

Herkesin Sorumluluğunda Olan bir Malzeme: Hazır Beton*

Mehmet Ali Taşdemir¹, Yılmaz Akkaya²

Özet

Günümüzdeki bilgi birikimi ve deneyim ile güncel şartnameler göz önüne alınırca bir betonarme yapıda kullanılacak beton sadece dayanıma göre değil maruz kaldığı çevresel etkilere dirençli olacak biçimde tasarlanmalıdır. Buna rağmen, ülkemizde dürabilite öncelikli tasarımın genellikle yapılmaması bir yana, standartların zorunlu kıldığı güvenli beton üretiminde dahi zaman zaman sorunlar yaşandığı bilinen bir gerçektir. TS EN 206'daki dayanımla ilgili kabul kriterlerine göre güvenlikten uzak olan tasarım yapılmamalı, aynı standarttaki %93 güvenlik (risk sadece %7) esasına göre inşaat yerindeki mevcut kıvam ve slump toleransları göz önüne alınarak her yönüyle kaliteli üretim gerçekleştirilmelidir. Diğer taraftan, inşaat sırasında üniform bir beton kalitesini koruyabilmek için bileşen malzemeler denenmiş ve onaylanmış muayene bölümlerinden olmalıdır. Ayrıca, yerindeki betonun performansı için; karıştırma süresi, ayrışmadan taşınabilme, pompalanabilirlik, işlenebilirlik ömrü, vibrasyon şekli ve süresi, kalıbın alınma süresi, kalıbın kalitesi ve erken yaşta gerekli koruma ile kür işlemlerinin uygulanması ve izlenmesi de önemlidir. Yerindeki beton kalitesinin sadece inşaatın sahibi, tasarımcısı, beton üreticisi, denetleyicisi, yüklenicisi veya kullanıcısının değil, tüm tarafların ortak bilinçle sorumluluklarını yerine getirmeleri ile mümkün olduğu unutulmamalıdır.

A Material of Everyone's Responsibility: Ready Mixed Concrete

Considering the current state of knowledge and experience, as well as the state-of-the-art specifications, the concrete used in the construction of reinforced concrete structures should not only be designed according to a certain compressive strength class, but also should resist the environmental exposure conditions. In our country however, it is known that even a reliable concrete production, imposed by the standards, can be problematic sometimes, yet alone designing the concrete according to durability. According to TS EN 206, the concrete design should comply with the acceptance criteria for strength, and the production should have the quality with all its aspects, including the 93% confidence limit (with only 7% of risk) criteria, along with the construction site workability and slump tolerances. On the other hand, in order to maintain uniform concrete quality, the constituent materials should be used from pre-tested and approved inspection sections.

1.GİRİŞ

Günümüzde inşa edilmekte olan anıtsal yapılar, önemli kamu binaları, köprüler ve su yapıları giderek daha yüksek performansa ihtiyaç duymaktadır. Büyük yatırımlara mal olan bu yapıların servis ömürleri süresince işlevlerini belirli bir güvenlik içerisinde yerine getirmeleri beklenir. Yapı sahibi ve kullanıcıların gereksinimlerini etkin biçimde karşılayabilme yeteneği yapının performansı olarak isimlendirilir. Uzun süreli performans; servis ömrü süresince beklentileri etkin bir biçimde karşılayabilmek için yapı elemanlarının maruz kaldığı çevresel etkiler göz önüne alınarak yeterli kalitede ve kalınlıkta bir pas payı öngörülerek sistematik bir biçimde tasarlanmasını gerektirir [1,2].

Betonarme (BA) yapılar, servis ömürleri boyunca mekanik yükler yanında çeşitli çevresel etkiler altındadır. Bunlar; fiziksel, kimyasal veya fiziko - kimyasal etkilerdir. Yapı tasarımında mekanik dayanım yanında bu etkilerin de göz önüne alınması gereklidir. Yetersiz dürabiliteye bağlı sorunlar sonucu BA yapının performansı zamanla azalır. Performans belirli bir değer altına

düşüğünde gerekli olan onarımlar yapılırsa minimum performansın altına düşmeden beklenen servis ömrüne erişilebilir [1, 2].

