tünel Elektromekanik İşleri																																																	
Metro Araç Testleri																																																	
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																																	
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																																	
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																																	
Entegrasyon Testleri																																																	
Test Sürüşü																																																	

Şekil 46. Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamalarda karma tip uygulamalı fiber takviyeli betonla oluşacak iş programı

Ayrıca, aynı çalışmada yapılan değerlendirilmeyle hem birincil hem de ikincil (nihai) tünel kaplamaları fiber takviyeli püskürtme beton ile yapılarak, NATM ile açılan tüneller 19,8 ay tamamlanabilmektedir (Namlı, 2021). Bu da uygulamada 39 ay süren bu iş kalemini %49 oranında düşürmüştür. Projenin toplam süresi de 60 aydan 47 aya kadar düşmekte ve artık kritik iş kalemi TBM yöntemi ile tamamlanan tünel bölümleri olmaktadır. Sürenin 47 aydan daha kısa sürede tamamlanması TBM sayısının arttırılmasına bağlantılı olarak mümkün hale gelmektedir.

Yapılmış olan fiber takviyeli püskürtme beton çalışmasından ortaya çıkan sonuçlarla bu çalışmada esas alınan sürekli boru kemer yönteminin bir arada uygulanması sonucunda oluşacak durum da incelenmiştir. Birincil ve ikincil kaplamanın fiber takviyeli püskürtme beton ile yapılması da %49 oranında NATM (Kazı destek, birinci kaplama) ve nihai kaplama iş kalemi üzerinde süre avantajı sağlayacağı belirlenmiştir (Namlı, 2021). NATM + UAM yöntemi yerine NATM + SBK yöntemine geçilmesinin %18 oranında peron tüneli yapımına hız kazandırdığı ve NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama içerisinde %53 oranında süre alan peron tünelleri için uygulandığında (39 ay süren bu iş kaleminin %53 'ü yani 20,7 'si peron tüneli yapımı kalan 18,3 aylık süre istasyon kapsamında yapılan havalandırma, geçiş tüneli gibi yapılar) bu süreyi 35,3 aya (20,7 aylık sürede kazanılan %18 'lik zaman kazancı = 17 ay + 18,3 aylık kalan istasyon tüneli bölümleri) düşürdüğü, bu süre üzerinde de fiber takviyeli püskürtme beton kullanımının da uygulanması sonucunda kazanılacak %49 oranındaki süre kazancı gerçekleştirildiğinde NATM (Kazı destek, birinci kaplama) ve nihai kaplama iş kaleminin süresi 17,9 ay (35,3 ay süren NATM+SBK yöntemleri uygulanan istasyon yapımlarının %49 oranında zaman kazanması) olacaktır. Proje de bu kalemde meydana gelecek hızlanmadan etkilenecek ve 60 ayda değil 47 ayda (6 ay mobilizasyon, TBM portal desteği ve montajı + 19 ay 4 adet TBM ile yapılan tünel kazıları + 3 ay bağlantı tünelleri + 19 ay elektromekanik çalışmalar) tamamlanabilecektir. Bu durumda proje tamamlanmasında ortaya çıkacak kazanç uygulama durumuna göre %22 oranında gerçekleşecektir. Projenin daha fazla hızlanamamasının sebebi kritik iş kaleminin NATM ile inşa edilen peron tünelleri yerine ana hat tünellerine geçmiş olmasıdır. Bu durum da sürenin daha da hızlanabilmesi için TBM sayısının arttırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır.

SBK Yön. + Tüm Kap. (Fiber Tak. Betonlu) İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
İş Yeri Teslimi																																																	
Deplase ve Mobilizasyon																																																	
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																																	
Proje Dizaynı																																																	
TBM Montajı																																																	
TBM Çalışması (4 Adet)																																																	
Bağlantı Tünelleri																																																	
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																																	
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																																	
Tünel Elektromekanik İşleri																																																	
Metro Araç Testleri																																																	
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																																	
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																																	
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																																	
Entegrasyon Testleri																																																	
Test Sürüşü																																																	

Şekil 47. Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamaların tamamında fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı

7.2.5. Sürekli Boru Kemer Yöntemi Uygulamasının Değerlendirmesi

Sürekli boru kemer yönteminin Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu’nda uygulanmış olan iş programı üzerinde mukayesesi yapılacak olursa, öncelikle projenin gerçek süresinin değerlendirilmesi yapılmıştır. Bu durum Tablo 14 ‘te gösterilmektedir.

Tablo 14. Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon	İstasyon Tünelleri (%53 Peron + %47 Diğer Tüneller)		Elektromekanik İşler	Toplam
	Peron Tünelleri (UAM Yöntemi + NATM)	Diğer Tüneller		
2	20,7	18,3	19	60

Sonrasında bu proje kapsamındaki kritik istasyonu belirlenmiştir. Bu konuda kritik istasyon olan Çakmak Peronu İstasyonu ’nun UAM ve NATM ile yapılmış bölümleri incelenmiştir. Sonrasında, bu inşa yöntemleri sırasında oluşan süreler değerlendirilmiş ve NATM ile UAM yöntemlerinin sırasıyla uygulanması durumunda ortaya çıkan inşa süresi ile UAM bölümlerinin SBK yöntemiyle yapılması durumunda ortaya çıkacak olan peron yapım süresi hesaplanmıştır. Projede bunun uygulanması sonucunda NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kaleminin 39 aydan 35,3 aya, tüm projenin de 60 aydan 56,3 aya (2 ay mobilizasyon + 35,3 ay NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama ile tünel yapımı + 19 ay elektromekanik çalışmalar) düştüğü tespit edilmiştir. Bu durumda projenin tamamında ortaya çıkan süre kazancı da %6 olmaktadır.

Tablo 15. SBK yöntemi ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon	İstasyon Tünelleri (%53 Peron + %47 Diğer Tüneller)		Elektromekanik İşler	Toplam
	Peron Tünelleri (SBK Yöntemi + NATM ile %18 Oranında Süre Kazancı)	Kalan Tüneller		
2	17	18,3	19	56,3

Bu metro projesi üzerinde yapılan diğer bir incelemede tünel kaplamasının fiber takviyeli püskürtme beton uygulamasıyla gerçekleştirilmesi incelenmiştir. Bu değerlendirme sonucunda ortaya çıkan sonuçlar ile sürekli boru kemer yöntemi uygulamasının bir arada gerçekleştirilmesinin Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy

Metrosu'nun yapımına etkisi ortaya konmuştur. Bu durumda 39 ay olan istasyon tünellerinin yapım süresi 26,9 ayda, proje süresi de 60 ay yerine 47,9 ayda (2 ay mobilizasyon + 26,9 ay NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama ile tünel yapımı + 19 ay elektromekanik çalışmalar) tamamlanarak, projedeki süre kazancı %20 olmuştur.

