

MARMARAY BC1 PROJESİ VE ÖLÇME ÇALIŞMALARI

A. ÜNLÜTEPE

Gama Nurol Ortak Girişimi, Marmaray BC1 Projesi, Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi, Tüneller ve İstasyonlar, Koşuyolu, Üsküdar İstanbul, aunlutepe@gamanurol.com

Özet

Marmaray BC1 Projesi, İstanbul için inşaatı önemle beklenen ve şehrin Asya ile Avrupa yakasında son bulan Devlet Demiryolu (TCDD) hatları ile boğazın heriki yakasındaki şehiriçi raylı ulaşım sistemlerini birbirine bağlayacak olması nedeniyle çok önemli bir proje konumundadır. Bunun yanısıra inşaat şekli açısından ülkemizde daha önce uygulaması bulunmayan bazı yapı tekniklerini içeriyor olması nedeniyle de ayrı bir önemi bulunmaktadır.

Böylesine önemli bir inşaat yapısının kendine özgü uygulama teknikleri olduğu gibi birtakım özel ölçme uygulamalarına da ihtiyaç bulunmaktadır. Bu çalışmada Marmaray BC1 Boğaz geçişi projesi ve inşaat sürecinde gerekli olacak ölçme yöntemlerinin tanıtılması amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler : *Tünel, derin tünel, batırma tüp tünel, tünel ölçmeleri.*

MARMARAY BC1 PROJECT AND SURVEYING WORKS

Abstract

Marmaray BC1 Project is a very important transportation project which connects State Railway lines (TCDD) ending at the European and Asian sides and commuter rails between two sides of the Bosphorus. However, the system includes some special construction applications that have not been experienced in Turkey which makes the project significant.

Marmaray is as an unique construction project that there will be some special surveying procedures for its realization too. This paper is aimed to introduce the Marmaray BC1 project, and surveying works that will be necessary during its construction.

Key Words: *Tunnel, deep tunnel, immersed tube tunnel, tunnel surveys*

1. Giriş

Marmaray Projesi, İstanbul'un Avrupa yakasında Halkalı ve Asya yakasında Gebze bölgeleri arasında kesintisiz olarak modern bir raylı ulaşım sisteminin boğazın iki yakası arasında değişik inşaat yapılarıyla birleştirilmesi şeklinde gerçekleştirilecektir. Proje güzergahı, ülkenin TCDD hatları ile İstanbul metro sisteminin Asya-Avrupa arasındaki bütün raylı bağlantılarını sağlayan tek yapı niteliğinde olacaktır.

Marmaray Projesi, 1985 yılından bu yana genişlemesi devam etmekte olan İstanbul raylı ulaşım ağının Halkalı-Gebze arasında yaklaşık 76 km uzunluğunda olup 37 yerüstü ve 3 yeraltı istasyonu bulunan ana arterlerinden birisini oluşturmaktadır.

İstanbul Boğazı'nın tünelle geçilmesine ilişkin ilk fikirler 1860 yılında boğazın dibine inşa edilecek sütunlar üzerine oturtulacak yüzer bir tünel şeklinde tasarlanmasıyla ortaya çıkmıştır. Bunu takip eden süreçte 1902 yılında boğazın altından demiryolu hatlarının tünelle geçirilmesi konusunda çalışmalardan tekrar söz edilmiştir. Projenin bu haliyle gerçekleştirilmesi için ilk fizibilite etüdü ise 1985 yılında yapılarak 1999 yılında Türkiye Cumhuriyeti ve Japon Uluslararası İşbirliği Bankası (JBIC) arasında finansman anlaşması gerçekleştirilmiş ve 2002 yılında da İşveren Temsilcisi grup Avrasyaconsult çalışmalara başlamıştır. (www.marmaray.com.tr)

Projenin İşvereni olarak Ulaştırma Bakanlığı, Demiryolları Limanlar ve Hava Meydanları İnşaatı Genel Müdürlüğü (DLH) proje yönetimini yürütmektedir.

Avrasyaconsult, aşağıda belirtilen Japon ve Türk ortaklardan oluşan bir konsorsiyumdur:

Pacific Consultants International (PCI), Yüksel Proje Uluslararası A.Ş., Oriental Consultants, JARTS.

Bu ortaklık aşağıda belirtilen gruplarla işbirliği içerisinde çalışmaktadır:

Parsons Brinckerhoff International, Inc. (PBI), Terzibaşoğlu Müşavir Mühendislik Ltd. Şti. (TMM), Yerbilimleri Etüd ve Müşavirlik Ltd. Şti (SIAL).

Sözleşme BC1, Gebze'den Halkalı'ya uzanan Marmaray Projesi'nin 13,6 kmlik kısmını oluşturmakta olup, Yenikapı'da İstanbul Metrosu ile Yenikapı-Ayazağa hattına, Yenikapı-Havaalanı, Yenikapı-Mahmutbey Hafif Raylı Sistemlerine, Üsküdar'da Ümraniye-Üsküdar ve Ayrılıkçeşme'de de Kadıköy-Kartal Hafif Raylı Sistemlerine entegre olacak şekilde tasarlanmıştır. Projenin Marmaray BC1 (Boğaz Tüp Geçişi, Tünel ve İstasyonlar) olarak da adlandırılan Kazlıçeşme-Ayrılıkçeşme arasındaki 1.etap inşaat yapılarının boğaz geçişi ile beraber yapımı için müteahhit konsorsiyum TKGJ JV ile Mayıs 2004 tarihinde sözleşme imzalanmıştır.

TKGJ JV, aşağıda belirtilen Japon ve Türk ortaklardan oluşan bir konsorsiyumdur:

Taisei Corporation, Kumagai Gumi Co. Ltd, Gama Endüstri Tesisleri İmalat ve Montaj A.Ş, Nurol İnşaat ve Ticaret A.Ş.