Bilindiği gibi, bir BA yapının inşaatı sırasında izlenen başlıca aşamalar: 1) mevcut zemin ve çevre koşullarına uygun

¹⁾ matasdemir@gmail.com ²⁾ akkayayil@itu.edu.tr, İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

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

On top of that, mixing duration, transporting without segregation, workability life, pumpability, vibration method and duration, removal time and quality of formworks, early age protection, monitoring and application of curing are among important parameters to ensure the expected in situ performance of concrete. It should be realized that the final quality of concrete can only be achieved by the collective responsibility of the owner, designer, concrete producer, inspector, contractor and user.

tasarım ile deprem hesabını da içeren projenin tüm detaylarının hazırlanması, 2) projenin amacına uygun malzemelerin seçimi, 3) montaj ve işçilik, 4) denetim ve 5) bakım-onarım ve gerekli ise güçlendirme şeklinde özetlenebilir. Karbonatlaşma ve klorürün yol açtığı korozyon açısından, BA yapılarda donatı üzerindeki pas payının kalınlığının ve kalitesinin, hedeflenen servis ömrü için yeterli olup olmadığı sorgulanmalıdır. Donatı üzerinde pas payı olarak adlandırılan beton örtü sadece korozyon için değil aynı zamanda yangına karşı direnç açısından da zorunludur. Bundan dolayı, bakım-onarım ve gerekli ise güçlendirme, entegre bir sistem olan BA yapı için zorunlu aşamalarıdır. Sonuçta, ilgili mimar ve mühendisler; i) dayanımı, ii) dayanıklılığı, iii) işlevselliği, iv) estetik ve v) ekonomik olmayı ve v) sürdürülebilirliği göz önüne alarak proje-

nin tüm aşamalarında beklenen servis ömrünün gerçekleşmesi için gereken önlemleri göz önüne almalıdır [1-3].

2. HAZIR BETON

İngilizce'deki karşılığı "Ready Mixed Concrete" olan hazır betonun, aslında adı "hazır karıştırılmış beton"dur. Bu nedenle, bileşenleri güncel standartlara uygun olan ve tanımlanan beton "Hazır Beton"dur. Çevresel etkilere karşı yeterince önlem alınmamış, buna göre tasarlanmamış ve tanımlanmamış, sadece dayanım sınıfına göre talep edilen bir beton gerçekte hazır değildir. Bundan dolayı, i) yeterli kalitedeki ham maddelerle önceden öngörülen gereksinimleri karşılayan uygun ve üniform (homojen) bir biçimde üretilen, ii) taşınma, iii) pompalanma ve iii) sıkıştırma sırasında ayrışmayan, yerinde istenen dayanım ve dürabiliteyi sağlayan beton "Hazır Beton"dur. Özellikle, dürabiliteye göre tasarlanmış bir betonda su/bağlayıcı oranı düşürülerek kılcal boşluklar da azaltıldığı için dayanımının da sağlanacağı beklenir.

2.1 Dürabilite Öncelikli Beton Karışım Tasarımı

Beton karışımının tasarımı aşamasında, öngörülen bir BA yapının servis ömrü için göz önüne alınması gereken şu beş çevresel etki önemlidir; 1) karbonatlaşmaya ve 2) klor iyonu geçirimsizliğine bağlı korozyon, 3) donma-çözülme, 4) alkali silika reaksiyonları (ASR) ve varsa 5) kimyasal etkiler. Bu etkilere karşı tasarlanmamış ve donatı üzerindeki pas payının kalınlığı ve kalitesi yetersiz olan bir BA yapı, dış yüklere karşı yeterli bir dayanımla tasarlanmış olsa bile, beklenen uzun süreli servis ömrünü karşılaması mümkün değildir. Uzun süreli

servis ömrü beklentisi olan bir projedeki stratejik hedef; klasik bir BA yapıdaki gibi sadece dayanım olmayıp üstün dürabilite (dayanıklılık = kalıcılık) koşulunun sağlanmasıdır. Böylece, en az 75 veya en az 100 yıl gibi bir servis ömrü beklentisine yönelik olmayan klasik BA yapı ile olan farklılıklar; işveren tarafından tasarım aşamasında proje şartnamelerinde tanımlanarak, uygulayıcı firmanın (yüklenicinin) yetkinliği ve etkinliği arttırılacak biçimde sıralanır.