Tablo 16. SBK yöntemi + birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme beton ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon	İstasyon Tünelleri (%53 Peron + %47 Diğer Tüneller)		Elektromekanik İşler	Toplam
	Peron Tünelleri (SBK Yöntemi + NATM ile (%18 Oranında Süre Kazancı) + (Birincil Kaplamada Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ile %24 Oranında Süre Kazancı)	Kalan Tüneller (Birincil Kaplamada Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ile %24 Oranında Süre Kazancı)		
	2,0	12,9	14,0	47,9

Bu metro projesi kapsamında yapılan bir diğer değerlendirme birincil kaplamanın fiber takviyeli püskürtme betonla, ikincil kaplamanın fiber takviyeli dökme betonla yapılmasıdır. Bununla birlikte, SBK yönteminin UAM yöntemi yerine kullanılmasının peron tüneli yapımında getirdiği katkının bir arada incelemesi sonucunda 39 aylık iş kalemi süresi 23,4 aya düşmektedir.

Tablo 17. SBK yöntemi + kaplamalarda karma uygulamalı fiber takviyeli beton ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon	İstasyon Tünelleri (%53 Peron + %47 Diğer Tüneller)		Elektromekanik İşler	Toplam (TBM ile Yapılan Bölümler Sebebiyle Uygulanamaz)
	Peron Tünelleri SBK Yöntemi + NATM %18 Oranında Süre Kazancı) + (Birincil Kaplamada Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ve İkincil Kaplamada Fiber Donatılı Dökme Beton ile %34 Oranında Süre Kazancı)	Kalan Tüneller (Birincil Kaplamada Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ve İkincil Kaplamada Fiber takviyeli Dökme Beton ile %34 Oranında Süre Kazancı)		
	2,0	11,2	12,2	44,4

Ancak proje süresi 47 aya (6 ay mobilizasyon, TBM portal desteği ve montajı + 19 ay 4 adet TBM ile yapılan tünel kazıları + 3 ay bağlantı tünelleri + 19 ay elektromekanik çalışmalar) kadar inmekte, daha fazla düşmemektedir. Çünkü kritik aktivite artık TBM

ile yapılan tünellerin süresi olmaktadır. Projenin bu durumundaki süre kazancı %22 'de kalmaktadır.

Tablo 18. TBM ile yapılan bölümlerin kritik aktivite durumuna gelmesi ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon + TBM Portal Desteği + Tbm Montajı	TBM Tünel Kazıları (4 Adet TBM)	Bağlantı Tünelleri	Elektromekanik İşler	Toplam
6,0	19,0	3,0	19,0	47,0

Yine aynı çalışmada değerlendirilmesi yapılmış olan birincil ve ikincil kaplamanın çelik lifli püskürtme beton uygulamasının sürekli boru kemer yöntemi ile beraber uygulanması durumunda 39 ay olan süre 17,9 aya inmektedir. Ancak, 4 TBM ile yapılacak tünel imalatları asgari 28 ayda tamamlanabildiğinden (Namlı, 2021) TBM ile yapılan tüneller kritik aktivite haline gelmektedir. Bu sebeple, projenin tamamı 60 ay yerine (28 ay 4 adet TBM ile tünel delme süresi + 19 ay tünel sonrası yapılan elektromekanik işler) 47 ayda tamamlanabilmektedir. Proje süresi de 60 aydan 47 aya düşebilmektedir. Projenin bu durumundaki süre kazancı da %22 'de kalmaktadır.

Tablo 19. SBK yöntemi + tüm kaplamalarda fiber takviyeli püskürtme beton ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon	İstasyon Tünelleri (%53 Peron + %47 Diğer Tüneller)	Kalan Tüneller (Tüm Kaplamalarda Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ile %49 Oranında Süre Kazancı)	Elektromekanik İşler	Toplam (TBM ile Yapılan Bölümler Sebebiyle Uygulanamaz)
	Peron Tünelleri SBK Yöntemi + NATM %18 Oranında Süre Kazancı) + (Tüm Kaplamada Fiber Takviyeli Püskürtme Beton ile %49 Oranında Süre Kazancı)			
2,0	8,6	9,3	19,0	38,9

Birincil ve ikincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme beton uygulaması ile sürekli boru kemer yöntemi uygulamasının bir arada kullanılması sonucunda ortaya çıkan bir sonuç proje süresinin 47 aydan daha aşağıya inmediğidir. Bunun sebebi projenin tamamlanma süresine etki eden kritik aktivite olan NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama aktivitesinin artık kritik aktivite olmaması yani istasyon yapımlarının

artık proje süresini doğrudan etkileyen bir aktivite olmamasıdır. Kritik aktivite artık TBM ile yapılmakta olan ana hat tünellerinin inşasına geçmiştir ve bu aktivitenin hızlanmasının yolu proje kapsamında kullanılan TBM sayısının arttırılmasıdır. Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy Metro projesinde TBM ile açılan toplam tünel uzunluğu 26626 metredir ve SBK yöntemi + NATM ile yapılan tünellerin inşası sırasında birinci ve nihai (ikinci) kaplamada fiber takviyeli beton kullanılması durumunda 19,9 ayda (2 ay mobilizasyon + 17,9 ay NATM + SBK ile yapılan tüneller) tamamlanmaktadır. TBM ‘in işe başlaması için gereken 6 aylık süre ve bağlantı tünelleri için gerekli olan 3 ay dışında NATM ‘in TBM ile yapım süresinin eşit yapılması durumunda $19,9 - 9 = 10,9$ ay (327 gün) gerekmektedir. Projede TBM ilerlemesinin bu sürede sağlanabilmesi için $26626 / 327 = 81$ metre günlük ilerleme sağlanmalıdır. TBM’in günlük ilerlemesi 11,5 metredir (Namlı, 2021). Buna göre proje kapsamında kullanılan 4 TBM yerine 7 TBM kullanılması durumunda günlük kazı miktarı 81 metre olacaktır. TBM çalışması da 10,9 ayda tamamlanabilecektir. TBM sayısının 4 adet yerine 7 adete çıkarılması durumu projenin de toplam süresini 60 ay yerine 38,9 ayda tamamlanmasını sağlayacak (19,9 ay 7 adet TBM ile tünel delme süresi + 19 ay tünel sonrası yapılan elektromekanik işler süresi), yani %35 oranında süre kazandırabilecektir. Bu sayede projenin başlangıçtaki hedefi olan 42 aylık süre içerisinde bitirilme planına uyulması sağlanabilecektir. İncelenmesi için; projenin uygulanan durumundan başlayarak TBM sayısının 7 ‘ye çıkarılması durumuna kadar değerlendirilmesi yapılan iş programları sırasıyla Şekil 48, Şekil 49, Şekil 50, Şekil 51, Şekil 52 ve Şekil 53 ‘te gösterilmiştir.