Marmaray projesine ilişkin bazı teknik bilgiler aşağıdaki gibidir.

Toplam güzergah uzunluğu	: 76.3 km
Hemzemin hatların uzunluğu	: 63 km
Avrupa yakasında güzergah uzunluğu	: 19.3 km
Asya yakasında güzergah uzunluğu	: 43.4
Aç-kapa tünel uzunluğu	: 2.4 km
İstasyon sayısı	: 40
Yeraltı istasyonları sayısı	: 3

Marmaray Projesi sözleşme BC1 için bazı teknik bilgiler aşağıdaki gibidir.

Batırma Tüp Tünel	: 1.4 km
TBM Tünel	: 9.8 km ikiz TBM tünel (Toplam 19.6 km)
Aç-kapa ve açık kazı	: 2.4 km

Batırma tütünün maksimum derinliđi : 58 m

2. Marmaray BC1 Güzergahı ve İnşaat Yapıları

Marmaray BC1 hattı Kazlıçeşmede TCDD istasyonu civarında başlayıp Aksaray-Sirkeci ekseninde devam ederek boğazın Anadolu yakasında Üsküdar üzerinden geçerek Ayrılıkçeşme civarında son bulmaktadır. Güzergah Kazlıçeşme civarında bir hemzemin istasyon yapısıyla başlayarak Yedikule bölgesine kadar hemzemin, köprü ve U tipi inşaat yapılarıyla devam etmektedir. Yedikule istasyonu civarında birbirine paralel “tünel delme makinası” (TBM) ile açılacak olan paralel-ikiz, prefabrik betonarme segmentli tünel inşaat yapıları başlamaktadır. TBM segmentli tünelleri Yedikule bölgesinde başlayıp Yenikapı aç-kapa yapısına kadar devam etmektedir. Yenikapı aç-kapa yapısı yaklaşık 700 m uzunluğunda ve Aksaray-Havaalanı ve Yenikapı-Taksim metro hatları için transfer yapılarını da kapsayan Yenikapı yeraltı istasyon yapısı bu bölümde yer almaktadır.

Yenikapı aç-kapa yapısından itibaren Sarayburnu bölgesine kadar tarihi yarım adayı baştan sona birleştirerek olan inşaat yapısı yine segmentli ikiz tünel yapısı olacaktır. Sirkeci bölgesinde delme tünel tekniği ile inşa edilecek olan yeraltı istasyonu bulunacaktır. Sirkeci yeraltı istasyonuna ulaşabilmek için Çağaloğlu civarında ve Sirkeci gar sahası içerisinde yaya girişı yapıları bulunacaktır. Bu iki giriş yapısı arasında istasyona dikey ulaşım yapıları yer almaktadır.



Şekil 1 Marmaray BC1 Güzergahı (Taisei, 2005)

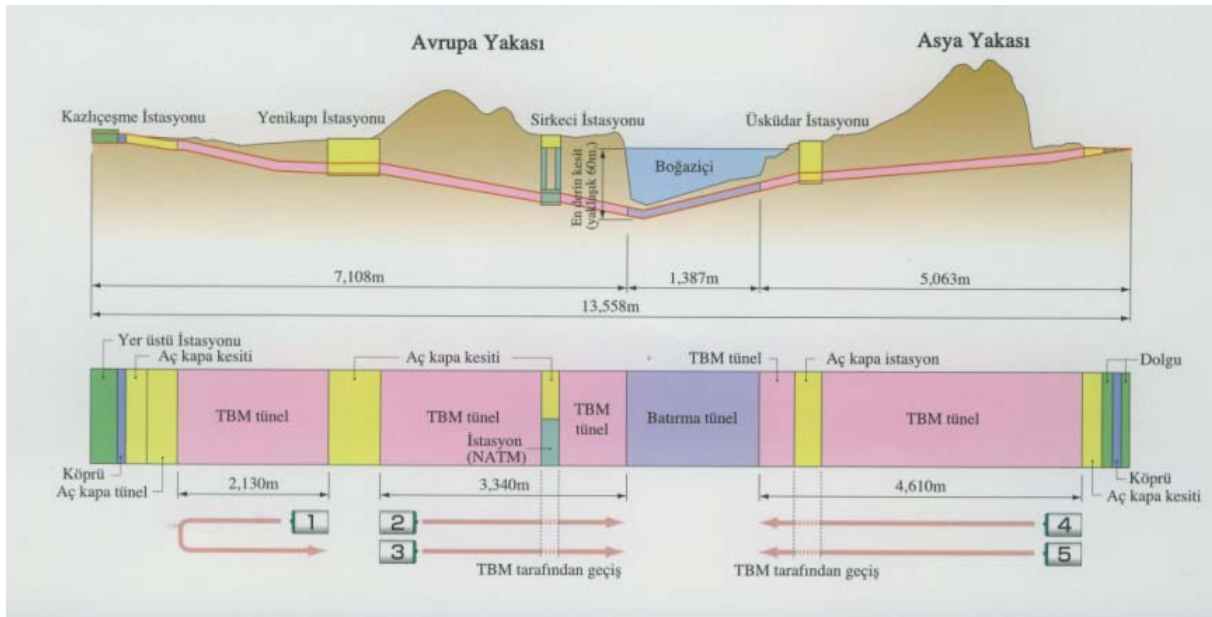
Daha sonra güzergah Sarayburnu civarında “Batırma Tütün” tekniği ile boğaz dibinde yerleştirilecek olan önceden imal edilmiş yapı elemanlarının Kızkulesi yakınından geçerek Anadolu yakasına kadar yerleştirilmesiyle devam edecek ve bu alanda yine segmentli ikiz tüneller Üsküdar meydanında yerleşecek olan aç-kapa diyafram duvar korumalı Üsküdar yeraltı istasyonu ile buluşacaktır. Üsküdar İstasyonu yapısından itibaren inşaat sistemi makas Tünel bölgesiyle devam etmektedir. Daha sonra yine segmentli ikiz tünellerle güzergah Bülbülderesi, Zeynep Kamil ve Karacaahmet güzergahını izleyerek Ayrılıkçeşme’de Nautilus önlerinde yeryüzüne çıkmaktadır. Bütün delme tünel bölgelerinde yaklaşık her 200 m de bir iki tünel arasında acil durumlar ve servis için yaya geçiş pasajları yerleştirilecektir. Daha sonra