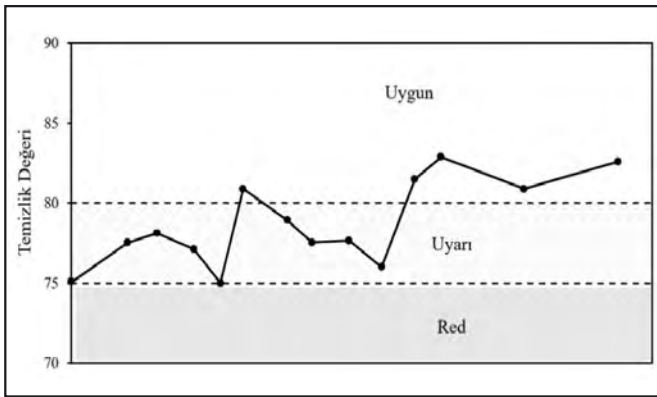
Güncel bilgi birikimine göre bir BA yapıda, betondaki "su/bağlayıcı" oranının 0,40'ın altında olması halinde karbonatlaşmaya bağlı korozyon ihmal edilebilir. Ayrıca, su/çimento oranı yüksek ise çelik donatı korozyonunun önemli bir nedeni olan klor iyonu geçirimsizliliği de sağlanamayacak demektir. Çelik donatının korozyonuna ve kimyasal etkilere karşı bir BA yapının dayanıklılığını arttırmak için betonda hidratasyon sonucu ortaya çıkan kirecin bağlanması esastır. Bundan dolayı söz konusu uzun süreli performansla yönelik bir amaç kapsamında betondaki kireci bağlamak için uygun kalite ve miktarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi endüstriyel puzolanlarla tras gibi doğal puzolanları kullanmak gerekir [2]. Bu tür malzemelerin kullanılması ASR riskine karşı da önemli bir önlemdir. Ayrıca, donma-çözülme riskine karşı zorunlu bir gereklilik olan %4-6 oranında ve en az 0,2 mm'lik aralık faktörünü (spacing factor) sağlayacak hava sürükleyici bir kimyasal katkı maddesinin kullanılması da önerilir[1-3].

2.2 Beton Bileşenlerinin Performansa Etkileri

Dürabiliteye göre tasarlanan bir yapıda onaylı proje betonunun üretiminde kullanılan malzemeler amaca uygun biçimde seçilmelidir. Erken yaşta betonda iç-dış ve tabakalar arasındaki yüksek sıcaklık farklılıkları nedeniyle çatlaklara neden olmamak için büyük BA kesitlerde hidratasyon ısısı düşük, ancak dayanımı yüksek çimentonun kullanılması öngörülmelidir. Betonda uzun yıllar sonra ortaya çıkabilecek istenmeyen alkali-silika reaksiyonlarına neden olmamak için alkali ve reaktif silis miktarları düşük olan bağlayıcılar ve agregalar seçilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar; şekil, en büyük boyut, içerik, beton içindeki tane boyut dağılımı ve rutubeti bakımından güncel standartlara ve uygulama şartlarına uygun olmalıdır. Agregalar kabul öncesinde partiler halinde sürekli biçimde deneye tabi tutulmalıdır. Kullanılan kimyasal katkıların seçiminde çimento ve agregalar arasındaki uyum ile zaman içinde taze betonun kararlılığının sağlanması da amaçlanmalıdır [1-3].