Tablo 20. 7 TBM kullanılması ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon + TBM Portal Desteği + TBM Montajı	TBM Tünel Kazıları (7 Adet TBM)	Bağlantı Tünelleri	Elektromekanik İşler	Toplam
6,0	10,9	3,0	19,0	38,9

Ayrıca yapılan çalışmalarda görülmüştür ki sürekli boru kemer yöntemi UAM yöntemine alternatif olarak uygulanmış olup, NATM yapılabilecek bölümlerde de kullanılması halinde projenin tamamlanmasına avantaj yerine dezavantaj getirerek proje için ekstra süre ve maliyete sebep olacağı görülmüştür. Çünkü Çakmak İstasyonu

peronunda %34 oranında UAM (86,56 metre) geri kalan %66 'lık bölümde NATM yöntemi (169,43 metre) kullanılmıştır. Eğer, projenin tamamındaki peronların Çakmak İstasyonu peronu yapımı sırasında uygulanan gibi olduğu kabul edilecek olursa tüm NATM metodu dahilinde yapılan bölümler umbrella arch yöntemi ile yapılanların 1,96 katıdır. Bu yerlerin UAM yöntemi gerçekleştirilmesi durumunda ortaya çıkacak süre 60,9 olacaktır (NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama süresi olan 39 ayın %53 'ü peron inşa süresidir. Bu süre de 20,7 aydır. Bu peron inşa süresinin %34 'ünün UAM olduğu Çakmak İstasyon peronundan bilinmektedir. %100 'ünün yapılması durumunda $20,7 / 34 \times 100 = 60,9$ ay olmaktadır. Bu süre üzerinden UAM yerine SBK kullanılması durumunda 68,2 ay olarak ortaya çıkan NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama süresi olacaktır. Proje süresi de 60 yerine 89,2 ay (NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama süresi 39 aydan 68,2 aya çıkararak ek olarak 29,2 aya ihtiyaç duyulmuştur. Bu durum da proje süresini aynı süre kadar arttıracaktır.) olacaktır. Bu sebeple UAM gerekli olan bölgelerin tespit edilerek bu bölgelerde sürekli boru kemer yönteminin kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır.

Tablo 21. Peron yapımında tamamen SBK kullanılması ile Üsküdar – Ümraniye - Çekmeköy projesi uygulama süresi (ay)

Mobilizasyon	İstasyon Tünelleri (%53 Peron + %47 Diğer Tüneller)			Elektromekanik İşler	Toplam
	Peron Tünelleri (SBK Yöntemi	Kalan Tüneller			
	%18 Oranında Süre Kazancı)				
2,0	49,9	18,3	19,0	89,2	

Tablo 22. Proje Süresi Mukayesesi (4 Adet TBM İçin)

Yapılan İşler	Uyg.	SBK (%18 Süre Kazancı)	Birincil Kap. Fiber Takviyeli Beton Kullanılması (%24 Süre Kazancı)	Karma Fiber Takviyeli Beton Uygulaması (%34 Süre Kazancı)	Tüm Kap. Fiber Takviyeli Beton Kullanılması (%49 Süre Kazancı)
Mobilizasyon (Ay)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
NATM (Kazı Des., İç Kap.) ve Son Kap. (Ay)					
Peron Tünelleri	20,7	17,0	12,9	11,2	8,6
İstasyondaki Diğer Tüneller	18,3	18,3	14,0	12,2	9,3
Elektromekanik İşler (Ay)	19,0	19,0	19,0	19,0	19,0
Toplam Proje (Ay)	60	56,3	47,9	44,4	38,9

Bu durum TBM ile yapılan tüneller kritik
aktivite olduğu için uygun değildir

Tablo 22 incelenirse proje süresinin SBK yöntemi ve SBK yöntemi ile birlikte kaplamalarda kullanılacak fiber takviyeli betonun durumuna göre değişikliği özetlenmiştir. SBK ve karma fiber takviyeli beton uygulaması ve SBK ve tüm kaplamalarda fiber takviyeli püskürtme beton kullanılması sonucu oluşacak proje süreleri mümkün olmamaktadır. Çünkü, 4 adet TBM ile inşa edilen ana hat tünellerinin tamamlaması ile projesi süresi ancak 47 ay içinde tamamlanacaktır. Projenin başlangıçta 42 ay içerisinde tamamlanmak istendiği bilinmektedir. Amaçlanan 42 aylık sürenin içerisinde kalarak SBK ile tüm kaplamalarda fiber takviyeli püskürtme beton kullanılması ve TBM adedinin 7'ye çıkarılması durumunda 38,9 ayda projenin tamamlanması mümkün hale gelmektedir.

Tablo 23. TBM Adedine Göre Proje Süresi

Yapılan İşler	Uygulanan (4 Adet TBM)	7 Adet TBM Olması
Mobilizasyon + TBM Portal Desteği + TBM Montajı (Ay)	6,0	6,0
TBM Tünel Kazıları (Ay)	19,0	10,9
Bağlantı Tünelleri	3,0	3,0
Elektromekanik İşler (Ay)	19,0	19,0
Toplam Proje (Ay)	47,0	38,9

[illegible]

SBK Yön. + Birincil Kap. (Fiber Tak. Betonlu) İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48		
İş Yeri Teslimi																																																		
Deplase ve Mobilizasyon																																																		
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																																		
Proje Dizaynı																																																		
TBM Montajı																																																		
TBM Çalışması (4 Adet)																																																		
Bağlantı Tünelleri																																																		
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																																		
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																																		
Tünel Elektromekanik İşleri																																																		
Metro Araç Testleri																																																		
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																																		
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																																		
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																																		
Entegrasyon Testleri																																																		
Test Sürüşü																																																		

Şekil 50. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı

SBK Yön. + Kap. Karma Uyg.(Fiber Tak. Bet.)İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
İş Yeri Teslimi																																																
Deplase ve Mobilizasyon																																																
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																																
Proje Dizaynı																																																
TBM Montajı																																																
TBM Çalışması (4 Adet)																																																
Bağlantı Tünelleri																																																
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																																
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																																
Tünel Elektromekanik İşleri																																																
Metro Araç Testleri																																																
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																																
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																																
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																																
Entegrasyon Testleri																																																
Test Sürüşü																																																

Şekil 51. Üsküdar - Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamalarda karma tip uygulamalı fiber takviyeli betonla oluşacak iş programı

SBK Yön. + Tüm Kap. (Fiber Tak. Betonlu) İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47		
İş Yeri Teslimi																																																	
Deplase ve Mobilizasyon																																																	
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																																	
Proje Dizaynı																																																	
TBM Montajı																																																	
TBM Çalışması (4 Adet)																																																	
Bağlantı Tünelleri																																																	
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																																	
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																																	
Tünel Elektromekanik İşleri																																																	
Metro Araç Testleri																																																	
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																																	
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																																	
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																																	
Entegrasyon Testleri																																																	
Test Sürüşü																																																	

Şekil 52. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve kaplamaların tamamında fiber takviyeli püskürtme betonla oluşacak iş programı

SBK Yön. + TBM Sayısının Atması İle Oluşan İş P.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	
İş Yeri Teslimi																																								
Deplase ve Mobilizasyon																																								
TBM Kazı Girişi Portal Desteği																																								
Proje Dizaynı																																								
TBM Montajı																																								
TBM Çalışması (7 Adet)																																								
Bağlantı Tünelleri																																								
Faz Beton, Ray ve Katener Sistem																																								
NATM (Kazı Destek, İç Kaplama) ve Son Kaplama																																								
Tünel Elektromekanik İşleri																																								
Metro Araç Testleri																																								
İstasyon Kazı Destek ve Betonarme																																								
İstasyon Mimari ve Elektromekanik İşleri																																								
Elektromekanik İşler ve Devreye Alma																																								
Entegrasyon Testleri																																								
Test Sürüşü																																								

Şekil 53. Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu sürekli boru kemer yöntemi ve TBM sayısının artışı (4+3 Adet) ile oluşacak iş programı

8. SONUÇLAR

Metro projeleri şehir içinde gerçekleşen, kısa sürede yapımı tamamlanarak işletmeye geçilmesi önem arz eden projelerdir. Bu çalışma kapsamında metro tünellerinde kullanılmakta olan klasik metotlar (konvansiyonel metotlar) yerine alternatif durumlar kullanılmasının proje süresine olan etkisi incelenmiştir. Bu durumun incelenmesinde metro istasyonların inşası göz önüne alınmıştır. Tez çalışması kapsamında ülkemizde inşası tamamlanmış olan bir metro projesinin verileri esas alınmıştır. Ancak bununla birlikte dünyada geçmişten günümüze uygulanan kazı destek yöntemleri araştırılmıştır.

