

# **MARMARAY PROJESİ**

## **BATIRMA TÜP TÜNEL İNŞAATI**

### **MARMARAY PROJECT**

#### **CONSTRUCTION OF IMMERSE TUNNEL**

**Serap Erdoğan**

Yüksel Proje A.Ş., İstanbul

**Turgut Gençoğlu**

Taisei Corporation, İstanbul

**Ayşe İsmet Erdemci**

DLH Genel Müdürlüğü, İstanbul

### **Özet**

#### **Genel**

Bu bildiri, Halkalı ve Gebze arasında uzanan Marmaray Projesi kapsamındaki Batırma Tüp Tünel inşaatı ile ilgili imalatın aşamalarını anlatmaktadır.

Batırma Tüp Tüneli, yaklaşık olarak 135 m boyunda 15.3 m genişliğinde ve 9 m yüksekliğinde olan ve büyük ölçekli prekast eleman olarakta tarif edebileceğimiz 11 adet elemandan oluşmaktadır.

Çelik bölümlerin İmalatı İzmirde, montajı ise Tuzla şantiyesinde gerçekleştirilmiştir. Beton için dış kalıp ve su geçirimsizlik elemanı olarak da görev yapan bu kısımlar aynı zamanda katodik koruma metoduyla desteklenmiştir.

İç kalıplarda hazır kalıp sistemleri kullanılmıştır.

TS 708 standardına uygun olarak temin edilen donatılar projelerine uygun olarak montaj edilmiştir.

Beton dökümleri üç aşamalı olarak yapılmıştır. Birinci aşama olan taban betonu ve ikinci aşama olan duvar betonlarının yarısı kuru havuzlarda, üçüncü aşama olan tavan betonu ve duvarların geri kalan yarısının dökümü ise yüzer durumda Tuzla iskelelerinde dökülmüştür.

### **Abstract**

The construction stages of the Immersed Tunnel of Marmaray project are being explained in this paper. Project consist of 11 tube element that has dimensions of approximately 135m length, 15.3m width and 9m height for each.

Waterproof steel membrane and End Shells of the elements have been constructed in izmir and transported to Tuzla site for assembling. Aluminum anodes have been installed to the waterproof membrane against to corrosion.

Ready formwork system has been used for the formwork.

The rebar that are used in the tunnel elements are according to TS 708.

Concrete of the elements has been cast in three phase. First and second phase has been cast in dry dock. Third phase of the element has been cast in the jetty on the floating condition.

All tests for pretest, plant test and the full scale trials has been carried out in the ITU Marmaray laboratory.

## **1. GİRİŞ**

Batırma Tüplerin İmalatı Tuzla'da DLH tarafından tahsis edilmiş üretim sahasında gerçekleştirilmektedir. Batırmadan önceki bütün montaj, beton dökümü ve son hazırlıklar bu tesiste gerçekleştirilmektedir. Tuzla'da yalnızca bu tip büyük ölçekli prekast benzeri bir imalatı gerçekleştirebilmek için 2 adet kuru havuz imal edilmiştir. Bu kuru havuzların herbirinde iki adet batırma tüp elemanı imal edilebilmektedir. Bu yolla birden fazla elemanın imalatı eşzamanlı olarak yürütülebilmektedir.

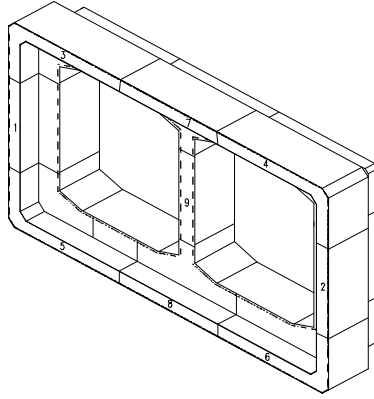
Ayrıca imalatının bir kısmı tamamlanmış olan elemanların imalatının devam etmesi ve son hazırlıklarının tamamlanması amacıyla iki adet de iskele kurulmuştur. Batırma Tüp elemanları kuru havuzlardan yüzdürülerek bu iskelelere alınmakta ve son hazırlıklar burada tamamlanmaktadır.

