

# YÜKSEK KATLI YAPI İNŞAATLARI İÇİN HAZIR BETONDA TEKNOLOJİK UYGULAMALAR\*

Bilal Apakhan<sup>1</sup>, Ulvi Ergüner<sup>2</sup>, Nurettin Çelik<sup>3</sup>, Ahmet Gökçe<sup>4</sup>

## Özet

Bu bildiriye, Emaar Square Projesi kapsamında temin edilmiş olan C50/60, C60/75, C70/85 dayanım sınıflarına haiz

betonların performans gereklilikleri, tasarım çalışmaları ve inşaat yapım yöntemi ile ilişkili teknolojik uygulamalar sunulmuştur. Projeyle ait beton sıcaklık gelişimi takibi gerektiren kritik yapı elemanlarında çevresel koşullara bağlı olarak taze beton sıvı azot ile soğutulmuştur. Bu yolla sertleşmekte olan çekirdek betonun sıcaklık gelişiminin Proje Şartnamesi limitlerinin altında kalması sağlanmıştır. Bildiriye ayrıca, özel pompalama sistemi ile betonun 12 m yükseklik ve 0,60 ila 1,20 m çaplarındaki çelik kolonların içine kalıp alt seviyesinden yukarıya doğru güvenli ve işin tekniğine uygun şekilde iletilerek yerleştirilmesi anlatılmıştır.

ve kulenin kolon ve döşeme imalatı. Bu her iki imalat birbirinden bağımsız ancak belirli bir kot farkını (24 m) geçmemek suretiyle devam eden yapısal işlerdir. Çekirdek yapı tırmanır kalıp tekniği ile önden yükselirken, kolon ve döşeme betonları bu imalatları geriden izlemektedir. Bu iş kapsamında 6 sabit pompa, 4 mobil pompa, 2 City Pump, 16 hidrolik dağıtıcı, 4 örümcek dağıtıcı, dikkate değer uzunluklardaki sevk hatları ve 25 kalifiye çalışan söz konusu işler için tahsis edilmiştir.

Kulenin çekirdeği için iki adet 32 m'lik hidrolik dağıtıcı ve birbirlerinin yedeği olarak iki ayrı beton sevk hattı döşenmiş ve iki adet yüksek basınç kapasitesine sahip pompa kullanılmıştır. Kulenin ikinci aşama işi olan kolon ve döşeme beton imalatlarında, çekirdek yapı için çıkan hattın haricinde iki hat daha ilave edilerek döşeme ve kolon dökümlerinde yedek hat oluşturulmuştur. Bu makalede, projenin üç kulesinden en büyük olanı Kuzey Kule İnşaatı'nın beton döküm metodu üzerinde durulmuştur.

## Technological Ready-Mixed Concrete Applications for High Rise Building Constructions

The performance requirements, design works of ready-mixed concretes mixtures at C50/60, C60/75, C70/85 strength classes and the technological methods implemented in construction phase of Emaar Square Project are presented in this paper. Depending on the seasonal weather conditions, the fresh concrete was cooled by liquid nitrogen for the casting sections of North Tower wherever the expected temperature development of hardening concrete was above the permissible limits.