güzergah yarma-dolgu ve hemzemin yapılarıyla devam edecek ve Söğütlüçeşme öncesi Arap Mezarlığı civarında mevcut Haydarpaşa-Gebze TCDD hatlarıyla birleşecektir. (Sekil.1)

3. Proje Kapsamında Yeralan İnşaat Yapıları

Marmaray Sözleşme BC1 güzergahını oluşturan yapıların çok büyük bölümü çeşitli tünel yapım teknikleriyle inşa edilecektir. Bu teknikler genel anlamda aç-kapa, NATM (Yeni Avusturya Tünel Metodu), TBM (Tünel Delme Makinası) ve batırma tüp (Immersed Tube) tünelcilik yöntemlerini kapsayacaktır. İnşaat kapsamındaki ana yapılar, batırma tüp (1387m); TBM tünel (9.360 m); NATM Tünel metoduyla inşaa edilecek olan Sirkeci İstasyonu giriş yapı bağlantıları ve acil çıkış shaftları; Aç-Kapa metoduyla inşaa edilecek olan Yenikapı TCDD(260m) ve Yenikapı Tüp (270m), Üsküdar (270m) İstasyonları ve Sirkeci İstasyonu girişleri, yer üstündeki Kazlıçeşme İstasyonu (225m) ve aç kapa tüneller, köprü ve havalandırma binaları oluşturmaktadır. (Sekil 2).

İnşaat uygulamalarına başlamadan önce, güzergahın açık inşaat alanlarında olası yer altı tarihi varlıkları tesbit etmek amacıyla arkeolojik araştırma kazılarına Haziran 2004 tarihinde Üsküdar İstasyon alanında başlanmıştır. Daha sonra Yedikule, Yenikapı ve Sirkeci’de de başlanan arkeolojik kazılar, olası mevcut kalıntılara zarar verilmeyecek şekilde uzman arkeologların denetiminde yürütülmektedir.



Sekil 2 Marmaray BC1 güzergahı ve Yapı Yerleşimleri, (Taisei, 2005)

3.1. İstasyon Yapıları

Modern istasyon binaları, her 90 saniyede bir 10 vagonlu trenlerin geleceği zirve saatlerdeki trafik yoğunluğunu karşılayacak ve İstanbul'un tarihi yapısına uyum sağlayacak şekilde dizayn edilmektedir. İstasyon binalarında yapılacak olan elektromekanik işler, yüksek gerilim kabloları, trafo merkezleri, acil durum jeneratörleri, aydınlatma sistemleri, güvenlik sistemleri, su temin ve tahliye sistemleri, sıhhi tesisat sistemi, tünel havalandırma ve yangın kontrol sistemleri, yürüyen merdivenler, asansörler ve yürüyen bantlarını kapsamaktadır.

Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası, Mühendislik Ölçmeleri STB Komisyonu

2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu

23-25 Kasım 2005, İTÜ – İstanbul

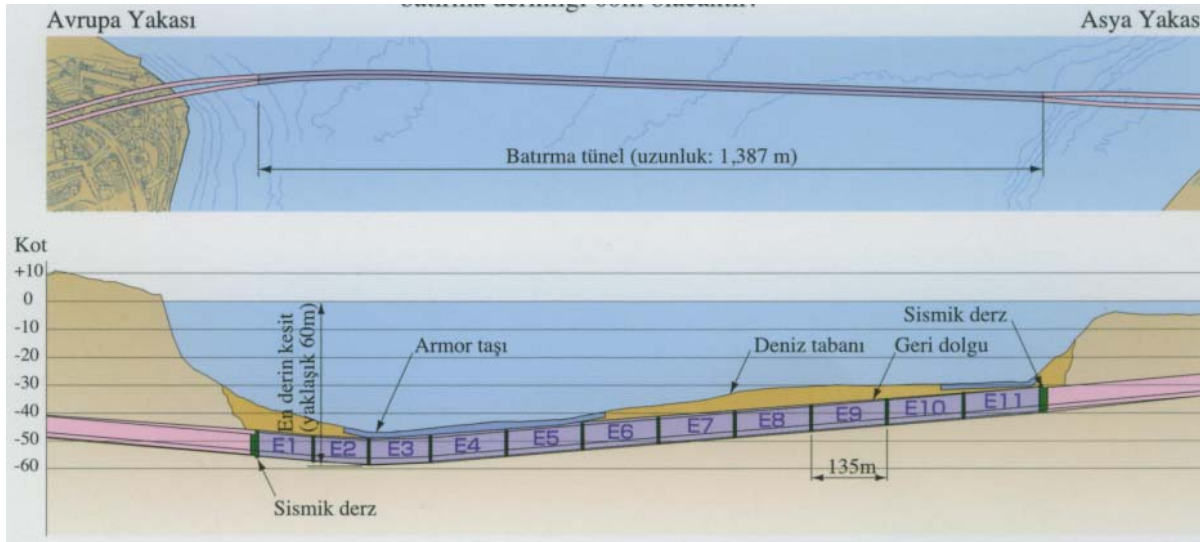
Proje kapsamında inşa edilecek olan İstasyon yapıları Kazlıçeşme hemzemin istasyonu, Yenikapı tüp ve TCDD istasyonu, Sirkeci ve Üsküdar istasyonlarıdır. Yenikapı istasyonları kazıklı tahkimat ile hazırlanan kazı alanında, Üsküdar istasyonu diyafram su geçirimsiz tahkimatla açılacak kazı alanında inşa edilecektir. Sirkeci istasyonu ise derin tünel inşaat yöntemiyle inşa edilecektir. Sirkeci istasyonu ulaşım yapıları ise aç-kapa ve derin tünel yöntemleriyle gerçekleştirilecektir.(Tablo 1)