Agregaların fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özellikleri beton performansını önemli ölçüde etkiler. Kumda bulunan organik maddeler çimentonun hidratasyon reaksiyonlarını olumsuz biçimde etkileyebilir, ancak yıkama ile bu madde-

ler kumdan ayrılır. Kilin mevcut olması, agrega ile çimento hamuru arasındaki aderansı (yapışmayı) dolayısıyla betonun dayanım ve dayanıklılığını olumsuz biçimde etkiler. Agregada diğer ince malzemeler kil ve çok ince taş tozu olup bunların boyutu 2-60 mikron arasında değişir, bunlar agrega yüzey alanında artışa neden oldukları için su ihtiyacını arttıırırlar. Sonuçta, bu tür malzemeleri bağlamak için daha çok çimento gereksinim duyulur. Ancak, bu malzemelerin neden olaçağı kusurları örtmek için çimento (veya bağlayıcı) içeriğini arttırmak uygun ve gerçekçi bir yöntem değildir.



Şekil 1: Agregada temizlik değerinin (%) grafikle izlenmesi [4]

Şekil 1'deki tipik bir örnekte görüldüğü gibi agreganın temizlik değerini diğer bir deyişle malzemedeki kil, silt ve ince toz içeriğini diyagramlar kullanarak kontrol altında tutmak gerekir [4]. Bunun bir sonucu olarak, ince ve iri agregalarda ince malzeme içeriği sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle, güncel şartnamelerde 63 mikron altı malzeme ince ve iri agregada sırasıyla en çok %3 ve %1'dir. Agregaların temizliği bakımından TS EN 12620'de 63 mikron altı ince malzeme, metilen mavisi (MB) ve kum eşdeğeri (SE) ile ilgili sınırlamalar dâhil dört kriter öngörülmektedir.

2.3 Taze Betonda Karıştırma Süreleri ve Beton Üretiminde Üniformluk Kriterleri

Derin temel, döşeme ve çekirdek betonu gibi büyük dökümlerde hazır beton firmasının hızlı sevkiyat tercihi nedeniyle, santraldeki karıştırıcıda betonun yeterli ölçüde karıştırılıp karıştırılmadığı konusu en önemli sorunlardan biridir. Bazı şantiyelerde söz konusu büyük dökümler süresince yeterli sıklıkta; taze beton birim ağırlığı ve slump (çökme) gibi kritik değerler kayıt edilip kontrol altında tutulmaya çalışılsa da, karıştırma sürelerinin belirlenmesi için bu önemli soruna üniformluk (homojenlik) açısından bakmak daha doğru olur. Betondaki karıştırma süresi betonun üniformluğuna diğer bir deyişle homojenliğine bağlıdır. Bundan dolayı, üniformlukla ilgili bazı kriterlerin ortaya konulması gerekir. Sonuçta, dünyada yaygın kabul gören standartları [ACI 304R, ASTM C 94M ve Concrete Plant Standards of The Concrete Plant Ma-

nufacturers Bureau (CPMB) vb.] göz önüne alarak bazı genel kriterler önerilebilir.