## 1. Giriş

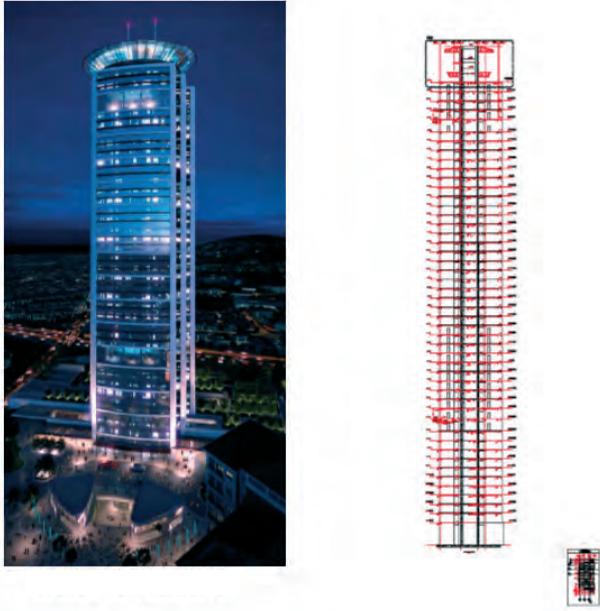
Emaar Square, İstanbul'un Anadolu yakasında yaklaşık 60.000 m<sup>2</sup> arazi üzerine kurulan Türkiye'nin en büyük monoblok yapısıdır. Projeye ait üç yapıdan en yüksek olan Kuzey Kule yer seviyesinden 220 m yüksekliği ile 50 katlı bir yapıdır (Şekil 1-2). Yapı betonarme imalatı tekniği olarak iki aşamada ele alınabilir: Merkez çekirdek perde betonu imalatı



Şekil 1. Emaar Square

<sup>1)</sup> bilal.apakhan@oyakbeton.com.tr <sup>2)</sup> ulvi.erguner@gmail.com <sup>3)</sup> nurettin.celik@oyakbeton.com.tr, OYAK Beton, Ankara; <sup>4)</sup> gokcejp@hotmail.com

(\*) Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.



Şekil 2. Kuzey Kule yapısal görünüşü

## 2. Yapısal Beton Tasarım Prensipleri

C50/60, C60/75, C70/85 dayanım sınıflarındaki Durabet-Plus serisi yüksek performanslı betonlar, İzmit Osmangazi Asma Köprüsü [1] ve Avrasya Tüneli gibi 100 yıl ve üzeri servis ömrü gereklilikleri olan mega ölçekli projelerde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Emaar Square projesinde de salt su-çimento oranı ve minimum çimento dozajı esasına göre tasarlanmış beton kullanılmamış olup, aynı zamanda işlenebilirlik (pompalanabilirlik), durabilite ve erken yaş çatlak gelişimi riski gibi önemli faktörleri de dikkate alan kaliteli ve uzun servis ömürlü yüksek yapı betonu tasarımı tercih edilmiştir.

Emaar Square projesinde kullanılan Durabet-Plus serisi yüksek performanslı betonların tasarım sürecinde kapsamlı laboratuvar testleri ve endüstriyel ölçekli denemeler gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar çalışmalarının ilk aşamasında taze beton performansı, dayanım ve dayanıklılık kriterlerine uygun beton bileşenlerinin belirlenmesi araştırılmıştır.

Uzun servis ömrüne dayalı tasarım ve hidrasyon ısısının kontrolü prensiplerine bağlı olarak beton karışımlara minimum cüraf miktarı %66 olan CEM III/B 32,5 tip cüraf çimento kullanılmıştır. Beton tasarımının su-çimento oranı C50/60 ve C60/75 için 0,38, C70/85 için 0,35 olarak seçilmiştir. Çimento dozajı C50/60, C60/75 ve C70/85 beton sınıfları için sırasıyla 400kg/m<sup>3</sup>, 430 kg/m<sup>3</sup> ve 440 kg/m<sup>3</sup>tür. Durabilite yapılarında uzun servis ömrü için aranan performans kriterlerinden biri NT BUILD 492

Standardı'na göre klorür iyonu migrasyon katsayısı olmuştur. Durabet-Plus serisi yüksek performanslı betonlar 28 günlük ölçekte  $3 \times 10^{-12}$  m<sup>2</sup>/s'den az klorür iyonu migrasyon katsayısı değerlerini sağlamaktadır.

Beton kırmataş kalker iri agregalar ile üretilmiştir. Yine aynı kalker ocağından elde edilen kırma kum ince agregalar olarak karışımlarda kullanılmıştır. İkinci bir ince agregaya ise dominant olarak kuvarz mineralleri ve kuvarzca zengin kayaç kırıntıları içeren bir doğal kum olmuştur.