ÜÜÇ Metro projesinin Çakmak İstasyonu inşaatında kullanılan UAM metoduna alternatif bir yöntem olarak önerilen sürekli boru kemer yöntemi ile yapılmasının istasyon yapım süresine etkisi değerlendirilmiştir.

Yapılan incelemeler ve mukayeseler sonucunda ulaşılan sonuçlar şu şekilde ortaya çıkmıştır:

1. ÜÜÇ Projesinin Çakmak İstasyonu peronunda yapılmış olan UAM yöntemi ile bir metrelik ilerleme için 1533,59 dakika gerekiyorken, bunun sürekli boru kemer yöntemi ile yapılması durumunda bir metrelik ilerleme için 1040,63 dakikanın yeterli olduğu ortaya çıkmıştır (Şekil 38). UAM yerine sürekli boru kemer metodu ile açılan tünel imalatlarındaki ilerlemede %32'lik bir süre kazancı olduğu ortaya konulmuştur.
2. SBK yöntemi ile tünel kazı destek sisteminin oluşturulması durumunda kademeli kazıya ihtiyaç kalmadığı ve sürekli boru kemer yönteminde tünel aynasında stabilite sağlanması sebebiyle aynada da zemin çivisi kullanılmasına gerek kalmadığı için uygulamadaki iş kalemi sayısı azalmış ve kolaylaşmıştır. Bu sayede bu yöntemin uygulamada süre kazandıracağı anlaşılmıştır.

İncelenen ÜÜÇ Metro hattı projesinin SBK yöntemi ile yapılması durumunda NATM (Kazı destek, birinci kaplama) ve nihai kaplama iş kaleminin süresini bulmak için öncelikle kritik istasyon olan Çakmak İstasyon peronunun yapımındaki UAM ve NATM yönteminin sıralı uygulanması sonucunda oluşan süre bulunmuş ve UAM yöntemi yerine SBK yöntemi kullanılarak uygulama yapılmasının peron yapımındaki süreyi NATM+UAM 'ye göre %18 oranında azalttığı tespit edilmiştir (Şekil 39). 39 ay süren NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kaleminde istasyon tünelleri içerisindeki peronların yapım oranı tespit edilerek, peron yapım süresi üzerinde SBK yönteminin sağladığı kazanç uygulanmıştır. Bu sayede, NATM (Kazı destek, iç kaplama) son kaplama iş kaleminin 35,3 aya (Tablo 15) düştüğü tespit edilmiştir. Proje de kritik kalemde olan bu süre kazancından etkilenerek 60 ay sürecek proje süresini 55,3 aya (Şekil 49) indirmiş, %6 oranında süre kazancı sağladığı görülmüştür.

3. Sürekli boru kemer uygulamasının fiber takviyeli püskürtme beton gibi yenilikçi yöntemler ile birleştirilmesiyle beraber tünel imalatı sürelerinin daha da kısabileceği görülmüştür. Yapılan başka bir çalışmada, eğer birincil kaplamada fiber takviyeli püskürtme beton kullanılırsa projeyi 39 aydan 29,8 aya düşüreceği yani %24 oranında süre kazandırdığı tespit edilmiştir. Bu çalışma sonucuyla SBK yönteminin peron tüneli inşasında kazandırdığı %18'lik süre katkısı bir arada kullanıldığında NATM (Kazı iç kaplama) ve son kaplama iş kalemini 26,9 aya (Tablo 16) düşürdüğü belirlenmiştir. Proje süresi de bu kritik aktiviteye bağlantılı olarak 60 aydan 47,9 aya (Şekil 50) düşmüştür.

Yine aynı çalışmada bulunan fiber takviyeli püskürtme betonun birincil ve fiber takviyeli dökme betonun ikincil kaplamada kullanılmasının NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kalemini 39 aydan 25,8 aya düşürerek %34 oranında süre kazancı sağladığı görülmüştür. Buradan çıkan değerlendirmeye SBK yönteminden kaynaklanan peron tünellerindeki %18'lik kazancın birlikte uygulanması durumunda NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kaleminin 39 aydan 23,4 aya (Tablo 17) düştüğü belirlenmiştir. Son olarak birincil ve ikincil kaplamada fiber takviyeli

püskürtme beton kullanılmasının NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kalemini 39 aydan 19,4 aya düşürdüğü, %49 oranında süreyi azalttığı değerlendirilmiştir. Bu uygulamadan çıkan zaman katkısı ile SBK yönteminden kaynaklı olan peron tünellerindeki %18 'lik süre katkısının bir arada kullanılması sonucunda NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kalemi 17,9 ayda (Tablo 19) tamamlanacağı anlaşılmıştır. Ancak SBK ve karma fiber takviyeli beton uygulaması ile SBK ve tüm kaplamalarda fiber takviyeli püskürtme beton uygulaması NATM (Kazı destek, iç kaplama) ve son kaplama iş kalemi için farklı oranlarda ve sürelerde zaman kazancı sağlamasına rağmen projenin tamamlanması sağladığı katkı aynı oranda kalmıştır. Çünkü, projenin kritik aktivitesi TBM ile yapılan ana tünellere geçmiş ve proje süresi bu sebeple 60 aydan 47 aya kadar (Şekil 51, Şekil 52) inebilmiştir. Bu sebeple, iki durumdaki proje kazancının da %22 oranında olduğu görülmüştür. Yani; ikincil kaplamada fiber takviyeli betonun uygulama şekli püskürtme ya da kalıbın içine dökme şeklinde olmasının projede başka hiçbir değişiklik olmaması durumunda projenin tamamlanma süresini aynı oranda etkilemektedir. Bu sebeple ikincil kaplamada fiber takviyeli betonun kullanım şeklini belirlerken uygulama kolaylığı, ekipman durumu vb. faktörlere bakılarak karar verilebileceği anlaşılmaktadır.

4. Bir metro projesinde tüm tünel inşaatının tamamlanması hem tünel makinesi ile yapılan hem de konvansiyonel tünel açma yöntemi ile yapılan tünellerin tamamlanmasına bağlıdır. Bu sebeple projenin başında tünel imalatlarını tamamlanması için gerekli TBM sayısının belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Bu çalışmada SBK yöntemi ile tüm kaplamalarda fiber takviyeli püskürtme beton uygulamasının bir arada kullanılması durumunda projenin kritik aktivitesinin TBM ile ana hat tünelleri yapımına geçmesi sebebiyle kullanılan 4 adet TBM sayısının arttırılmasının proje üzerine olan katkısı incelenmiş ve sayısının 7 'ye çıkarılmasının ana hat tüneli yapımını 10,9 aya (Tablo 20) düşüreceği görülmüştür. Bu sayede tüm projenin başlangıçta planlanan 42 aylık sürenin altında 38,9 ay içerisinde bitirilebileceği tespit edilmiştir (Şekil 53). Projenin gerçekte tamamlanan 60 aylık süreye göre %35 oranında zaman tasarrufu ile tamamlanabileceği görülmüştür.