2.3.1 Santralde karıştırma süresi

Tüm beton bileşenleri karıştırıcıya eklendikten sonra 35 veya 40 saniye gibi standart bir süre öngörülmesi sakıncalıdır. Gerçekçi bir yaklaşımla, bu süre en azından üniformluğa göre belirlenmelidir. Çünkü, homojen bir karışımın elde edilmesi bir dizi etkene bağlıdır. Bunlardan önemli olanları şöyle sıralanabilir: 1) Karıştırıcının dönme hızı (devir sayısı/dk.), 2) Karıştırıcının kapasitesi, 3) Betonun sınıfı, 4) Betonun su/bağlayıcı oranı, 5) Çimentonun ve mineral katkıının türü, incelikleri ve miktarları, 6) Kullanılan kimyasal katkının performansı ve 7) İnce ve iri agrega oranları. ACI 304R ve ASTM C 94-05, 1 m³ beton için minimum karıştırma süresini 75 dakika olarak tavsiye etmektedir [5]. Eğer, dönme hızı yüksek bir karıştırıcı kullanılırsa bu süre kısaltılabilir. Karıştırma süresini fazla uzatmak ekonomik değildir. Ancak, yeterince homojen karışım sağlanamıyorsa düşük dayanımların elde edilmesi kaçınılmazdır. Bundan dolayı, bir optimum çözümün bulunması gereklidir. Karıştırma süresi arttıkça betonun homojenliği ve basınç dayanımı artmaktadır. Bununla birlikte, metre küp başına 2 dakikadan fazla olan karışım süreleri için dayanımdaki artışlar belirgin değildir [6]. Neville [7], Shalon ve Reinitz'in [8] çalışmasına dayanarak yaptığı değerlendirmede şu sonuçlara varmaktadır: Karıştırma süresinin yetersiz olduğu durumlarda diğer bir deyişle sürenin düşük değerlerinde betonun üniform olmaması nedeniyle çok yüksek veya çok düşük basınç dayanımları elde edilmektedir. Karıştırma süresindeki artışla ortalama basınç dayanımının arttığı, bir dakikadan fazla bir süreyle karıştırmanın beton basınç dayanımını etkilemediği anlaşılmaktadır. Benzer bir sonuç kaynak [6]'da da verilmiştir. Shalon ve Reinitz'in elde ettiği deney sonuçları değişkenlik katsayısı bakımından da tartışılmıştır [7]. Sonuç itibarıyla, 75 dakikalık bir karıştırma süresinin altında değişkenlik (varyasyon) katsayısı yüksek iken söz konusu süreden daha fazla karıştırma ile taze beton üniformluğunda bir değişme olmamaktadır. Hem ortalama dayanımların hedef dayanımın gerisinde kalması, hem de karıştırma süresinin yeterli olmaması olumsuz sonuçlara yol açılabilir. Bu bakımdan karıştırıcıdaki karıştırma sürelerinin de önemli olduğu göz önüne alınmalıdır.

2.3.2 Taze betonda üniformluk (homojenlik) kriterleri

Beton santralinden veya şantiyeye sevk edilen transmikserden alınan taze betonun üniform kabul edilebilmesi için hacmin ilk %15'i ile son %15'inden alınan numuneler üzerinde yapılan karşılaştırmalı deneyler arasındaki fark aşağıdaki tabloda (Tablo 1) her deney için verilen sınır değerden küçük olmalıdır.

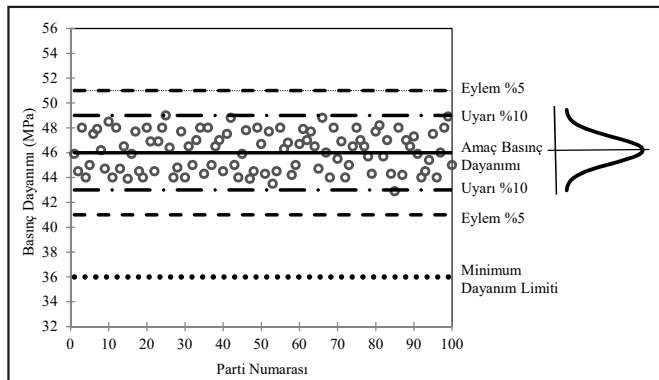
Tablo 1, ASTM C94/94M-12a göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Böylece, betonun üniform kabul edilebilmesi için söz konusu Tablo 1'deki 6 deneyden 5'inde başarı sağlanmalıdır. Sonuçta, taze betonda karışım süresinin yeterli olup olmadığına karar vermek için üniformluk deneylerinin yapılmasının zorunlu olduğu açıktır.

