

GÜNDE 3 KEZ C 50/60 SEGMENT ÜRETİMİ

C 50/60 CLASS SEGMENT PRODUCTIONS 3 TIMES A DAY

Mehmet Mutlu

Nuh Beton A.Ş.,
İstanbul

Cemal YILMAZ

Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı,
İstanbul

Erhan TALU

Gülermak-Doğuş Adi Ortaklığı,
İstanbul

Özet

İstanbul'da inşaatı sürdürülen Metro çalışmalarından, Avrupa yakasındaki 22 km'lik Otogar-Kirazlı ve Kirazlı-Başakşehir Bölümünün gereksinimi olan 20.000 takım (1 takım, 6 adet Segment elemandan oluştuğundan, toplam 120.000 adet eleman) yaklaşık 160.000 m³ C 50/60 Sınıfı prefabrik elemanın 3 yıl gibi bir sürede bitirilmesi için yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Kurulan fabrika ile günde 30 takım (240 m³) hedef, ancak günde 3 kez kalıpların kullanılması halinde yakalamak olası olduğundan dolayı, fırınlı karusel(carousel-atlıkarınca) şeklinde raylı sistem ısıtma ve C 50/60 Sınıfı yüksek dayanımlı bir beton ile çalışılarak elde edilebildi.

Kartal'daki Merkez laboratuvarımızda yapılan deneysel çalışmaları takiben, İspanyol Segment uzmanının da desteği ile, beton karışımı üzerinde ayrıntılara girerek, deneme karışımları ile, tesiste reçete oturtulmaya çalışılmış, zaman zaman çıkan problemlerin üzerine gidilerek de, 2 yıla yakın sürede, hedefin yarısını geçen (120.000 m³) beton hacmine ulaşılmıştır. En önemli sorun olarak, kalıp yüzeyinin eğik olması nedeniyle betonun akması karşımıza çıkmış olup, kum yüzdesi, betonun kıvamı ve katkı oranı değiştirilmek suretiyle, deneme-yanılma yöntemiyle giderilmiştir.

Tamamen kapalı olarak, kurulan sisteme göre; toplam 7,5 saatlik çevrim ile, 6 saatte 20 MPa dayanım veren beton ile günde 3 tur, hatta 3,4 tur dahi elde edilebilmiştir. Son derece hızlı bir üretim süreci sayesinde, 4 adet TBM makinesinin ihtiyacı olan Segment üretimi için mevcut fabrikanın kapasitesi yeterli olacaktır.

Anahtar sözcükler: Segment, TBM, Hiper Akışkanlaştırıcı, Erken Yüksek Dayanım, Tünel, C 50/60 Beton Sınıfı

Abstract

The works and transactions performed in order to complete the production of 20.000 sets (because 1 set consists of 6 pieces of Segment components, it is total 120.000 pieces components) approximately 160.000 m³ prefabricated components under C 50/60 Class within a period of 3 years, which are required for the location of 22 km Otogar-Kirazlı and Kirazlı-Başakşehir in European side of the city, that is one of the metro constructions under way in Istanbul, were indicated. Because it can merely be possible to reach the targeted 30 sets each day (240 m³) in the factory established if the moulds are used three times a day, it could be performed through use of rail system heating in the form of oven-carousel and high-strength concrete under Class C 50/60.

Following experimental works carried out in our central laboratory located in Kartal and in conjunction with the support of Spanish Segment expert, we entered into details on concrete mixture and strived to establish recipe with the trial mixtures in the plant and also addressed the issues occurred from time to time. Thus, concrete volume exceeding half of the target (120.000 m³) was achieved in nearly 2 years. As the most important issue, we experienced a problem with the flow of concrete since the surface of mould is curved and we fixed this issue with trial and error method by modifying the percentage of sand, consistency of concrete as well as ratio of additives.