Kimyasal katkı seçiminde su azaltma performansı yanı sıra, taze betonda minimum 3 saatlik bir kıvam koruma, kolay pompalanabilirlik ve ayırmaya karşı direnç kriterleri esas alınmıştır. Bu kriterleri sağlamada CEM III/B 32,5 tip cüraf çimento ile en iyi uyumu güçlendirilmiş fosfonat ve polikarboksilat bazlı yeni jenerasyon bir süperakışkanlaştırıcı göstermiştir.

Durabet-Plus serisi yüksek performanslı betonların geliştirilmesinde taze, sertleşmekte olan ve sertleşmiş beton özelliklerinin endüstriyel ölçekli deneme dökümleri gerçekleştirilerek nihai doğrulaması yapılmıştır. Bu yolla optimum karıştırma süresi, taşıma süresi, pompalanabilirlik, tam ölçekli deneme dökümü elemanlarında ısı gelişimi, dayanım, elastik özellikler ve durabilite performansı gibi parametreler uygunluk açısından değerlendirilmiştir.

## 3. Taze Betonun Sıvı Azotla Soğutulması

Emaar Square Projesi yapısal beton imalatlarında proje yönetiminde sıcaklık gelişimi takibi gerektiren döküm elemanlarında beton merkez sıcaklığının en yüksek 65°C olmasına müsaade edilmiştir. Bahse konu sıcaklık gelişimleri kontrollük tarafından kritik kesitlere yerleştirilen thermo-couple'ler vasıtasıyla takip edilmiştir. Çevresel şartlara bağlı olarak sıcaklık gelişiminin alıngelmiş tedbirlerle kontrol altına alınamadığı kritik durumlarda taze betonun sıvı azot ile soğutulması sağlanmıştır. Soğutma uygulaması, sıvı azot tankı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Transmiksere yüklenen betona proje sahasına sevk edilmeden önce 2 ila 3 dakika boyunca sıvı azot uygulaması yapılmıştır. Sıvı azotla soğutma işlemi taze beton sıcaklığını yaklaşık 3°C kadar azaltma avantajı sağlamıştır. Şekil 3 Çamlıca Tesisinde gerçekleştirilmiş bir sıvı

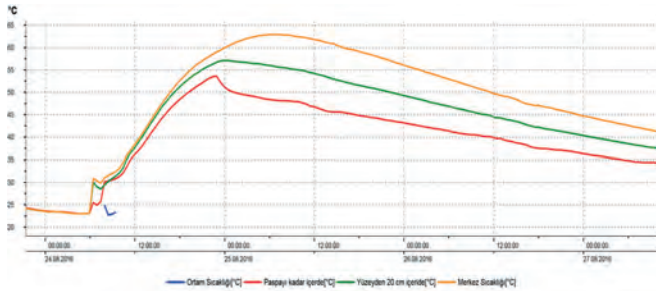
azot soğutma işlemini göstermektedir. Şekil 4 kritik kesitli bir döküm elemanında sıvı azot ile soğutulmuş taze betonun kalıba yerleştirilmesiyle birlikte kaydedilen sıcaklık gelişimi eğrilerini göstermektedir. Sıvı azot uygulaması sayesinde çekirdekte meydana gelen maksimum sıcaklık gelişimi 62,9°C ile sınırlı kalmış ve kabul edilebilir sıcaklık limiti olan 65°C'yi aşmamıştır.

The temperature development at the core of the casting section was kept within the limits of the Employer's requirement by means of nitrogen cooling.

The paper also mentions about the placement of the concrete into steel columns with a height of 12 m and diameters of 0.60 to 1.20 m, upwards from the bottom of the member through a technically effective and safe construction methodology.