Tablo 1: Taze betonun üniformluğuna yönelik deneyler ve iki numunede izin verilebilen maksimum farklar [ASTM C94/94M-12a]

Gerekli deneyler	Bir beton harmanının iki bölgesinden alınan deney sonuçları için izin verilebilen maksimum fark
Taze betonun birim hacim ağırlığı	16 kg/m³
Hava içeriği	% 1
Slump	Ortalama slump ≤ 100 mm ise 25 mm 100 mm < Ort. slump ≤ 150 mm ise 30 mm Ortalama slump > 150mm ise 40 mm
4 mm'lik elek üstünde kalan iri agregası	% 6
Hava boşluğu içermeyen harcın birim hacim ağırlığı	%1,6
Ort. basınç dayanımı (üç silindir, 7 günlük)	%7,5

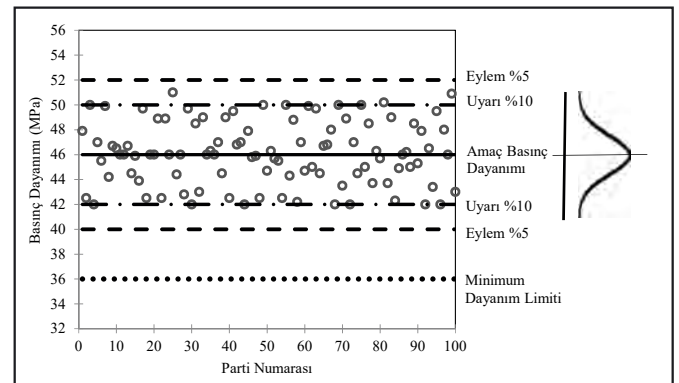
2.4 Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımının İzlenmesi İçin Öneriler

Kontrol diyagramlarıyla basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikler denetlenebileceği gibi, Şekil 1'de verilen örnekte agrega özellikleri yanında çimentonun özellikleri de denetlenebilir. Bu diyagramların yatay eksen zaman, üretim birimi veya denetlenen özelliğin ölçü birimi olabilir. Düşey eksen ise üretim biriminin aritmetik ortalamasını, uyarı ve eylem sınırlarını gösterir [9, 10]. Aşağıdaki kontrol diyagramlarında kullanılan deney sonuçları şematik gösterim olup esas amaç; uygulamada karşılaşılan durumları ve betonun istatistiksel kalite denetimini güvenli biçimde yapmak ve en azından karşılaşılan durumları karakterize etmektir. Bu gösterim amaçlı örneklerde betonun sınıfı C40 olup, numune şekli standart silindirlere (Ø150x300mm) dayanmaktadır.



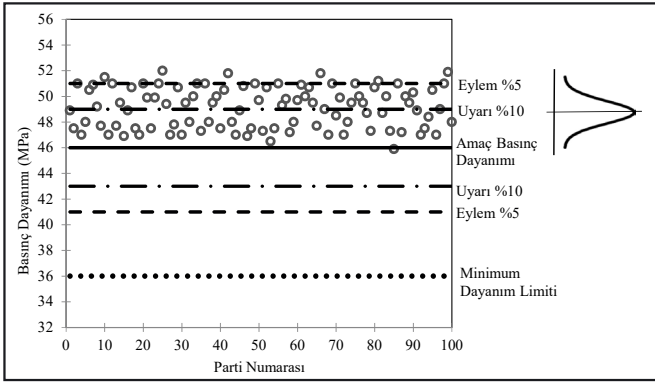
Şekil 2: Ortalama dayanım uygun. Basınç dayanımı sonuçları %10 alt ve üst uyarı sınırı içinde, %5'lik üst ve alt sınırlarına varan değerler yok, dolayısıyla ideal bir dağılım.