According to the system which was established as entirely closed: we could achieve 3 laps and even 3,4 laps within 6 hours with total cycle of 7,5 hours with concrete resistant against 20 MPa. The capacity of the current factory would be adequate for the production of Segment required for 4 TBM machinery thanks to its extremely quick production process.

1. GİRİŞ

Günümüz ulaşım sisteminde, karayolu taşımacılığının yerini yavaş yavaş Demiryolu ve Denizyolu almaya başlamıştır. Gerek yolcu gerek yük taşımacılığında karayolu kullanılması halinde taşıma maliyeti, risk, sürat, nüfus artışı vb. etmenler bu süreci körüklemektedir. 12 Milyonu aşan nüfusu ile de bu durumdan en çok etkilenen İstanbul şehrimiz olmaktadır. Dünyadaki pek çok şehirde 3 haneli rakamlarla ifade edilen metro uzunlukları (Paris'te 460 km, Londra'da 410 km, Tokyo'da 800 km), İstanbul'da 2000'li yıllarda tek haneden kurtulup iki haneli ifade edilmeye başlanmıştır. Son yıllarda metro alanındaki gelişmeler İstanbul'un her iki yakasında ve iki kıtayı birleştirecek büyüklükte başlatılmış olup, süratle sürdürülmektedir.

Hızlı bir şekilde inşaat yapabilmek için tünel kazısı işlerinde de önemli ilerlemeler olmuş ve sektör de bundan yararlanmaktadır. Her ne kadar projenin durumuna bağlı olsa da, 1980'li yıllarla birlikte, klâsik yöntemler (Yeni Avusturya Metodu, NATM) terk edilerek daha hızlı ilerleme imkânı sunan, teknolojik makineler (TBM-Tunnel Boring Machine - Otomatik Tünel Açma Makinesi) kullanılmaya başlanılmıştır. Bu suretle eskiye göre 2-4 misli daha hızlı imalatların yapılabilirliği ortaya çıkmıştır[1].

Projeyi zamanında bitirebilmek maksadıyla satın alınan 4 adet TBM'in ihtiyacını karşılamak amacıyla yapılan çalışmalarda da sürat gerektiği için, beton elemanları (Segment) döşenerek günde, ortalama imalat 11 metre iken, maksimum 25 metreye varan hızlarda yapılabilmektedir. 4 ayrı TBM ile, günde 11*4=44 metrenin ihtiyacı olan

segmentlerin (Her takım 8 m³ beton olmak üzere, 30 takım) üretimi, yaklaşık 240 m³/gün hızda yapılmaktadır. Halen, segment üretimi olarak, projenin 3 ay gibi makul bir süre önünde gidilmektedir.

İlgili TS_3648 1984 - *Önyapımlı Beton Elemanlara Atmosfer Basıncı Altında Buhar Kürü Uygulama Kuralları* Standardına[2] göre; elemanın narin olmasının avantajı kullanılarak elemanlarda herhangi bir çatlağa izin verilmeden kısa süreli ve nispeten yüksek sıcaklara ısıtılabilme olanağı bulunmaktadır. Eleman kütlelerinin yüzey alanına oranla az olması nedeniyle daha kısa bekleme süreleri uygulanarak (yarım saat ön bekleme, 5,5 saat 55°C fırında ısıtma, yarım saat soğutma) 1 saat kalıp hazırlığı şeklinde, yapılan ısıtma işlemi ile çalışmalar gerçekleştirildi.

2. AMAÇ

Projenin öngörülen zamanda bitirilmesi için, hızlı imalat yapabilen TBM makinelerinin gereksinimi olan segment üretiminin, stok alanı-maliyeti de düşünülerek suretiyle, projenin 2-3 ay önünde gitmesini sağlamak hedeflenmiştir. Bu amaçla, fabrika ve fırın boyutları, kalıp adedi, beton sınıfı, kalıbın günde kaç kez doldurulacağı ve vardiya sayıları tespit edilmiştir.