Tablo 1 Marmaray BC1 İstasyon Yapıları

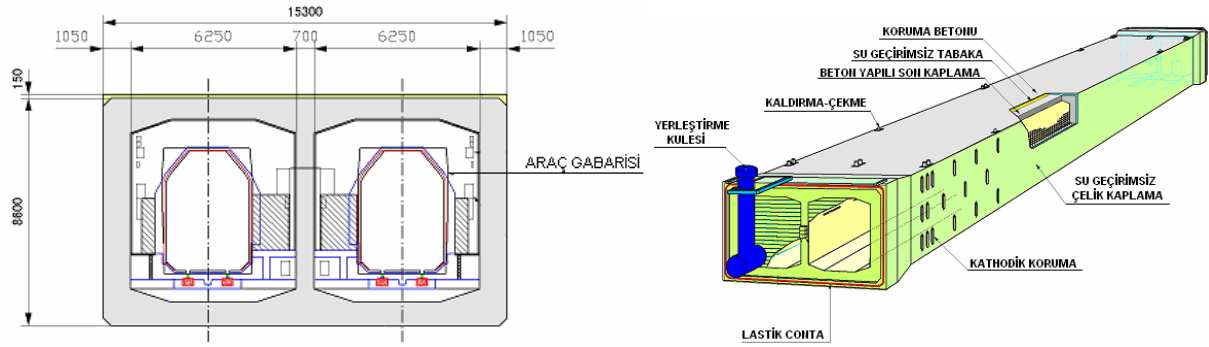
İSTASYONLAR	Uzunluk(m)	Özellikler
Kazlıçeşme	230	Hemzemin İstasyon
Yenikapı (TCDD)	360	Yeraltı İstasyonu/ Aç-Kapa kazı yöntemiyle yapılacak
Yenikapı (Tüp Tünel)	260	Yeraltı İstasyonu/ Aç-Kapa kazı yöntemiyle yapılacak
Sirkeci	250	Yeraltı İstasyonu/ Tünel açma yöntemiyle yapılacak
Üsküdar	320	Yeraltı İstasyonu/ Aç-Kapa kazı yöntemiyle yapılacak

3.2. Batırma Tüp Tünel Yapısı

İstanbul Boğazının altında yerleştirilecek olan batırma tüp elemanları ve diğer bölümlerle birleştirme detaylarının toplam uzunluğu 1387 m uzunluğunda olacaktır. Batırma tüp tünel güzergahı Şekil 3 te görüldüğü gibi; Avrupa yakasında Sarayburnu'nda başlayıp Kız Kulesinin hemen kuzeyinden geçerek Üsküdar bölgesinde Anadolu yakasına ulaşmaktadır. Batırma tüp tüneli; yerleştirileceği derinlik (58 m) itibarıyla dünyanın en derin batırma tüneli olacaktır. Bu projede 15.3 m genişliğinde, 8.6 m yüksekliğinde, her biri 135 m uzunluğunda (Şekil 4 te görüldüğü gibi) 11 adet eleman Tuzla Fabrikasyon Bölgesi'nde prefabrik olarak imal edilecektir. Her bir eleman batırma ve montaj işlerinin yapılacağı noktaya kadar yaklaşık 40 km gemiler yardımıyla yüzdürülecektir.



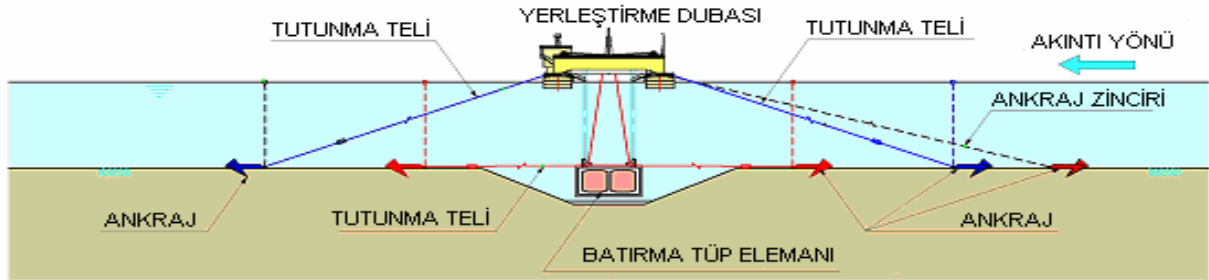
Şekil 3 Batırma Tüp Güzergahı ve Prefabrik Tüplerin Yerleştirme Konumu (Taisei, 2005)



Şekil 4 Batırma Tüp Elemanı (TKGN JV, 2004)

İstanbul boğazında batırma tüp güzergahı boyunca yapılan zemin etüdüleri sonucu zemin koşulları uygunsuz bulunan alanlar beton enjeksiyon yöntemiyle iyileştirilmektedir. Daha sonra batırma tüp elemanlarının yerleştirileceği alanların kazısı tamamlanmaktadır. Tüp yerleştirme işlemi Asya yakasında başlatılarak Avrupa yönüne doğru devam ettirilecektir. Genel olarak uygulama işlem sırası şöyle sıralanabilir:

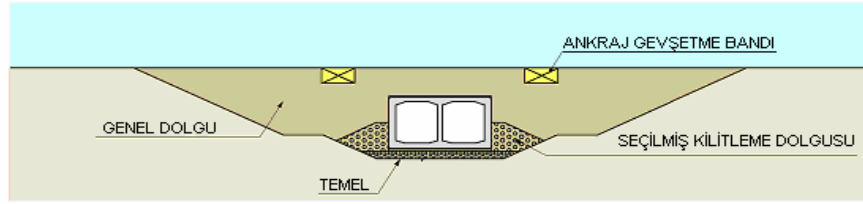
- Batırma yapılacak alanda zemin iyileştirme,
- Batırma tüp elemanlarının imal edilmesi ve yerleştirme alanı kazısının tamamlanması,
- İlk yerleştirmenin ve TBM tünelleriyle birleştirme için geçici iskelelerin hazırlanması,
- Yerleştirme alanı temel yapısının hazırlanması,
- Batırma tüp elemanının batırılması ve yerleştirilmesi,
- TBM tünelleriyle yada diğer tüp elemanlarıyla birleşimin yapılması, geçirimsizlik işlemlerinin tamamlanması,
- Geri dolgu işleminin tamamlanması.



Şekil 5 Batırma Tüp Elemanının Duba Yardımıyla Yerleştirilmesi (TKGN JV, 2004)

Tuzla'da inşaatı tamamlandıktan sonra yüzdürülerek yerleştirme alanına getirilecek olan iki bölümlü batırma tüp elemanı deniz dibinde daha önceden kazısı tamamlanan boşluklara ağırlaştırılarak batırılacak ve kontrollü bir şekilde proje ekseninde yerleştirilecektir. (Şekil 5) Batırma ve yerleştirme işlemi bu amaçla özel olarak imal edilmiş olan duba üzerinden askı telleri yardımıyla kontrollü biçimde gerçekleştirilecektir. Akıntı nedeniyle oluşacak konum değişikliklerini önlemek için duba deniz dibine ankrajlanmaktadır. Batırma işlemi sırasında RTK-GPS ölçümleri ve özel multibeam ölçüm donanımı kullanılarak tüp tünelin tasarlanan proje konumunu alması sağlanmaktadır. İlk tüp elemanının yerleştirilmesi için bu amaçla geçici olarak kıyıda TBM tünelle birleşim bölümünde inşa edilecek olan iskeleden yararlanılmaktadır. Yerleştirme işleminden sonra batırma tüp elemanları uç uca getirilerek birleştirilecek ve geçirimsizlik için gerekli işlemler tamamlanmaktadır. Bu arada batırma tüp elemanları

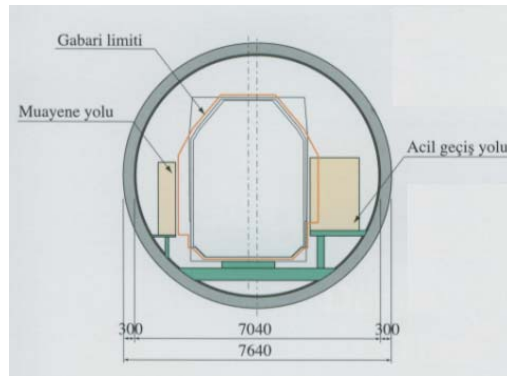
sabitleştirilerek kanal yeniden doldurulduktan sonra üzerinde gerekli koruma tabakası oluşturulmaktadır. (Şekil 6)



Şekil 6 Yerleştirme Sonrası Batırma Tüp Elemanı En Kesiti (TKGN JV, 2004)

3.3. Delme Tünel Yapıları

Ayrılıkçeşme-Üsküdar-Boğaz arası ve Yedikule-Yenikapı-Sirkeci-Boğaz arasındaki tüneller (Tablo 2) genellikle TBM ile açılacak olup, bu işler için 5 adet TBM aynı anda kullanılacaktır. Bu yöntemde TBM makinası kazı işlemini yaparken, tünel duvarına kalıcı prefabrik betonarme segmentler yerleştirilecektir. Yaklaşık olarak 18.720 m uzunluğunda yapılacak kazıda toplam 13.000 adet iç çapı 7.040 mm olan ringler kullanılacaktır. (Şekil 7) TBM tünelleri arasında her 200 m de bir NATM metoduyla acil durumlar ve servis hizmetleri için kullanılmak üzere yaya tünelleri yapılacaktır. NATM ve geleneksel tünel yapım yöntemleri kullanılarak Sirkeci istasyonu yaya ulaşım tünelleri ve istasyon düşey shaftları ile Üsküdar istasyonu sonrasında makas tünelleri inşa edilecektir.



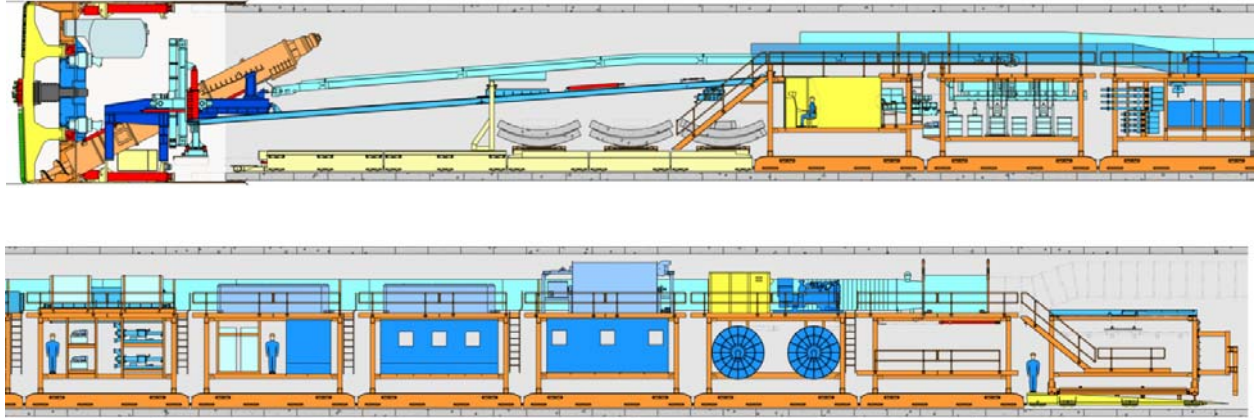
Şekil 7 TBM Tünel Tip Kesiti (Taisei, 2005)