Sonuç olarak, uygulanacak olan tünel kazı destek yöntemi, metro inşaatı projelerinde gerekli ekipman ve işçiliğin sağlanması durumunda işin süresini etkilemektedir. SBK yöntemi kazı destek sistemi olarak UAM yerine kullanılması durumunda tünel projelerinde büyük süre avantajı kazandıracadı tespit edilmiştir.

9. ÖNERİLER

Yapılan çalışmada Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu ’nun Çakmak İstasyonu yapım süreleri ve uygulanma durumları esas alınarak mukayese yapılmış olup, ortaya çıkan sonuçlar bu kapsamda değerlendirilmiştir. Alternatif bir yöntem olarak ortaya konan sürekli boru kemer yöntemi, diğer konvansiyonel yöntemlerle değerlendirerek sonuçları açıklanmıştır. Yapılan çalışmada bu yöntemle ilgili devamında yapılabilecek öneriler şu şekilde ortaya çıkmıştır;

1. SBK yönteminin zamansal analizi yapılarak bu yöntemin UAM yöntemi ile zaman mukayesesi yapılmıştır. Yöntemleri birbiri ile kıyaslarken de kullanılan boru çapları iki yöntemde de aynı çapta seçilmiştir. Ancak sürekli boru kemer yönteminde farklı çapta boruların da kullanılabileceği bilinmektedir. Değişik çaptaki borularla sürekli boru kemer yöntemi uygulamasının gerçekleştirilmesinin uygulama süresi üzerinde oluşturacağı farklılık değerlendirilmelidir.
2. Sürekli boru kemer yöntemi ile tünel inşasında UAM ile aynı boru çapı kullanılmış, bu konudaki dayanım umbrella arch yöntemi uygulamasındaki işlem adımları esas alınarak değerlendirilmiştir. Sürekli boru kemer yönteminde farklı boru çapları kullanıldığında oluşturacağı zemin stabilitesi incelenmemiştir. Bu konuda, farklı çaplarda boru delgileri kullanılmasının tünelin statğine olan etkisi sonlu elemanlar vb. metotlarla incelenmeli ve tünel kazı destek adımları üzerinde oluşturacağı etki değerlendirmelidir.
3. Projedeki SBK yöntemi değerlendirmesi Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu’ndaki peron yapımlarında kullanılan UAM yönteminin uzunluğuna ve oranına göre yapılmıştır. Farklı metro projelerinde zemin koşullarına göre UAM yöntemi gereken yerler değişiklik gösterebilecektir. Bu sebeple, projenin

başlangıç planında UAM yöntemi gerektirecek zemin koşulları tespit edilmeli, bu yöntem yerine uygulanacak olan SBK yönteminin sağlayacağı zaman kazancına göre istasyon tünellerinin tamamlanabileceği süre hesaplanmalıdır. Bu hesaba bağlı olarak belirlenen istasyonların tamamlanma süresi ile TBM ile yapılması planlanan tünellerin tamamlanma süresinin aynı zamanda sona ermesini sağlayacak kadar TBM sayısının proje başlamadan belirlenmesi ve geç kalınmadan tedarik edilmesi gerekmektedir.

4. SBK metodunun ortaya çıkış tarihi diğer konvansiyonel metotlara (NATM, UAM) göre daha sonra olup bu metodun günümüzde de gelişme süreci devam etmektedir. SBK metodunun daha çok ve çeşitli projelerde uygulanmasıyla yöntemin uygulama sürecinde yaşanabilecek zorluklar görülüp bu konularda gerekli iyileştirmeler gerçekleştirilecektir. Bununla birlikte, bu yöntemin yaygınlaşması ile çeşitli firmalar tarafından bu metodun kullanımı için ekipman üretimi ve sahada uygulaması hususunda pazar rekabeti ortaya çıkacağı, bu sayede yöntemin uygulama ve yatırım maliyetlerinin düşeceği öngörülmektedir. Ayrıca, SBK yönteminin daha çok projede kullanılması sonucunda; bu yöntemi uygulayan ekiplerin tecrübesi artarak daha hızlı, daha verimli şekilde bu metodun uygulanması konusunda kolaylık sağlanabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Ant Tünel. (2017). *Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Metro Tünel İnşaatı*. Ant Tünel Web Sitesi: <https://anttunnel.com.tr/uskudar-umraniye-cekmekoy-metro-tunnel-insaati/> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].
- Anzeve. (2020). *Water-powered Drilling In Tunneling*. Anzeve Web Sitesi: https://www.anzeve.com/wp-content/uploads/2020/02/Wassara_Tunneling.pdf sitesinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].
- Araz, İ. (2019). Metro Projelerindeki Tünellerde İkinci Kaplama Betonu Olarak Donatılı Püskürtme Beton Kullanımının Proje Maliyetine ve Süresine Etkilerinin Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Medeniyet Üniversitesi.
- Avci, G. P., & Keleş, D. (2017). *Tünellerde Kazi Destekleme İmalatları*. Baki Acil: <https://bakiacil.com/tunnel-destekleme-imalatlari.html> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Bagherzadeh, P., Goshtasbi, K., Kashef, M. (2020). *Umbrella Arch Method Performance, Structural Behavior And Design Elements Utilizing In Collapsing Zones*. SpringerLink Web Sitesi: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-020-09266-y> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 05.07.2021].
- Civilyard. (2020). *What is tunnel forepoling purpose and methods*. Civilyard: <https://civilyard.com/what-is-tunnel-forepoling-purpose-and-methods/> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].

- Coşkun, O. & Ekmekçi, İ. (2011). *Bir İnşaat Projesinin Evreleri İle Zaman Ve Maliyet Analizinin Proje Yönetim Teknikleri Vastasıyla İncelenmesi*. Dergipark Akademik Web Sitesi: <https://dergipark.org.tr/tr/pub/ticaretfbid/issue/21360/229122> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 20.01.2022].
- Çeçen, E. E., & İncecik, E. (2008). Metro Tünellerinde Uygulanan Şemsiye-kemer Yönteminin Sayısal Analizi. *İtüdergisi*, 1(4), 72-82.
- Çeçen, Ö. (2007). İstanbul Metrosu Koska Tünelleri Yüzey Deformasyon Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Çelik, N. U., & Türkmen, S. (2015). Şemsiye Kemer Yönteminin Ramdane Tünelinde Uygulanması. *Ulusal Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu* (s. 1-9). Trabzon: MÜHJEO.
- Çoruh, E., Köksal, A. O., Kaplan, C., & Demirci, M. (2017). *Kop Tüneli yapım çalışmaları ve metodolojisi*. Dergipark Akademik Web Sitesi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/384775> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Demirbağ, F. (2008). İnşaat Mühendisliğinde İş Yönetimi Uygulamalarının Bilgisayar Destekli Programlar Yardımıyla Analizi. *Yüksek Lisans Tezi*. Elazığ: Fırat Üniversitesi
- Drinoneq. (t.y.). *DTH Delme – Verimlilik Ve Esneklik*. Drinoneq Web Sitesi: <https://driconeq.com/drilling-methods/dth-drilling/> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Ece, E., ve Kovancı, A. (2004). Proje Yönetimi ve İnsan Kaynakları İlişkisi. *Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi*, 1(4), 75-85.
- Ediz Roma. (2014). *İstanbul'un İlk Metrosu (Galata - Pera Tüneli)*. 2021 tarihinde Ediz Roma Web Sitesi: <http://edizroma.blogspot.com/2014/10/istanbulun-ilk-metrosu-galata-pera.html> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].