## 2. ÇELİK İMALAT VE MONTAJI

Marmaray Projesinin en önemli parçalarından biri olan Batırma Tüp Tünellerinin çelik bölümlerinin imalatı İzmir’de montajı ise Tuzla şantiyesinde gerçekleştirilmektedir. Çelik yapılar 2 ana kısımdan oluşmaktadır ki bunlar su geçirimsiz çelik membran ve end shelllerdir. Bu ana kısımların haricindeki çelik yapılar ise bulkhead, sleeve pipe, hybrid structure ve giriş şaftıdır.

### 2.1. End shell

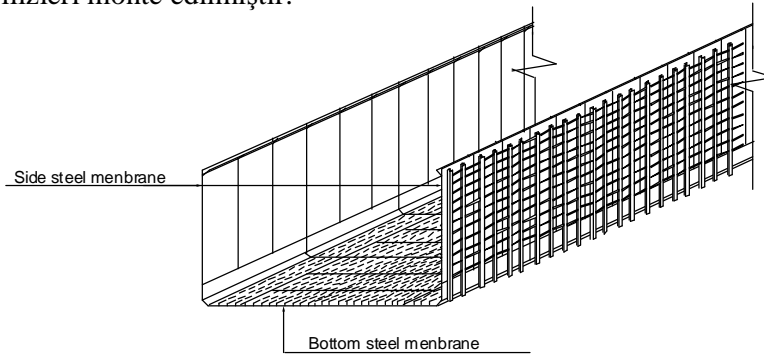
Toplam dokuz parçadan oluşan endshell ünitelerinin her parçası İzmirde prefabrik olarak imal edilmekte ve orada geçici olarak montaj edilerek uygunluğu denetlenmektedir.



Şekil 2 End shell kesit görünümü

### 2.2. Su geçirimsiz membran

Batırma tüp elemanlarının su geçirimsizliğinin sağlanması amacıyla tünel elemanlarının taban ve yan duvarları 7 mm kalınlığında su geçirmez çelik panellerle çevrelenmiş üst kısmı ise su geçirmez kauçuk örtü ile kaplanmıştır. Yapılan kaynakların sadece dayanıklı olması değil su geçirimsiz olması da gerekmektedir. Su geçirimsiz çelik plaka ile üzerine dökülecek betonun birbirine iyi bağlanmasını temin etmek için tabana  $\varnothing 13 \times 150$ 'luk bağlantı filizleri, yan duvarlara ise  $\varnothing 13 \times 50$ 'luk bağlantı filizleri monte edilmiştir.



Şekil 3 Su geçirimsiz çelik plakaların kesit görünüşü

Bütün çelik imalatında değişik kalınlıkta 9248 ton çelik levha kullanılmıştır. Kullanılan çelik levha miktarı detayları Tablo 1 de verilmiştir.

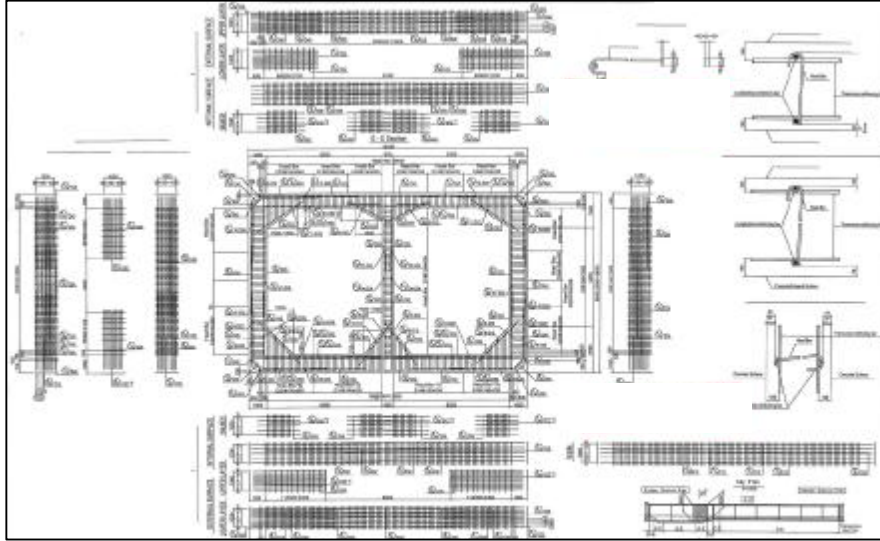
Bileşenler	E11	E10,E09,E08	E7,E6	E5,E4	E3	E2	E1
	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)
<b>Steel</b>							
Gasket Beam Sirkeci	10,7	10,7	10,7	10,7	10,2	10,2	
Bulkhead Sirkeci	27,7	27,7	27,7	27,7	34,9	35,0	37,8
End Steel Shell Sirkeci	52,0	52,5	52,5	52,5	50,1	50,0	79,6
Waterproof	386,1	377,5	377,5	377,5	355,1	331,8	305,7
Steel Shell / Hybrid	199,0						
End Steel Shell Uskudar	74,4	52,0	52,0	52,0	50,2	49,6	49,4
Bulkhead Uskudar	27,5	27,7	27,7	27,7	34,9	35,0	35,0
Gasket Beam Uskudar	-	10,7	10,7	10,7	10,2	10,2	10,2
Sleeve	91	-	-	-	-	-	111
Bulkhead Sleeve	29	-	-	-	-	-	28
F-PASS	11	-	-	-	-	-	11
Outfitting etc	454	234	258	258	79	62	76
Aluminum Anode	35	25	25	25	25	25	25
<b>Subtotal for Steel</b>	<b>1397</b>	<b>818</b>	<b>842</b>	<b>842</b>	<b>649</b>	<b>608</b>	<b>768</b>
<b>Toplam</b>	<b>1397</b>	<b>2455</b>	<b>1685</b>	<b>1685</b>	<b>649</b>	<b>608</b>	<b>768</b>
<b>Genel toplam</b>	<b>9248 ton</b>						