3. BETON ÜRETİMİNDE KULLANILAN MALZEMELER

3.1. Kimyasal - Mineral Katkı

Beton üretiminde, standartlara uygun (TS EN 934-2) olan, Polikarboksilat esaslı hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı, kış aylarında %0,5 kullanılırken, yazın karışımın artan su gereksinimini karşılamak ve kıvam kaybını en aza indirmek amacıyla, betonun iskeletini bozmadan, %0,2 puan artışla, %0,7 oranında kullanılmıştır.

Hızlı bir üretimin ihtiyacı olan erken yüksek dayanımın sağlanabilmesi ve C 50/60 gibi yüksek dayanımın beraberinde getireceği yüksek su geçirimsizliği de düşünerek, Uçucu kül gibi mineral katkılardan yararlanılma yoluna gidilmemiştir.

3.2. Su

Beton üretiminde, tesiste kuyudan çıkarılan, standartlara uygun (TS EN 1008) olan karma suyunun yılda 1 kez üniversite veya THBB laboratuvarlarında deneyleri yaptırılmaktadır.

3.3. Agrega

Beton üretiminde düzgün granülometride, TS 706 EN 12620'ye uygun, kuvars esaslı yıkanmış-elenmiş dağ kumu (Doğal Kum), Cebeci kalkerinin kırılmasıyla elde edilen, Kırma Kum ve Kırma Taş'lar (I ve II No Mıcır) agrega olmak üzere 4 tip agrega tercih edilmiştir. Agregaların fiziksel ve Tane büyüklüğü dağılımı (granülometrik) özellikleri aşağıda Tablo 1'de gösterilmiştir.

Tablo 1: Agregaların Deney Sonuçları

Fiziksel	İnce Agrega		İri Agrega	
Özellikler	Doğal Kum	Kırma Kum	I No. Mıcır	II No. Mıcır
Özgül Ağırlık, g/cm^3	2,62	2,69	2,70	2,71
İncelik Modülü	1,62	3,25	-	-
Su Emme, %	1,0	1,6	0,6	0,5
Maks. Tane Çapı, mm	1	5	12	22

Granülometrik	% Geçen			
31,5 mm	100	100	100	100
22,4	100	100	100	97
16	100	100	100	56
8	100	100	59	8
4	100	96	11	2
2	100	71	5	0
1	98	43	0	0
0,5	80	32	0	0
0,25	50	21	0	0
0,125	10	12	0	0
0,063	0,8	2,8	0,4	0,3

3.4. Çimento

Beton üretiminde kullanılan çimento, TS EN 197-1'e uygun, CEM I 42,5 R tipindedir. Çimentonun 2007 yılı istatistiksel değerlendirmesi, her haftanın herhangi bir gününe ait 52 adet sonuç üzerinde yapılmış olup; 28 günlük mukavemeti ortalama 57,8 MPa mertebesinde ve standart sapması 2,0 MPa'dır (Tablo 2).

Tablo 2: Çimentonun 2007 Yılı Deney Sonuçları

Özellikler --> İstatistiksel Büyüklükler	Mineralojik Özellikler				Kimyasal Özellikler				
	C₃S (%)	C₂S (%)	C₃A (%)	C₄AF (%)	Klorür (%)	Toplam Alkali (%)	Sülfat (SO₃) (%)	Çözünm. Kalıntı (%)	Kızdırma Kaybı (%)
Minimum	54	9	4,4	9,9	0,006	0,43	2,2	0,3	1,0
ORTALAMALAR	60,1	13,6	5,2	11,0	0,007	0,50	2,6	0,6	2,0
Maksimum	64	19	6,3	11,8	0,009	0,57	3,0	1,0	2,7
TS EN 197-1					<0,100	<0,60	<=4,0	<=5,0	<=5,0