Yedikule-Yenikapı tünellerinin yapımı için bir adet EPB (Zemin Denge Basıncılı) tipi LOVAT TBM ve diğer tünellerin yapımı için 4 adet Slurry tip HITACHI Zosen TBM makinasının kullanılması planlanmıştır.

Kullanılacak TBM sistemleri; kazıcı kafa ile kazı işlemini tamamladıktan sonra kazılan malzemeyi dışarıya nakletmektedir. Aynı zamanda tünel içerisine nakledilen prekast segment gruplarının kazılan yerlerde montajını da yaparak geçirimsizlik için enjeksiyon uygulayabilmektedir. Kazı ve segment yerleştirme sürecinde TBM şildi ve basınç sistemleriyle de zemin stabilitesini korumaktadır. (Şekil 8),(Şekil 9). TBM sistemlerinde, tüm uygulama parametreleri digital olarak izlenmekte ve yönlendirme için özel bir alet ve yazılım kombinasyonu klasik ölçmelerle desteklenmektedir.

Tablo 2 TBM Tünel Yapıları

TÜNELLER	Uzunluk(m)	Özellikler
Yedikule-Yenikapı (TCDD) arası	2x2.130	Delme Çapı 7.97 m / TBM ile açılacak
Yenikapı (Tüp Tünel)- Sirkeci	2x2.140	Delme Çapı 7.84 m / TBM ile açılacak
Sirkeci - Batırma Tünel Yaklaşımı	2x950	Delme Çapı 7.84 m / TBM ile açılacak
Ayrılıkçeşme – Üsküdar	2x3.547	Delme Çapı 7.84 m / TBM ile açılacak
Üsküdar- Batırma Tünel Yaklaşımı	2x740	Delme Çapı 7.84 m / TBM ile açılacak



Şekil 8 Marmaray BC1 Projesi Tünellerinin Yapımı İçin Kullanılacak TBM Planı (Lovat,2005)



Şekil 9 Marmaray BC1 Projesi İçin Kullanılacak Olan Makinaların Benzeri Bir Lovat TBM (Lovat, 2005)

3.4. Proje Kapsamındaki Diğer Yapılar

Proje kapsamında yer alan diğer yapılar; hemzemin, U-kesit yapılar, aç-kapa yapılar ve köprüler olarak sıralanabilir. Bu yapılar ve diğer inşaat aktiviteleri aşağıda Tablo 3 de gösterilmektedir.

Tablo 3 Proje Kapsamındaki Diğer İnşaat Yapıları

HEMZEMİN,U-KESİT, AÇ-KAPA KISIMLAR	Uzunluk (m)	Yapı Özellikleri
Kazlıçesme-Yedikule	670	
Yenikapı TCDD ve Tüp Tünel İst. Arası	120	
Ayrılıkçesme	443	
KÖPRÜLER		
Yedikule demiryolu köprüsü		Çelik
Yedikule karayolu köprüsü		Betonarme / Öngermeli
Ayrılıkçesme demiryolu köprüsü		Çelik
Ayrılıkçesme karayolu köprüleri		Betonarme / Öngermeli
RAY İŞLERİ	2 X 13.560 (Hat)	Raylar, makaslar ve tespit elemanları.

4. Marmaray BC1 Projesi ve Ölçme Çalışmaları

Marmaray BC1 projesinin ilk tasarımları karada ve bogazda yapılan ölçümler ve değerlendirmeler sonrası elde edilmiş bulunan haritalar üzerinde tamamlanmıştır. İnşaat öncesi en önemli ölçme çalışması tüm proje alanlarını kapsayan Topoğrafik Ölçme Etüdları olmuştur. Topoğrafik Ölçme Etüdları kapsamında tüm proje alanlarında pilye-yarım pilye ve yer noktalarından oluşan toplam 37 noktalı GPS Kontrol Ağı oluşturulmuş, ölçümlenmiş ve değerlendirilmiştir. Toplam 68 noktadan oluşan Hassas Nivelman ağı oluşturulmuş ölçümlenmiş ve Üsküdar-Sarayburnu arasında yapılan Bogaz geçiş nivelmanı bulgularıyla birlikte değerlendirilmiştir. Daha sonra boğazın heriki yakasındaki tüm proje alanlarında GPS Kontrol Ağı ve Hassas Nivelman ağına dayandırılarak 476 adet Avrupa ve 350 adet de Asya yakasında olmak üzere toplam 826 noktalı bir poligon ağı oluşturulmuş, ölçümlenmiş ve değerlendirilmiştir. Tesis edilen poligon ağına dayalı olarak tüm alanlarda detay ölçümleri tamamlanmış ve çizimleri hazırlanmıştır.

Bu aşamadan sonra tasarım ve etüd ihtiyaçlarına cevap verebilmek amacıyla karada ve denizde çok sayıda ölçüm ve aplikasyon uygulamaları Topografik ölçme çalışmalarıyla oluşturulan koordinat sistemlerine dayalı olarak gerçekleştirilmektedir.