- Emiroğlu, A. (2010). İstanbul (4. Levent-Hacıosman Arası) Metro Tünelindeki Mühendislik Uygulamaları. *Yüksek Lisans Tezi*. Adana: Çukurova Üniversitesi.
- Emlakta Son Dakika. (2017). *Kabataş-Üsküdar Yaya Tüneli Böyle Olacak!* 2021 tarihinde Emlakta Son Dakika Web Sitesi: <https://www.emlaktasondakika.com/guncel/kabatas-uskudar-yaya-tuneli-boyle-olacak-122032.html> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Eren, M. (2014). İki Farklı Yöntemle (NATM-TBM) İle Açılan Bir Tünelde Düşey Deformasyon/Deplasman'ların Belirlenmesi: M5 Metro Örneği. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi.
- Eyigün, Y. (2018). İstanbul-Kadıköy'De Karayolu Altından Geçen Çok Sığ Bir Tünel İçin Özel Bir Metod. *Uygulamalı Yerbilimleri Dergisi*, 17(1), 55-67.
- GeoteknikRapor. (2012). *Geoteknik Rapor*. İstanbul: Doğuş İnşaat A.Ş.
- Gezer. (2015). *Altyapı Tüneli Yeni Yerleşim Bölgesinde Boru Ve Kabloları Koruyor*. Gezer Web Sitesi: <https://www.gezerplastik.com.tr/galeriler/galeriler-1> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- HS2. (2017). *The HS2 Tunnel Boring Machines (TBMs)*. <https://www.hs2.org.uk/building-hs2/tunnels/the-hs2-tunnel-boring-machines/> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].
- İstanbul Elektrik Tramvay ve Tünel. (2021). *Dünyanın İlk Yeraltı Metrosu Tünel 140 Yaşında!*. İstanbul Büyükşehir Belediyesi: <https://tunel.iett.istanbul/tr/main/news/dunyanin-ilk-yeralti-metrosu-tunel-140-yasind/1745> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Johansson, P. (2014). *Straight Forward Drilling*. Ordem Dos Engenheiros Web Sitesi: <https://www.ordemengenhheiros.pt/fotos/editor2/lkabwassarapresentation.pdf> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Kayaoğlu, E., Candaş, A., Kocabal, Z., & İmrak, E. (2014). İstanbul'un Tarihi Füniküleri "Tünel". *Asansör Sempozyumu*, (s. 297-306). İzmir.

- Kır, E. (2007). Yazılım Sektöründe Proje Yönetimi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Kadir Has Üniversitesi.
- Kocaeli Büyükşehir Belediyesi. (2017). *Darıca Sahil Kanalizasyon Tüneli'inde 2 Km'ye Ulaşıldı*. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı: <https://www.kocaeli.bel.tr/tr/main/news/haberler/3/darica-sahil-kanalizasyon-tuneliinde-2-kmye-u/30123> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Kömürlü, E., & Kesimal, A. (2013). Geçmişten Günümüze Tünelcilik ve Tahkimat Malzemeleri. *Madencilik*, s. 33-47.
- Kun, M. (2010). Zayıf Kayalarda ve Faylı Zonlarda Tünel Açma Tasarım ve Yapım Gereksinimlerinin Araştırılması ve Çözümlemesi. *Doktora Tezi*. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi.
- Namlı, M. (2021). *Evaluation Of The Effect Of Using Fiber Reinforcement In Tunnel Linings For Metro Projects*. Science Direct Web Sitesi: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2467967421000714?via%3Dihub#t0075> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 20.10.2021].
- Ocak, İ., & Möröy, K. (2006). İstanbul Metrosu 2. Aşama Kazılarında Yüzey Oturmalarının Koruyucu Kemer Yöntemi İle Kontrolü . *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, Sayı: 12, s.79-94.
- Özdemir, O. (2006). Eğimli Yüzeylerde Zemin Çivisi Uygulamasıyla İlgili Bir İnceleme. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Özkan, İ. (2019). Kınık-Elmadere Linyit Projesi Kapsamında Havalandırma Ve Servis Kuyusu Açma Çalışmalarının Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi.
- Öztürk, H. T., & Durmuş, A. (2008). Tünellere Toplu Bir Bakış ve Savunma Tünellerinin Türkiye İçin Önemi. *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Bülten Aylık*, s. 11-17.
- Polat, D. (2010). NATM Metodu Kullanılarak Tünel Tasarımı Ve Modellenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

- Prime Horizontal. (2007). *Freeze Drilling Keeps Hallandsås On Track*. Hallandsås on track: <http://primehorizontal.com/wp-content/uploads/2014/01/TunnelingWorldHallandsas2.pdf> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].
- Prota Mühendislik. (t.y.). *Üsküdar - Çekmeköy Metrosu, Avrupa Birincisi Seçildi*. Prota Mühendislik Web Sitesi: <http://www.protamuhendislik.com.tr/TR/haberler/uskudar-cekmekoy-metrosu-avrupa-birincisi-secildi> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].
- Ray Haber. (2018). *Demiryolu Kar Tüneli İnşaatında Çalışan İşçi Tren Altında Kaldı*. 2021 tarihinde Ray Haber Web Sitesi: <https://rayhaber.com/2018/11/demiryolu-kar-tuneli-insaatinda-calisan-isci-tren-altinda-kaldi/> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].
- Satıcı, Ö., & Topal, T. (2015). Tünel Açma Yöntemlerinin Mühendislik Jeolojisi ve Kaya Sınıflama Sistemleri ile Değerlendirilmesi. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, s. 45-58.
- Selçuk, E. (2016). Tünelcilikte NATM Ve Boru Kemer Yönteminin, Zaman, Maliyet ve Deformasyon Açısından Karşılaştırılması. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi.
- Suçin, A. (2019). Siirt-Madenköy Maden Sahasında Açılan Üretim Kuyusunun Teknik Açidan Değerlendirilmesi. *Yüksek Lisans Tezi*. Batman: Batman Üniversitesi.
- Sönmez, E. (2007). Neden Proje Yönetimi. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.
- Tumaç, D., & Gümüş, B. Ş. (2015). *Üsküdar-Ümraniye-Çekmeköy Metro Tünelinde Kullanılan Pasa Basınçlı Tünel Açma Makinesinin (EPB-TBM) Performans Analizi*. Dergipark Akademik Web Sitesi: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/215609> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].