Özellikler --> İstatistiksel Büyüklükler	Fiziksel ve Mekanik Özellikler				
	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	Basınç Dayanımı (MPa) 2 Günlük 28 Günlük		2/28 Değeri	Priz başı-sonu (dakika)
Minimum	3,10	24,4	54,3	0,42	150 178
ORTALAMALAR	3,19	26,0	57,8	0,45	170 215
Maksimum	3,24	27,5	61,2	0,47	198 267
TS EN 197-1		>=20,0	>42,5 <62,5		>=60

4. BETON TASARIMI VE ÜRETİMİ

Donatı sıklığının çok olmaması ve kesitin dar olmamasından(30cm) dolayı karışımlarda maksimum tane çapı 22mm ve segmentlerin eğik olmasından dolayı betonun akması amacıyla, kum %'si 35 olacak şekilde karışımlar tasarlanmıştır. Segment fabrikasında, yapılan deneme çalışmalarında; 5-8cm çökme esas alınmış, %42 kum oranı ve %0,8 katkı oranı ile betonun akması önlenemediği için kum oranı %35'lere ve katkı da %0,6'lara çekilmiştir. Betonun akması Segment yüzeyinde dalgalanmaya sebebiyet vermekte olup; kürden çıkan segmentin vakumla taşınması sırasında düşmelere neden olurken, yerine konan elemanın yerleştirilmesinde de problemler doğurmaktadır. Bu dalgalanma(ondülasyon) olayı, TBM fırçalarının aşırı derecede aşınmasına ve enjeksiyonda kayıplara ve nüfuzunun azalmasına da sebebiyet vermektedir.

Projenin altyapıya yönelik tünel olması nedeniyle durabilite problemlerinin de önemli olduğu düşünülerek su işleme derinliği tespit edilmiştir. İlgili standarda göre[3]; su işleme derinliği 3mm olarak tespit edilmiş olup, zararlı ortamlarda dahi istenenin (30mm >> 3mm) çok altında kalmaktadır. Ayrıca, Beton sınıfının yüksek olması da daha fazla durabiliteye eğilmemize gerek olmadığını söylemektedir.

C 50/60 Sınıfı betonun bileşimi aşağıdaki Tablo 3'de verilirken, Betonun kıvamı, dökümü (Şekil1, 2), Segmentlerin mastarlanması, küre girişi-çıkışı, kalıptan çıkışı ve stoklanmasına ait fotoğraflar ise, Şekil 3, 4, 5, 6 ve 7'de yer almaktadır.

Tablo 3: C 50/60 Sınıfı Betonun bileşimi(kg/m³)

Su/Bağlayıcı (Eşd.)	Çimento	Su	Kimyasal Katkı	Doğal Kum	Kırma Kum	I No. Mıcır	II No. Mıcır	Birim Ağırlık
0,34	390	133	2,340	285	371	627	669	2.477

Şekil :1 Betonun kıvamı



Şekil :2 Betonun dökümü



C 50/60 sınıfı betonda 440 kg çimento ile üretime başlanılmış ve bağlayıcı miktarının %0,6'sı kadar kimyasal katkı kullanılmış, hiper akışkanlaştırıcı katkı teknolojisinin iyileşmesi, kaliteli agregalar sayesinde çimento dozajı 390 kg/m³'e çekilebilmiştir.

Beton santralinden 8-10cm çökmeli olarak çıkarılan C 50/60 betonu, yaklaşık 20 dakikalık bir taşıma mesafesi ile yerine 5-8cm çökme ile yani, 2-3cm'lik bir kıvam kaybı ile ulaştırılmaktadır. Kova gibi ikinci bir ekipman kullanılmaksızın, araya kova vb. ekipman sokulmadan, transmikserin oluğundan doğrudan kalıbına beton yerleştirilmesi de betonlama hızını artırmıştır. Güçlü vibratörlerle yerine yerleştirilen

beton raylar üzerinde kaydırılarak yarım saatlik bir dinlendirme sonrası ahşap mala ile masterlanarak küre girmeye hazırlanmaktadır.