Projenin her iki ucunda bulunan hemzemin-yarma-dolgu-köprü tüm tünel inşaatları için yapılan ölçme çalışmaları da farklı kara parçaları üzerinde yerleşecek olan tüm yapının koordinat bütünlüğü içerisinde uygulanabilmesi amacıyla Marmaray BC1 projesi için hazırlanmış bulunan ölçme ve değerlendirme verilerine dayandırılmaktadır. Marmaray BC1 inşaatlarının yönlendirilmesi için yapılan inşaat ölçmelerinin yanısıra kazı alanlarının ve tünel uygulamalarının güvenliğinin izlenmesi de diğer önemli bir ölçme uygulaması olmaktadır. Bu amaçla tünel kazılarında tünel içerisinde ve tünel dışında, derin kazı açmalarında ve civar zemin ve binalarda ve kritik görülen tüm yapı ve zeminlerde birçok ölçme disiplini de deformasyon ölçmeleri yapılmaktadır.

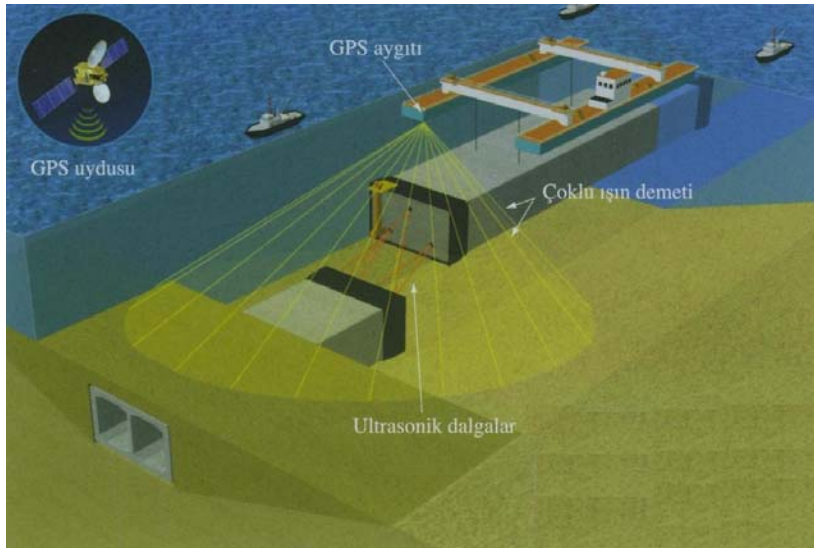
4.1. Batırma Tüp İnşaatı ve Ölçme Çalışmaları

Batırma tüp yerleştirme güzergahı Sarayburnu'ndan Üsküdar'a kadar gerekli alanı şeritvari kapsayacak şekilde batimetrik ölçmelerle belirlenmiştir. Batırma tüp için yapılan tüm batimetrik ölçmeler; Marmaray BC1 projesi için Topografik Ölçme Etüdları kapsamında oluşturulmuş bulunan GPS Kontrol ağı ve Hassas Nivelman koordinat sistemlerine bağlı olarak Tekne konumu real time kinematik GPS (RTK-GPS) ölçmeleriyle ve dip taraması ise multi beam (çoklu ışın demeti) echo-sounder donanımıyla gerçekleştirilmektedir.

Batırma tüp güzergahında yapılacak kazı işleri de batimetrik ölçmeler kontrolünde gerçekleştirilmektedir. Kazı sırasında kazılan alanlarının projede belirtilen tasarımlara uygun olarak hazırlanması batimetrik ölçme ve değerlendirmelerine göre yönlendirilmektedir. Batimetrik ölçmeler için RTK-GPS ölçümleriyle kazıcı sistem konumlandırılmakta ve kazıcı sistemden de multibeam Echosounder ölçümleriyle kazılar yönlendirilmektedir.

Değişik izleme sistemlerinin kombinasyonu kullanılarak tünel elemanlarının montajının kontrolü yüksek bir hassasiyet ile yapılabilmektedir. Elemanların konumu GPS kullanılarak belirlenmektedir. Deniz tabanının ve bölgenin durumu çoklu ışın demeti kullanılarak kontrol edilmektedir. Daha önce yerleştirilmiş olan komşu tünel elemanına bağlı göreceli konumunun belirlenmesi ultrasonik dalgalar kullanılarak yapılmaktadır. (Şekil 10)

RTK-GPS sistemiyle konumu belirlenen batırma dubası üzerindeki multi-beam izleme sistemiyle batırılmakta olan tüp elemanının konumu, deniz dibi topoğrafyası, ve bir önce batırılmış bulunan tüp konumu izlenmektedir. Yine batırma sırasında batırılan tüp ile daha önce batırılmış olan tüp arasındaki mesafeler süpersonik algılayıcılarla izlenmektedir. Batırma tüp yerleştirme dubası üzerinden multi-beam sonar, vinçler ve askı telleri kullanılarak yerleştirmenin istenen pozisyonu alması sağlanmaktadır. Yan itme krikoları batırma tüp elemanının yatay yer değiştirme hareketini sağlamak ve askı telleri ise düşey boyutta kalıcı pozisyonun sağlanması için yardımcı olmaktadır.