Tablo 1 Çelik levha miktarları

### 2.3. Donatı

Tüplerin imalatında 3A ve 4A tipi nervürlü betonarme donatısı kullanılmıştır. Tipik bir kesitteki donatı detayları Şekil 4' de verilmiştir.

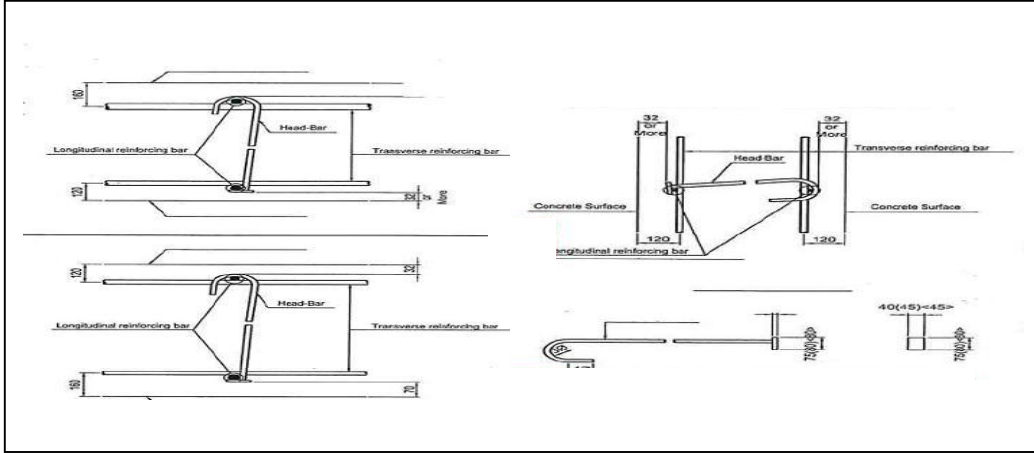
Paspayı kalınlıkları iç kısımlar için minimum 32 mm dış kısımlar için minimum 75mm'dir. Paspayı kalınlıkları tüp imalatında kullanılan betonla şantiyede üretilmiş ve donatı montajında kullanılmıştır.



Şekil 4. Tipik kesit donatı detayı.

Birinci ve ikinci aşama donatılar kuru havuzda üçüncü aşama ise iskelede yüzer durumdayken monte edilmiştir.

Montajda etriye yerine yine şantiyede sürtünme kaynağı metoduyla üretilen Head barlar kullanılmıştır. Tipik head bar detayları şekil 5’de verilmiştir.



Şekil 5 Head bar detayları

Tüp imalatında çeşitli çaplarda toplam olarak 17573 ton donatı kullanılmıştır. Elemanlarda kullanılan donatı miktarları Tablo 2 de verilmiştir.