Tunç, H. (2007). Yeraltı Metro İstasyonlarında Algısal Faktörlerin İncelenmesi: Taksim Metro İstasyonu. *Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.

Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Sancaktepe Metrosu. (t.y.). *Yapım Tekniği*. Üsküdar Ümraniye Çekmeköy Sancaktepe Metrosu Web Sitesi: <http://www.uskudarumraniyecekmekeymetrosu.com/teknik-bilgiler/yapim/yapim-natm-teknigi-tunel.aspx> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 03.07.2021].

Yertaş. (2021). *Baraj Ve Tünelleri*. Yertaş Web Sitesi: <http://www.yertas.com.tr/enerji-insaat> adresinden alındı [Erişim Tarihi: 01.10.2021].

Yoluk, M. Ş. (2020). İzmir Göztepe Metro İstasyonu Bölgesindeki Fay Zonundan Geçen Ve Yeni Avustralya Tünel Açma Yöntemi Kullanılarak Açılan Tünelin Radye Temel Performansına Etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*. Şanlıurfa: Harran Üniversitesi.

EKLER

Ek-1: Üsküdar – Ümraniye – Çekmeköy Metrosu İnşaatında Kullanılan TBM İle İlgili Detay Bilgiler

Projede, Kadıköy-Kartal metrosunda kullanılan Alman menşeli Herrenknecht marka EPB-TBM'ler kullanılmaktadır. Bu TBM'ler çalışma esnasında yer altı sularının yarattığı basınç durumuna göre kazılan noktalara hava ve zemin basıncı vererek hem içeriye su gelmemesini sağlayan, hem de boşalan toprağın yerine su dolmasıyla zeminde muhtemel çökme olaylarına fırsat vermemek için tasarlanmış hidrolik mekanizmalar ile çalışan bir makineler grubudur. Sistemin içine delme, kazı toprağının atılması, tünel iç kaplamasının montajı, enjeksiyon ve yönlendirme gibi tünel yapım işlemleri için gerekli ekipmanlar entegre edilmiştir. TBM'ler üç ana bölümden oluşmaktadır bunlar; ön kısım ve kesme kafası, kumanda odası ve segment montaj bölümü (orta kısım), kuyruk bölümü ve gantri (arka kısım). Asıl delme işlemi kalkan ve kesme kafasının bulunduğu ön kısımda gerçekleşir. Kesme kafası dönerek hareket eder ve üzerindeki kesicilerle iri parçalar halinde zemini kazarak tüneli açar. Basınç durumuna göre hava verilir ve zeminin olası çökmesi önlenir. Kazı malzemesi helozonik konveyör ile arka taraftaki taşıma bandına aktarılır ve buradan da kazı vagonlarına yüklenerek tünel dışına alınır. Operatörün kullanacağı kumandalar ve monitör sistemi TBM'in orta kısmında yer alır. Operatör, makine kesme kafasında bulunan deliklerden içeriye akan kazı malzemesini direkt olarak görür ve bir segment genişliği kadar kazı işlemi yapıldıktan sonra segment ring montajını tamamlar. Kazıcı bölümün arkasında çeşitli ilave sistemler mevcuttur. Bunlar; segment erektör ve segment indirme vinci, gerekli sistemlerin monte edildiği şasi (gantri), delme bölümü ile tünel konveyörü arasında görev yapan ve TBM'i takip eden taşıma bantları, delme bölümü ile tünel dışındaki muhtelif malzemenin stok sahası ile pasa döküm sahası arasında görev yapan ve segment, kazı malzemesi, enjeksiyon harcı ile dizel

lokomotiftten meydana gelen katar, ana güç kaynağı olarak bir trafo ve tünel havalandırma sistemleri olarak sıralanabilir. Tünel girişinde ise konveyör bant sistemi, enjeksiyon karışım santrali, enjeksiyon ara karıştırıcısı, havalandırma fanları, kule vinç ve segment stokları bulunmaktadır.

**EK-2. Üsküdar – Ümraniye- Çekmeköy Metrosu İçin Tünel
Kaplamlarında Fiber Donatı Kullanımının Etkisinin
Değerlendirilmesi (Namlı, 2021)**

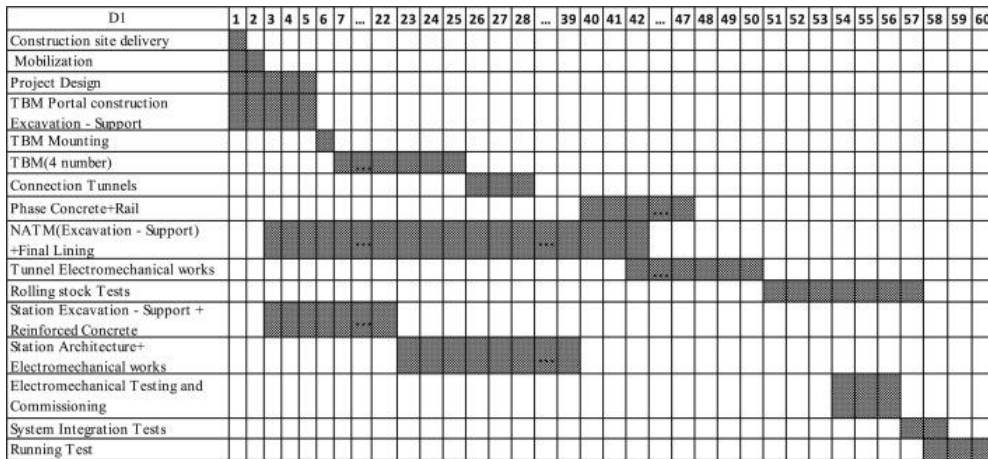
Metro (metro), kentsel alanlarda yüksek kapasiteli gelişmiş bir toplu taşıma altyapı sistemidir. Yeraltı tünelleri sayesinde bir metronun trafik işleyişi diğer araç trafiğinden etkilenmez. Bu faydaları ile bu çalışmanın odak noktası olan İstanbul gibi kentleşmiş şehirlerdeki trafik sorununun çözümünde metro hatları tercih edilmektedir. Metro projeleri inşa edilmek için çok büyük bütçeler gerektiriyor. Bu projelerin hedeflenen sürede hizmete alınması büyük önem taşımaktadır. Bu araştırmada, metro projelerinin birincil (ilk) tünel kaplamaları ve ikincil (nihai) tünel kaplamalarının yapımında fiber donatı kullanımı proje süresi açısından analiz edilmektedir. İki demiryolu tüneli projesinin karşılaştırılmasından sonra, tamamlanmış bir metro projesinin değerlendirmeleri ve gözlemleri, tünellerin ana kaplaması veya son kaplaması için fiber donatı kullanılmasının metro istasyonu tünellerinin yapım süresini %25 oranında azalttığını ortaya koydu. Buna ek olarak, tünellerin hem son kaplamasının hem de ana kaplamasının yapımında fiber donatı kullanılması, metro istasyonu tünellerinin ve tüm metro projesinin yapım süresini sırasıyla %47 ve %22 oranında azaltmaktadır. Bu çalışmanın sonuçları, zorlu metro projelerinin tamamlanması ve hedeflenen sürede hizmete açılması için faydalı olabilir.