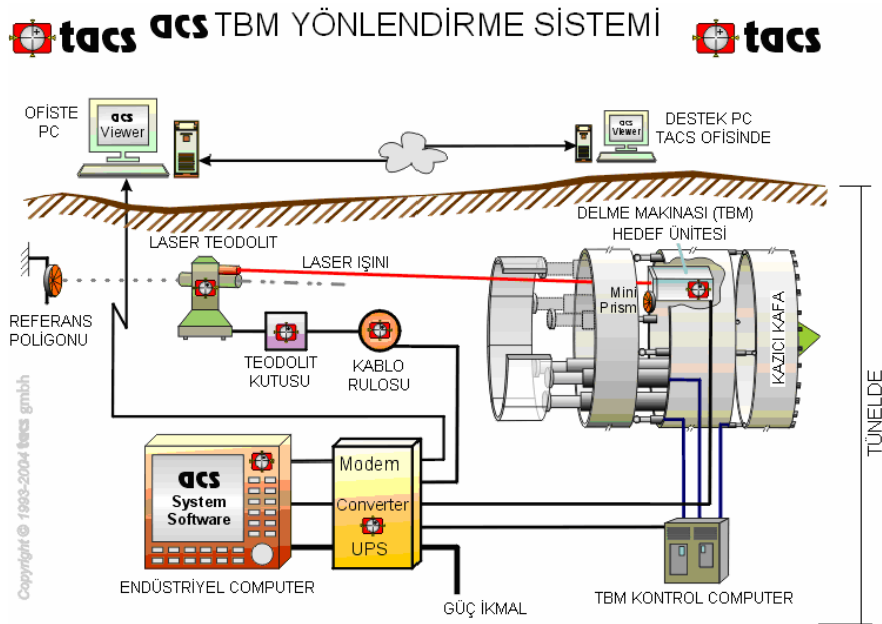
Şekil 10 Ölçme Yardımıyla Batırma Tüp Yerleştirme İşlemi (Taisei, 2005)

4.2. TBM Makinalarının Yönlendirmesi

TBM makinasının proje eksenini üzerinde yönlendirilmesi için otomatik lazerli total station ve tamamlayıcı ölçü donanımı ile bu donanıma uygun olarak tasarlanmış bir yazılım yönlendirme için kullanılmaktadır. Tüm yönlendirme ölçü ve değerlendirme işlemleri TBM içerisinde bulunan ve tüm ölçü verilerini otomatik olarak kaydederek değerlendiren bir ölçme bilgisayarını aracılığıyla yapılmaktadır. TBM konumunun tanımlanması için proje tasarım ekseninin tanımlanması ve değişen makina konumunun belirlenmesi için de TBM üzerinde yerleştirilen ölçü donanımı ve tünel içerisinde yerleştirilerek lazerli Total Station yardımıyla elde edilen 3 boyutlu otomatik ölçü verilerinin bilgisayarda bulunan yazılım

ortamına gönderilmesi yeterli olmaktadır. Değişen TBM konumuna bağlı olarak otomatik elde edilen değişen ölçü datusına bağlı olarak TBM konumu proje eksenine göre sürekli olarak yorumlanmakta ve gerekli düzeltmeler yapılarak yönlendirme gerçekleştirilmektedir.

Lovat TBM makinasının yönlendirilmesi için kullanılacak olan “Acs” yönlendirme sistemi Şekil 11 de tanıtılmaktadır. Yönlendirme sisteminin üç ana bileşeni bulunmaktadır. Bunlar tünel ve TBM makinası içerisinde yerleştirilecek olan laser teodolit, hedef ünitesi ve Acs yazılımını işleten bir bilgisayar sistemi olarak tanımlanabilir. Tünel iç yüzeyinde monte edilecek metal askı biçimli koordinatlandırılmış bir poligon noktası üzerinde laser teodolit yerleştirilir ve gerideki referans poligonuna bağlanarak kazı yönüne TBM ön kısmında yerleştirilen hedef ünitesi ekranına yönlendirilir. Böylece hedef ünitesi üstündeki bu noktanın konumu proje koordinat sisteminde belirlenir. Hedef ünitesi konumu da TBM lokal koordinat sisteminde belirlenmiştir. TBM makinasının konumu bu verilere dayandırılarak Acs yazılımı tarafından belirlenir ve tasarlanan tünel konumuna göre karşılaştırılır.



Şekil 11 TBM Makinası İçin Acs Yönlendirme Sistemi

5. Sonuç ve Öneriler

Marmaray BC1 Projesi inşaat özellikleri açısından sadece ülkemiz için değil uluslararası ölçekte de özellikleri bulunan bir yapı konumundadır. Projenin işletmeye açılması TCDD demiryolu ulaşımı ve taşımacılığı açısından önemli bir hareketliliğe sebep olabilecek ve Avrupa-Asya-Ortadoğu ekseninde raylı sistemlerin tercih edilmesini kolaylaştıracaktır. Şehir içi tüm raylı ulaşım sistemlerinin entegrasyonu açısından da son derece önemli yararları olacak ve karayolu ve köprülere olan ihtiyacı azaltarak İstanbul'un yaşam düzeyinin yükseltilmesine önemli katkıları olacaktır.

Kaynaklar

Gama Nurool Ortak Girişimi, (2005), *Yayımlanmamış Aylık Faaliyet Raporu 9*, İstanbul

Gama Nurool Ortak Girişimi, (2005), *Yayımlanmamış Şantiye Raporu*, İstanbul

Lovat, (2005), Marmaray BC1 Tanıtım Sunumu, İstanbul

Taisei Corporation, (2005), Asya'yı Avrupa'ya Bağlayan Demiryolu Boğaz Tüp Geçişi, Tüneller ve İstasyonlar, *Marmaray Projesi Tanıtım Kitapçığı*, İstanbul

TKGN JV, (2004), Marmaray Project Contract BC1, *Quality Plan for Immersed Tunnel Division*, İstanbul

Unluteppe, A., (2003), Tünel İnşaatları Sırasında Uygulanan Ölçme Yöntemleri ve Bu Yöntemlerin Değişik Tünelcilik Metodları İçin Karşılaştırılması, *1. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, YTU, İstanbul.

www.ita-aites.org

www.marmaray.com

www.marmaray.com.tr

www.tacsgmbh.de