**Şekil 3.** Çamlica Tesisi sıvı azot uygulaması ile taze betonun soğutulması



**Şekil 4.** Sıvı azot uygulaması sonrası döküm elemanında sıcaklık gelişimi

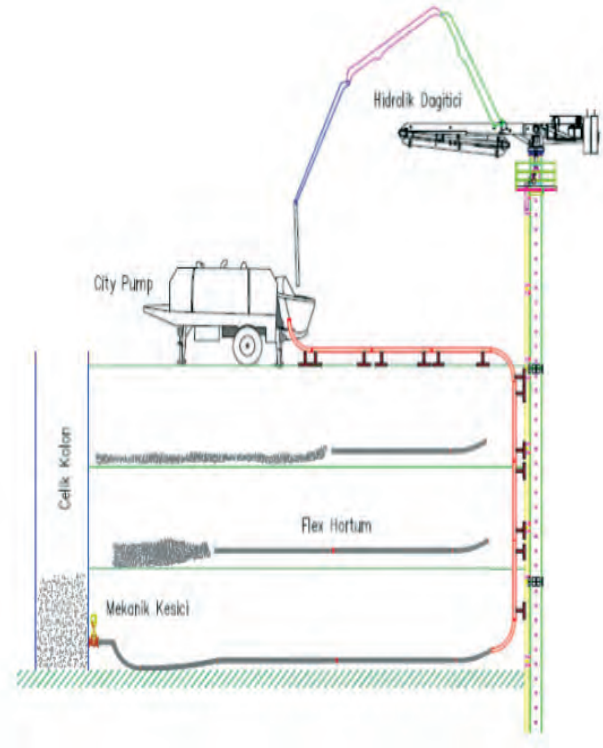
	Minimum	Maksimum
Ortam Sıcaklığı [°C]	22,7	27,6
Paspayı kadar içeride [°C]	23	53,6
Yüzeyden 20 cm içeride [°C]	23	57,1
Merkez Sıcaklığı [°C]	23	62,9

**Şekil 5.** Sıvı azot uygulaması sonrası döküm elemanındaki sıcaklık değerleri

#### 4. Çelik Kolon Beton Döküm Tekniği

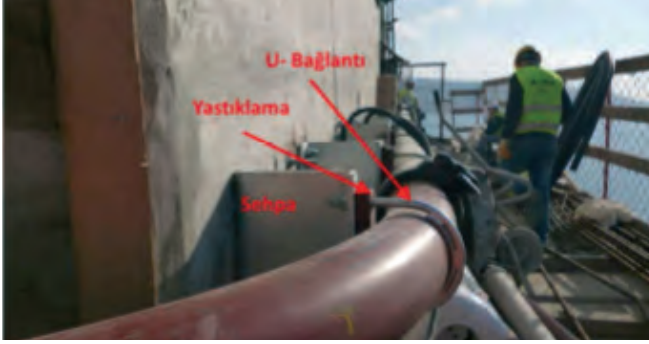
Emaar Square Kuzey Kule'sinin 0,6 ila 1,2 m çapları arasındaki çelik kolonların yapımı betonun özel bir pompalama sistemi ile kalıp alt seviyesinden yukarıya doğru iletilerek yerleştirilmesi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Kuzey Kule'nin 2. aşama işi olan kolon ve döşeme imalatları için merkez çekirdek perde betonuna çıkan pompa hattının haricinde iki hat daha ilave edilerek kolon ve döşeme dökümlerinde yedek hat oluşturulmuştur. Betonun kolona pompalanması için özel debi/basınç ayarı bulunan "City Pump" tip makine kullanılmış, bu makineye 32 m bomlu hidrolik dağıtıcı ile besleme yapılmıştır. City pumplar daha küçük ve daha portatif