Şekil 3: Segmentlerin masterlanması



Şekil 4: Segmentlerin küre girişi



Şekil 5: Segmentlerin kürden çıkışı



Şekil 6: Segmentlerin kalıptan çıkması



Günde 3 defa kalıbı tur attırmanın en önemli adımı beton sınıfının yüksekliğinin yanı sıra, kür koşullarının sürekliliği olmuştur. Masterlanmayı takiben;

1. Yarım saat ön bekleme,
2. 5,5 saat 55°C fırında ısıtma,
3. Yarım saat soğutma,

şeklinde, yapılan ısı işlem çevrimi ile üretimler gerçekleştirildi.

Üretimden çıkan segmentler, vakumlu taşıyıcılar ile 1 günlük ıslak bezli kürle dinlendirildikten sonra stok sahasına taşınmaktadır. Sahada takımlar(6 eleman) halinde bir araya bırakılmaktadır(Şekil 7). Segment üretimi ve inşaat sırasında olası aksaklıkları da dikkate alarak, imalatı segmentsiz bırakmayacak kadar stok yapmak amacı ile saha 30 dönüm olarak düşünülmüştür. Bu alana da sığılmaya çalışılmıştır.

Şekil 7: Segmentlerin stoklanması



5. ÜRETİMLERİN DEĞERLENDİRMESİ

2007 yılı içinde alınan 490 numunenin, TS EN 206-1'e göre istatistik değerlendirmesi Tablo 4'de yer almaktadır. Tabloda taze betondan alınan 15*30cm'lik silindir kalıplara alınan numunelerin çökmelerinin, sıcaklıklarının ve sertleşmiş beton numunesinin 7. ve 28. günde küçült başlık yapılarak elde edilen basınç dayanımlarının maksimum, minimum, ortalama, standart sapma ve karakteristik dayanım değerleri yer almaktadır. Ortalama dayanımı $50 - 4 = 46$ MPa'nın altına düşen sonuç ile 2 yıl boyunca karşılaşılmamış olup, Cebeci ocaklarından toz çıkmaması için mıcırların üstüne su püskürtülmesi nedeniyle kısa bir süre içinde 48 MPa gibi (%5 kabul sınırı içinde) birkaç değer çıkmış ise de, bileşime gerekli müdahale yapılarak durum düzeltilmiştir.

Tablo 4 : C 50/60 sınıfı betona ilişkin taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları

	Basınç Dayanımı (MPa)			Taze Beton Özellikleri	
	7 Gün	28 Gün	7/28 Değeri	Çökme (cm)	Beton Sıcaklığı (°C)
Minimum	38,7	48,9	0,69	3,0	7,0
ORTALAMALAR	54,0	61,9	0,87	5,0	23,6
Maksimum	64,8	73,1	0,94	8,0	32,0
Numune Sayısı	490	490	490	490	490
Standart Sapma	4,1	5,2	0,04	1,3	8,5
Karakteristik Dayanım	$61,9 - 1,48 \times 5,2 = 54,2 > 50$ MPa				

Tablo 4 dikkatlice değerlendirildiğinde;