Donatı	E11	E10,E09,E08	E7,E6	E5,E4	E3	E2	E1
	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)	Weight (ton)
Eleman	1670	1651	1773	1782	1411	1203	1226
<b>Toplam</b>	<b>1670</b>	<b>4953</b>	<b>3547</b>	<b>3564</b>	<b>1411</b>	<b>1203</b>	<b>1226</b>
<b>Genel toplam</b>		<b>17573 ton</b>					

Tablo 2 Donatı miktarı.

### 3. BETON

#### 3.1 Ön denemeler

##### 3.1.1 Laboratuvar testleri

Projede kullanılacak beton mix dizaynı, İstanbul Teknik Üniversitesi bünyesinde oluşturulan MARMARAY laboratuvarında yapılan deneme karışımları ve ön testler neticesinde tespit edilmiştir. Bu denemelerde taze beton, sertleşmekte olan beton ve sertleşmiş beton özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiş ve neticede proje şartnamelerine uygun beton karışımı C 40 olarak tespit edilmiştir. Mix dizaynının belirlenmesi için yapılan çalışmalar sırasında projenin tüm yapıları için geçerli olan 100 yıllık servis ömrü hedefi doğrultusunda bütün dış etkenler (tüpün deniz suyu içinde bulunacağı ve bu nedenle maruz kalacağı yüksek basınç ve kimyasal etkiler ) dikkate alınmıştır.

##### 3.1.2 Tesis ön denemesi

Beton üretimi öncesi üretimde kullanılacak olan bütün tesislerde tespit edilen karışımlarla 1m<sup>3</sup> lük bloklar dökülmüş ve bloklardan alınan karotlar ile deneyler

yapılmış ve sonuçlar laboratuvar deneyleri ile karşılaştırılarak aynı neticelere ulaşıldığı tespit edilmiştir.

### 3.1.3 Tam ölçekli saha denemesi

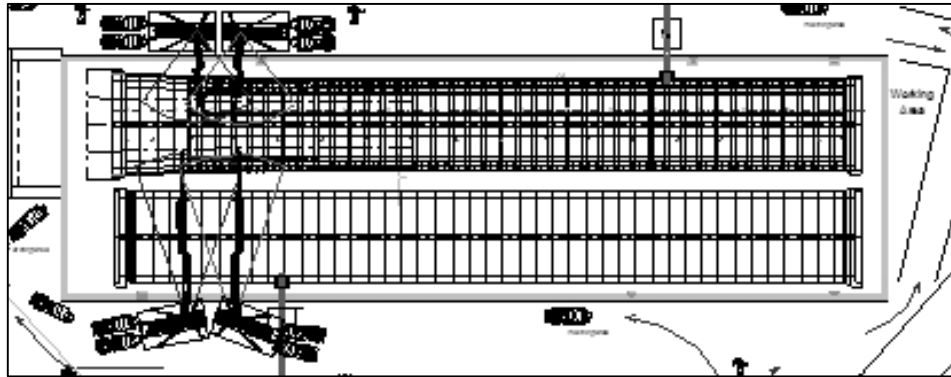
Sahada hazırlanan tam ölçekli deneme kalıplarında betonun performansı ve işçilik kalitesini tespit etmek üzere gerekli deneyler yapılmış ve üretime bundan sonra izin verilmiştir.

## 3.2 Elemanların Üretimi

Tünel elemanlarının üretimi üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci ve ikinci aşama Tuzla şantiyesindeki kuru havuzlarda üçüncü aşama ise yine tuzla şantiyesindeki iskelelerde yüzer durumda yapılmıştır.

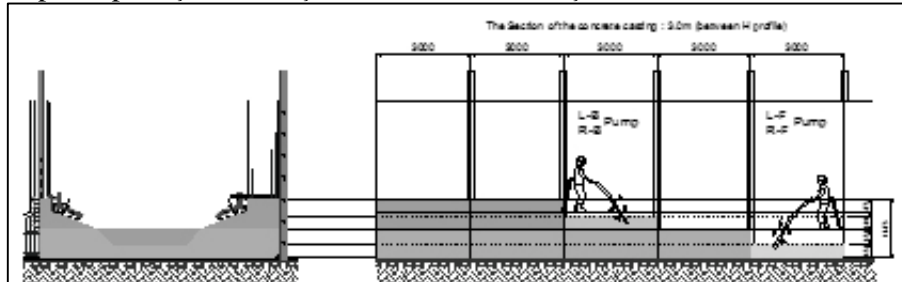
### 3.2.1 Birinci aşama beton dökümü (Faz 1)

Birinci aşama betonu, elemanın bir ucundan başlanarak diğer ucuna doğru tamamlanmak suretiyle dökülmüştür. Birinci aşama betonu dökümünde şekil 6'da görüldüğü gibi, minimum 16 beton mixeri, 4 pompa kullanılmış, ayrıca 2 pompa da sahada yedek olarak bulundurulmuştur.