beton pompalarıdır ve çıkış hortumları normal beton boru çapından daha küçük olması nedeni ile rahatlıkla uzatılabilir. Hidrolik dağıtıcı ve kule vinç yerleşim noktalarına göre düşeyde gerekli olan en uygun borulama güzergâhları oluşturulmuştur. Çelik kolonların ankraj bağlantıları pompalama sırasında oluşacak hidrostatik basıncı mukavim şekilde karşılayacak şekilde yapılmış, sızdırmazlık sağlanmıştır. Kolon betonu döküm yöntemi teknik olarak kolon tabanından 3 kat yukarıda (~12m) hazırlanmış bir platforma yerleştirilmiş bir City Pump'tan çıkış alma yoluyla gerçekleştirilmiştir. 12 m'lik yekpare çelik kolon pompalama tekniği Şekil 6'da temsili olarak gösterilmiştir. Uygulamada herhangi bir vibratör kullanmadan kalıp içeri doldurabilen yarı kendiliğinden yerleşen, segregasyon direnci yüksek beton tipi kullanılmıştır.



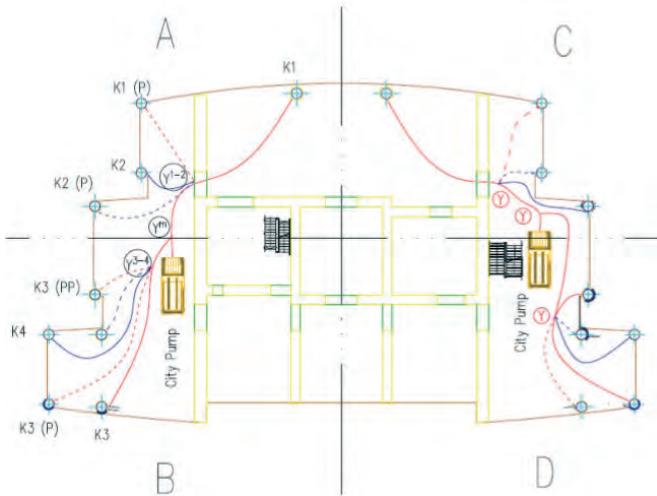
**Şekil 6.** Çelik kolon dökümü için tasarlanan pompa sistemi

Pompanın en uygun yer seçiminde borulama mesafesinin kısa tutulmasına ve boru inişleri için güvenli noktaların oluşturulmasına özen gösterilmiştir. Gerekli hallerde boru değişimini kolaylaştırmak için mümkün olduğu kadar standart ölçülerde boru kullanılmıştır. Çelik borulamada kelepçenin sağında ve solunda olmak üzere yatayda sehpa, dikeyde özel kat sehpa ile borular U-bağlantı ile bağlanmıştır. U-bağlantının altında plastik veya çelik yastıklama ve boru birleşimlerinde özel döküm ve kendiliğinden kilitlenebilir tip kelepçeler kullanılmıştır (Şekil 7).



Şekil 7. Çelik borulama detayları

Her kolonun dibine mekanik kesici bağlanarak sistem hazır hale getirilmiştir. Mekanik kesiciye ayrıca flex hortum bağlantısı yapılmıştır. İlk pompalama sırasında gerek 32 m'lik dağıtıcı gerekse City Pump boru hattı için gerekli olan şerbetin henüz mekanik kesici girişi yapılmamış flex borudan çıkması temin edilmiş, taze betonun ulaştığı gözlemlendikten sonra flex boru kolon dibindeki mekanik kesiciye kelepçe ile seri bir şekilde bağlanarak pompalama işlemine devam edilmiştir. Bu aşamadan sonra çelik kolon kalıbı içerisinde betonun kademe kademe yükselerek yerleştirilmesi pompa ayarlarını da koordineli olarak gözlemleyerek emniyetli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Kolon dökümü tamamlandıktan sonra derhal döküm hattındaki hidrolik yön valfi sonraki döküm operasyonu konumuna alınmış, kolon dibindeki mekanik kesici kapatılmıştır. Daha önceden girişi tamamlanmış bir sonraki mekanik kesiciye beton kesintisiz şekilde pompalanmaya devam edilmiştir. Bu operasyonda sadece yön valfi değişim süresi olan 2 dakika duruş olabilmesine müsaade edilmiştir. Planlanan bölgeye ait kolon dökümleri tamamlandığında aynı şekilde önceden hazırlanan başka yeni bir hat üzerinden "şerbet" istenerek döküm operasyonu döngü halinde devam etmiştir. Kat bazında kolon betonu döküm planı Şekil 8'de temsili olarak gösterilmiştir. Alt seviyeden pompalanarak çelik kolona tam kesit beton yerleştirilmesi Şekil 9'da görülmektedir.