Genel olarak herhangi bir metro projesindeki işler, inşaat işleri ve elektromekanik işler olarak iki ana kısma ayrılır. Tünel inşaatları tamamlanmadan elektromekanik çalışmalara başlanamayacağından, metronun planlanan sürede hizmete açılması için inşaat işlerinin süresi çok önemlidir. Aslında bir metro tüneli projesi iki ana tünel kategorisinden oluşur; tünel açma makineleri (TBM'ler) tarafından açılan ve TBM'ler tarafından açılmayan tüneller. TBM'ler ile inşa edilen ana hat tünelleri ve ana hat tüneli kesitinden farklı boyutlardaki platform (metro istasyonu), makas, merdiven tünelleri gibi diğer tüneller TBM'ler tarafından açılmaz, çünkü bu tüneller farklı kesitlere sahiptir. Bu tüneller Yeni Avusturya Tünel Açma Metodu (NATM) olarak adlandırılan klasik tünel açma yöntemi ile inşa edilmektedir. Bu yöntemde bir tünel açılır ve daha sonra açılan yüzeye püskürtme beton uygulanır; daha sonra hasır donatı yerleştirilir ve daha sonra hasır donatının üzerini örtmek için başka bir püskürtme beton uygulanır.

Bu işlem birincil tünel kaplaması olarak bilinir. Bu ilk işlem tamamlandıktan sonra, ana donatı yerleştirmeden önce su yalıtımını sağlayacak bir malzeme yerleştirilir; tünel inşaatını sonlandırmak için, ana donatıyı kaplayacak şekilde hareketli kalıplara beton dökülür. Bu işlem ikincil (nihai) tünel kaplaması olarak bilinir.

Günümüzde TBM'lerin yaygın kullanımı sayesinde tüneller daha kısa sürede inşa edilebilmektedir. TBM'lerin performansını tahmin etmek için İstanbul bölgesindeki jeolojik oluşumlar için bir başlangıç ilerleme tahmin modeli geliştirmiştir. Bu model sayesinde jeolojik oluşumların tipine bağlı olarak TBM'ler kullanılarak bir tünel inşa etmenin ne kadar süreceğini tahmin etmek mümkündür (Namlı ve Bilgin, 2017).

Bu çalışmanın amacı, tünel kaplamalarında fiber donatı kullanarak toplam metro inşaat proje süresini minimize etmektir. Bu çalışmanın araştırma bileşeni, bir metro projesini hedeflenen sürede tamamlayabilmek için gerekli tünel kaplama yapım yönteminin ve yeterli sayıda tünel açma makinesinin (TBM) araştırılmasıdır. Metro projesinin hedeflenen bitiş süresi 42 ay ve toplam bütçesi 563 milyon avro. Ana kısıtlamalardan biri, mevcut sözleşmeye göre en az 4 olması gereken TBM sayısıdır. Diğer kısıt ise çeşitli kesitler nedeniyle TBM'ler tarafından kazılamayan NATM tarafından yapılması gereken tünellerin uzunluğudur. Diğer bir kısıt ise tünel elektromekanik işlerinin başlamasının tüm tünellerin inşaatının tamamlanmasını gerektirmesidir. Bu bağlamda yapılan bu çalışmada, tünel kaplamalarında tel örgü veya ana donatı yerine fiber donatı kullanımı ile sağlanabilecek inşaat süresindeki azalma analiz edilmiştir.



Şekil 1. D1 için UUCM Projesi'ndeki fiili iş bitirme süreleri (Pakiş, 2017).

edilen tünellerin yapımı olduğu ve projenin gerçekleşen toplam tamamlanma süresinin 60 ay olduğu görülmektedir. Şekil 2 'de (D4) görülmektedir ki, fiber takviyeli püskürtme beton ile birincil tünel kaplaması yapılarak projenin toplam tamamlanma süresi 51 aya düşmektedir.

Şekil 3 (D5) 'te NATM ile açılan tünellerin 27,8 ayda tamamlanabilmesine rağmen, fiber takviyeli püskürtme beton ile birincil tünel kaplaması ve fiber katkılı beton dökülerek ikincil (nihai) tünel inşa edilerek, projenin toplam tamamlanma süresi 47 aya kadar düşürülebilir.

Şekil 4 (D6) 'te, fiber takviyeli püskürtme beton ile hem birincil hem de ikincil (nihai) tünel kaplamaları yapılarak, NATM ile açılan tüneller 21,8 ayda tamamlanabilmesine rağmen, projenin toplam tamamlanma süresi en az 47 aya kadar düşürülmektedir. TBM'lerle yapılan tüneller için gereken sürenin 28 ay olması nedeniyle TBM'lerle yapılan tüneller de daha kritik hale gelmektedir.

NATM tünellerinin tamamlanmasıyla aynı zaman çerçevesinde TBM tünellerini tamamlamak için gerekli sayıda TBM'yi bulmak için bir geri analiz yapılmalıdır. Toplam TBM tünellerinin uzunluğu 26.626m'dir. TBM'lerin mobilizasyonunun 6 ay sürmesi ve her 255 metrede bir yapılacak erişim tünellerinin yaklaşık 3 ayda tamamlanması dışında, TBM tünellerinin kazı süresi $21,8 - 9 = 12,8$ ay yani 384 gün olması gerektiği görülmektedir. TBM tünellerini 12,8 ay içinde tamamlamak için en az gerekli toplam TBM günlük ortalama ilerleme $26.626/384 = 69\text{m/d}$ olmalıdır. Namli ve Bilgin'e (2017) göre, UUCM projesinde kullanılan bir TBM'nin gerçek günlük ortalama ilerlemesi 11,5m'dir. Dolayısıyla toplam TBM tünellerini 12,8 ayda tamamlamak için gereken TBM sayısı $69/11,5 = 6$ TBM'dir.

D6	1	2	3	4	5	6	7	...	19	20	21	22	...	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41
Construction site delivery																											
Mobilization																											
Project Design																											
TBM Portal construction																											
Excavation - Support																											
TBM Mounting																											
TBM(6 number)																											
Connection Tunnels																											
Phase Concrete+Rail																											
NATM(Excavation - Support)																											
+Final Lining																											
Tunnel Electromechanical works																											
Rolling stock Tests																											
Station Excavation - Support + Reinforced Concrete																											
Station Architecture+ Electromechanical works																											
Electromechanical Testing and Commissioning																											
System Integration Tests																											
Running Test																											

Şekil 5. 6 TBM için iş bitirme süreleri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLERİ

Adı Soyadı: Kaan ÖNEN

EĞİTİM BİLGİLERİ

Derece	Kurum-Bölüm	Mezuniyet Yılı
Yüksek Lisans	İMU, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Mühendislik Yönetimi Bölümü	Devam ediyor
Lisans	İTÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü	2017
Lise	Yalova Fen Lisesi	2012

İŞ TECRÜBESİ

Tarih	Kurum-Proje	Görev
2018-2021	Yüksel Proje-Kuzey Marmara Otoyolu	Teknik Ofis Mühendisi

YABANCI DİLLER

İleri düzeyde İngilizce,

Başlangıç düzeyde Rusça