Şekil 6 Döküm genel şeması

Dökümde her pompa için üç adet vibratör ve vibratörcü kullanılmıştır. Beton maximum 60 cm aralıklarla vibre edilerek yerleştirilmiştir. Beton döküm hızı 45 – 50 m<sup>3</sup>/ saat olmuş ve toplam olarak 36 – 48 saat arasında tamamlanmıştır. Beton kalıp sistemi ve yerleştirme prensipleri şekil 7'de şematik olarak verilmiştir.

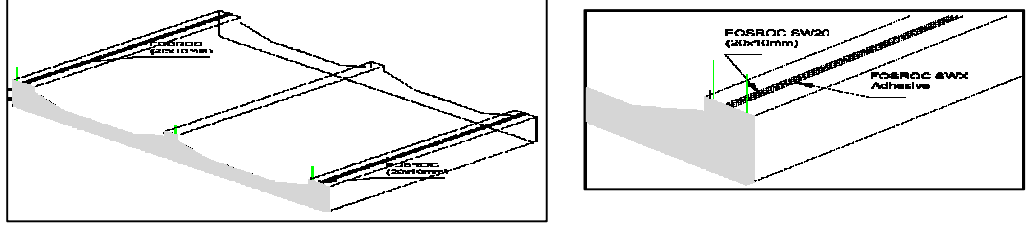


Şekil 7 Beton yerleştirme şeması

### 3.2.2 İkinci aşama beton dökümü ( Faz 2)

#### 3.2.2.1 Su tutucu

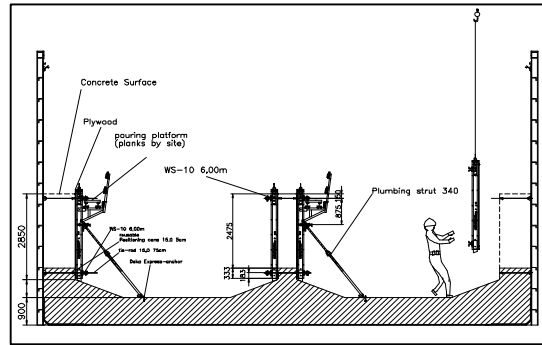
İkinci faz beton dökümünden önce birinci faz ile ikinci faz arasındaki inşaat derzine özel su tutucu band özel yapıştırıcısı kullanılarak tatbik edilmiştir.



Şekil 8 Su tutucu tatbikatı genel ve detay kesiti

#### 3.2.2.2 Kalıp

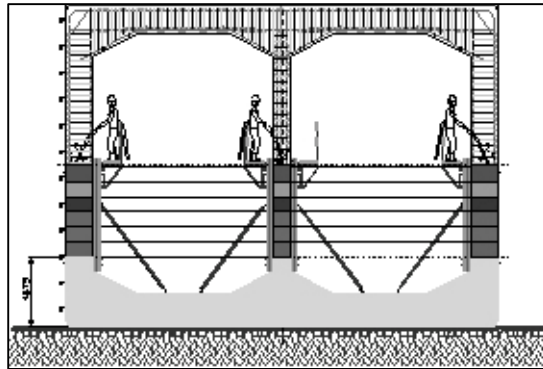
Bu safhada duvar bölümünün yarısına kadar olan kalıplar Şekil 9’da gösterildiği şekilde monte edilmiştir.



Şekil 9 İkinci aşama kalıp montajı

#### 3.2.2.3 Beton dökümü

İkinci aşama betonu genel olarak arka arkaya üç günde önce iki yan duvar son olarak orta duvar dökülerek gerçekleştirildi. Beton döküm hızı saatte 80cm yükselecek şekilde seçildi. Döküm tabakalar halinde gerçekleştirildi. Yan duvarlarda 360 m<sup>3</sup> ve orta duvarda 200 m<sup>3</sup> beton kullanıldı. Döküm metodu Şekil 10 da verilmiştir.