Şekil 8. Kolon betonu döküm planı



Şekil 9. Çelik kolon beton dökümü

Pompa çıkışının  $\phi 125$  mm çelik boru ile yapılması ve kolon dökümünün yaklaşık  $\sim 12$  m aşağı kotta olması nedeniyle bu hatlarda blokaj gerçekleşme olasılığının düşük olması beklenmiştir. Bu düşük olasılığa rağmen pompa çıkışında yatay hattın bir yedeği ilgili katta hazır bulundurulmuştur. Blokajın flex borularda olması durumunda da ilgili katta bulunan yedek flex boruların hatta takılması için gerekli hazırlık yapılmıştır. Bir blokaj durumunda hattın maksimum 2 saatlik bir süre zarfında tekrar aktif hale getirileceği öngörülmüştür. Pompa arızası durumunda, diğer döküm bölgesinde hazır bulundurulan pompa kule vinç yardımı ile arızanın gerçekleştiği bölgeye taşınması planlanmıştır.

## 5. Sonuç

Proje kapsamında temin edilmiş olan C50/C60, C60/75, C70/85 dayanım sınıflarına haiz Durabet-Plus serisi betonların performans gerekliliklerinin yanında, yerine dökülmüş olan beton elemanlara ait ısı gelişiminin kontrol altında tutulabilmesi amacı ile uygulanan azot ile soğutma işlemi sonrasında, taze beton sıcaklığı arzu edilen seviyelere düşürülmüş ve ısı gelişim kontrolü sağlanmıştır. Ancak beton eleman boyutları arttıkça ve çevresel koşullar değiştikçe, taze beton sıcaklığının düşürülmesi hem ekonomik hem de ısı gelişimi-

nin kontrolü anlamında yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda, farklı döküm ve beton ısı kontrol metodlarının uygulanması araştırılmalıdır.

Projede azot ile taze beton sıcaklığının düşürülmesinin yanı sıra, özel pompalama sistemi ile betonun 12 m yükseklik ve 0,60 ila 1,20 m çaplarındaki kompozit çelik kolonların içine kalıp alt seviyesinden yukarıya doğru güvenli ve işin tekniğine uygun şekilde iletilerek yerleştirilmesinin, beton dökümünün zor olduğu kalıp sistemlerine alternatif bir yöntem olarak uygulanabilirliği tecrübe edilmiş, bu döküm metodunun benzer kalıp sistemleri için avantajlı bir uygulama olduğu görülmüştür.

### Teşekkür

Bu çalışma kapsamında, sağlanan veriler için OYAK Beton San. ve Tic. AŞ'ye ve araştırmamıza vermiş oldukları katkılar için OYAK Beton San. ve Tic. AŞ'nin çalışanlarına, özellikle değerli desteği için Sn. Tahir Turgut'a en içten teşekkürlerimizi iletmek isteriz.

### Kaynaklar

1. Gokce, A., Tanaka, J., Yamamoto, Y., & Takase, A., "Izmit Bay Suspension Bridge -Structural Concrete", 37th IABSE Symposium - International Association for Bridge and Structural Engineering, Madrid, pp. 2073-2080, 2014.