1. Standart sapmanın 7 günlük 4,1 (%7,6 değişim) ve 28 günlük 5,2 (%8,4 değişim) çıkmış olup, Amerikan Beton Enstitüsü-ACI (4) Standartlarına göre çok iyi bir kontrol sınıfı olarak değerlendirilmektedir. ACI 214R-02'ye göre %7-9 değişim (coefficient of variation) çok iyi olarak görülmektedir.
2. Elde edilen basınç dayanımı istenilenin biraz fazla olmasına rağmen, 6 saatlik basınç dayanımını 15 MPa'nın altına düşürmemek amacı ile, yani günde 3 kez üretimi gerçekleştirmek için, dayanım fazlalığı üstünde durulmamıştır.
3. 15*30cm'lik silindir kalıplara alınan numuneler kükürt başlık ile başlıklama sonrası kırılmalar yapılmıştır. TS EN 12390-3 standardına(5) göre, 50 MPa'nın üstüne çıkan dayanımlarda kükürt başlık veya çimento harcı kullanılması önerilmemekte, kum kutusu veya aşındırma ile deney numunelerinin düzeltilmesi tavsiye edilmektedir. Bu konuda, yapılan bir çalışmada(6), ASTM C1231'de yer alan kauçuk ile düzeltmenin daha pratik olması ve sağlıklı sonuçlar verdiği dikkate alınarak ve tesiste yapılan denemelerde de benzer sonuçlar alınması üzerine, 2008 yılı itibarı ile kauçuk ile düzeltme yapılarak numune kırımı uygulamasına geçilmiştir.

Stok sahasında yapılan aylık periyodik gözlemlerde, herhangi bir çatlak, hava kabarcığı vb. problemler ile karşı karşıya kalınmamıştır. Hava şartlarına bağlı, çok az sayıda da olsa, kılcal çatlaklar haricinde önemli bir kusura rastlanmamış ve tamir harcı ile onarıma gerek duyulmamıştır.

6 saatlik kırım sonuçlarına bakıldığında ise, 22 MPa ortalama ile sürdürülmüş olup, yaz aylarında 3,4, kış aylarında ise 2,8 kez beton dökümü yapılabilmiştir. Hedeflenen 3 kez beton dökümü ortalama 3,1 olarak gerçekleştirilebilmiştir.

6. SONUÇLAR

Günümüz süratine uygun olarak metro inşaatlarında yaşanan TBM hızına paralel segment üretimi için seçilen üretim sistemi ile, ihtiyacın karşılanabildiği görülmüş olup, üretimlerden varılan sonuçları aşağıdaki gibi özetleyebiliriz;

1. C 50/60 üretiminde kullanılan hammaddelerin, beton kıvamının ve üretim sırasında fırının sıcaklık kontrolünün tasarlanan şekilde olmasının temin edilmesinin çok önemli olduğu aksi halde, günde 3 kez üretememekten dolayı doğacak iş gücü kaybının önüne geçilemeyeceği,
2. Üretim hızına bağlı olarak stok sahasının da yeterli büyüklükte olması gerçeğinin de önemli bir husus olarak karşımıza çıktığı,
3. Beton elemanların yüzeyinin onarım görmemesi amacı ile, beton bileşimi-kıvamı, doğal kum kullanımı ve kalıp ayırıcının da özel bir öneme sahip olduğu, uygun olmayan üretimin onarım, işçilik ve malzeme maliyetinin fazla olacağı, ayrıca prestij kaybına yol açabileceği,
4. Yerine yerleştirilebilecek kadar akışkan, ancak akma yapmayan kum %'sinin, segmentin onarıma gereksinim duymaması, vakumla taşınması, fırçaları aşındırması vb. açılarından önemli bir etkiye sahip olduğu.

Kaynaklar

1. Kahraman, S., “Tam Cepheli Tünel Açma Makinelerinin Tarihsel Gelişimi”
Ulaşım da Yer altı Kazıları 2.Sempozyumu, İstanbul 2007
2. TS_3648 1984 - Önyapımlı Beton Elemanlara Atmosfer Basıncı Altında Buhar
Kürü Uygulama Kuralları
3. TS EN 12390-8 Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 8 : Basınç Altında Su
İşleme Derinliğinin Tayini
4. ACI 214R-02 Evaluation of Strength Test Results of Concrete
5. TS EN 12390-3 Beton-Sertleşmiş Beton Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının
Tayini
6. Mutlu, M., Gençmehmetoğlu, M., Öztekin, E., “Pompalanabilir C 100/115 Sınıfı
Beton Tasarımı”, *7.Ulusal Beton Kongresi, 2007*