Şekil 10 İkinci aşama beton dökümü

### 3.2.3 Üçüncü aşama beton dökümü (Faz 3)

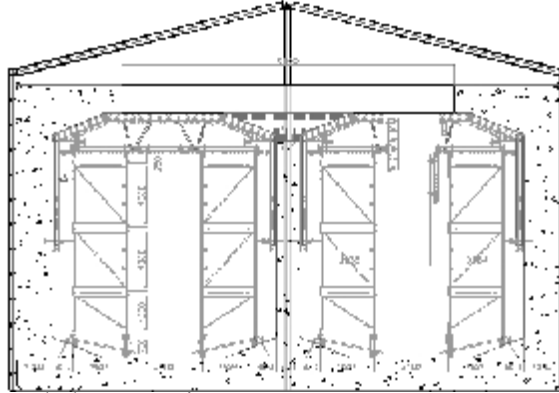
Üçüncü aşama betonu, eleman kuru havuzdan yüzdürülüp iskeleye bağlandıktan sonra yüzer haldeyken, yaklaşık 500 m<sup>3</sup>'lük 6 kısım olarak gerçekleştirilmiştir. Bölümlere ayrılarak ve hesaplanmış bir sıra ile döküm yapılmasının sebebi hem yüzer durumda olmaktan kaynaklanabilecek eğilme etkisini en aza indirmek hem de büyük hacimli beton dökümlerinde oluşabilecek, çatlak oluşmasına sebebiyet verebilecek beton içi sıcaklık gelişimlerini kontrol altında tutmaktır.

#### 3.2.3.1 Su tutucu

İkinci aşama ve üçüncü aşama arasında oluşan yatay inşaat derzlerine, birinci ve ikinci aşama arasında uygulanan su tutucu tatbik edilmiştir. Kısımlar arasında kalan düşey inşaat derzlerine ise özel epoksi enjeksiyon boruları monte edilmiş ve beton yeterli mukavemeti kazandıktan sonra bu derzler epoksi enjeksiyonu ile geçirimsiz hale getirilmiştir.

#### 3.2.3.2 Kalıp

Bu aşamada duvarların kalan yarısı ve üst döşeme kalıpları monte edilmiştir. Elemanın orta bölümünde kalıpların demontajdan sonra eleman dışına alınabilmesi için bir açıklık bırakılmış ve daha sonra kapatılmıştır. Kalıp montaj şeması şekil 11' de verilmiştir.



Şekil 11 Üçüncü aşama kalıp montajı

#### 3.2.3.3 Beton dökümü

Bölümler arasındaki düşey inşaat derzlerindeki kalıp yüzeylerine betonun priz yapmasını önleyici katkı tatbik edilmiştir. Bu sayede bitişikteki beton dökülmeden önce derzlerin beton dökümüne hazırlanması daha kolay ve daha etkili olarak gerçekleşmiştir.

Beton Tablo 3'de verilen sıra ve süreler uygun olarak dökülmüştür. Yaz aylarında beton dökümleri gece vardiyasında, yaz ayları haricinde ise gündüz vardiyasında dökülmüştür.

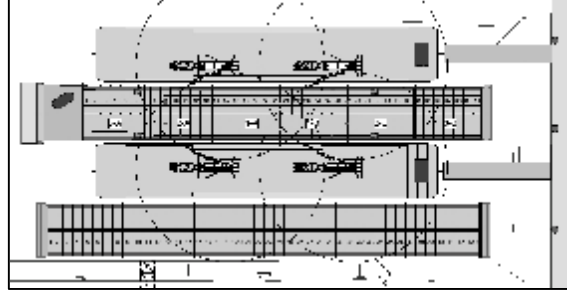
Section	1B	2A	3B	1A	3A	2B
Süre	1.gün	2.gün	3.gün	6.gün	8.gün	9.gün



Tablo 3 Beton döküm programı

Beton dökümünde 4 beton pompası kullanılmıştır. Betonun yerleştirilmesi her pompa için üç vibrator ekibi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Vibrator sıklığı sıkıştırma planına uygun olarak 60cm aralıklarla tatbik edilmiştir. Her elemanda yaklaşık olarak 3000m<sup>3</sup> beton dökülmüştür. Beton hızı duvar bölümlerinde saatte 80cm yükselecek şekilde tutulmuş duvar dökümü tatmalandıktan sonra ise 50m<sup>3</sup>/ saate çıkartılarak döküm tamamlanmıştır.

Yüzey bitirme işleri tatbik edilen ilk masterlamadan sonra beton yeterli sertliğe ulaşması beklenerek helikopter kullanılarak tamamlanmış ve daha sonra tatbik edilecek su tutucu membrane için yeterince düzgün bir satih hazırlanmıştır.



Şekil 12 Beton döküm planı

### 3.3. Kullanılan Beton Tipleri

Beton elemanlarında değişik amaçla değişik tipte başka betonlarda kullanılmıştır. Bu betonlar ve miktarları Tablo 3’de verilmiştir.

Beton Tipleri	E11	E10,E09,E08	E7,E6	E5,E4	E3	E2	E1
<b>Concrete</b>							
GB Grout Sirkeci	28	28	28	28	30	28	
ESS Concrete Sirkeci	136	136	136	136	143	134	278
Element Concrete	5430	5901	5885	5884	5042	4299	4381
ESS Concrete Uskudar	197	140	140	140	138	129	130
Hybrid Concrete	472	-	-	-	-	-	
GB Grout Uskudar	-	28	28	28	30	28	29
PR Concrete	276	298	298	41	241	213	220
Element toplamı	6539	6531	6515	6257	5623	4832	5038
Toplam	6539	19593	13030,605	12513,004	5623	4832	5038
<b>Genel Toplam</b>	<b>67168 m<sup>3</sup></b>						

Tablo 3 beton tipleri ve miktarları

## 4. KALİTE KONTROL

Beton dökümü sırasında saha laboratuvarında betonun taze özelliklerini tespit etmek üzere hazırlanmış olan kalite kontrol planına göre gerekli deneyler yapılmıştır. Sertleşmiş beton özelliklerini tayin etmek üzere numuneler alınmış ve Marmaray Laboratuvarında testler gerçekleştirilmiştir.

Bu deneyler neticesinde her elemana dökülen betonun özellikleri şartnamelere uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

#### **4.1 Taze Beton Özellikleri**

Beton dökümü sırasında, beton işlenebilirliği, hava miktarı, birim ağırlık, beton sıcaklığı ve ortam sıcaklığı yine kalite planlarına uygun olarak kontrol edilerek kaydedilmiştir. Taze beton özellikleri proje gerekliliklerini sağlamayan karışımlar reddedilerek geri gönderilmiş ve imalatta kullanılmamıştır.

#### **4.2 Basınç Mukavemeti**

Üretim sırasında yine kalite planına uygun bir şekilde alınan numuneler İTÜ Marmaray Laboratuvarında test edilmiştir. Test sonuçları 28 günlük basınç mukavemetlerinin proje şartnamesi gerekliliklerini karşıladığını göstermektedir.

## **5. SONUÇ**

Sonuç olarak toplam 11 adet olan Batırma Tüp Tünelleri prefabrike olarak inşa edilmekte ve dünyanın en derin batırma derinliği olan 55 m derinliğe indirilmek üzere hazır hale getirilmektedir. İnşaatı tamamlanan Batırma Tüp Tüneller sırayla Tuzla Üretim Sahasından yüzdürülerek çekilmekte ve Büyükdada deneme daldırmaları gerçekleştirilmektedir. Deneme daldırma çalışmaları ve batırma öncesi son hazırlıkları tamamlanan batırma tüp tünel elemanlarının Marmara Denizi Üsküdar Sarayburnu hattındaki batırılmaları gerçekleştirilmektedir.

### ***Kaynaklar***

1. Taisei Gama Nurol Joint Venture, CIQP for Concrete Production & Delivery of IMT Tunnel Element ,MARMARAY PROJECT- Contract BC1
2. Taisei Gama Nurol Joint Venture, CIQP for Construction of the Reinforced Concrete Part of the Immersed Tube Tunnel Element,MARMARAY PROJECT- Contract BC1
3. Taisei Gama Nurol Joint Venture, Method Statement For IMT Tunnel Elements Base Slab Casting, MARMARAY PROJECT- Contract BC1
4. Taisei Gama Nurol Joint Venture, Method Statement for IMT Tunnel Elements Walls Concrete Casting, MARMARAY PROJECT- Contract BC1
5. Taisei Gama Nurol Joint Venture, Method Statement for IMT Tunnel Elements Top Slab Casting, MARMARAY PROJECT- Contract BC1