Amaç dayanımı $f_{ca} = 40 + 1,48 \times \sigma$ formülü yardımıyla hesaplanmıştır. Buradaki standart sapma (σ) ortalamaya göre yaklaşık %9'luk bir değişkenlik (varyasyon) katsayısı var sayımıyla 4,05 MPa olarak seçilmiştir. Şekil 2'de görüldüğü gibi ortalama dayanım, hedef dayanıma eşit veya üstündedir, standart sapma düşüktür, C40 için deney sonuçlarındaki dağılım uygundur, dolayısıyla böyle bir sonuç ideal durum olarak kabul edilebilir. Şekil 3'te ise ortalama dayanım hedef dayanımın üstünde veya çok yakın, fakat standart sapma yüksek, alt-üst uyarı sınırları ile alt-üst (eylem) sınırları aşılmış durumdadır. Böyle bir dağılım kabul edilmekle birlikte üretim sürdürülebilir nitelikte değildir.

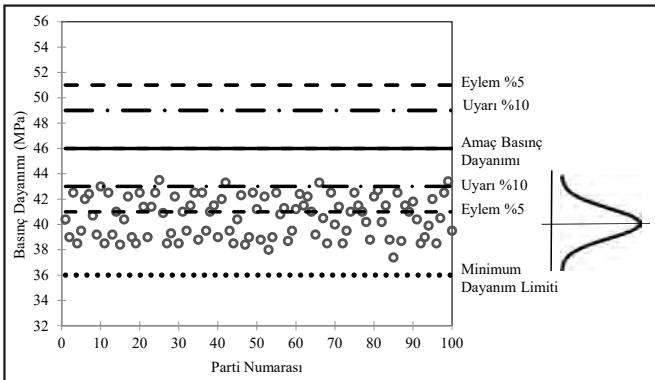


Şekil 3: Ortalama dayanım uygun, ancak hedef dayanımın üstünde, standart sapma çok yüksek, dağılım uygun değil, %10'luk alt ve üst uyarı sınırları ile %5'lik alt-üst sınırları (eylem sınırları) aşılmış, böyle bir üretim sürdürülebilir nitelikte değildir.

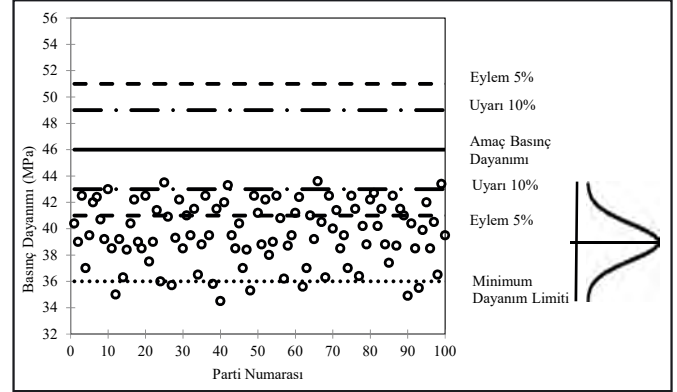
Şekil 4'te ortalama dayanım hedef dayanımın çok üstünde %10'luk üst uyarı sınırı ile %5'lik üst sınır (eylem) aşılmış, standart sapma yüksek olmasa da dağılım özellikle hazır beton üreticisi firma bakımında sakıncalı ve ekonomik olmayan böyle bir üretim şekli, sürdürülebilir nitelikte değildir. Şekil 5 uygun olmayan bir istatistiksel dağılımı göstermektedir. Ortalama, hedef dayanımın epey altındadır. Minimum dayanım koşulu sağlanmakla birlikte, standart sapma yüksek olmasa da çok riskli bir üretim olup ülkemizdeki hazır beton sektörünün bir bölümünün durumunu yansıtmaktadır. Şekil 6'da ise hem minimum hem de ortalama kriterlerin sağlanmadığı oldukça riskli bir üretimin yapıldığı görülmektedir. Maalesef, bu tür çok riskli, standart güvenlikten uzak üretimi sürdüren bazı hazır beton firmaları da vardır.



Şekil 4: Ortalama dayanım uygun değil, çünkü ekonomik ve sürdürülebilir olmayan bir üretim, %5'lik üst sınır (eylem) ve %10'luk üst uyarı sınırları aşılmış.



Şekil 5: C40 için uygun olmayan, riskli bir üretim şekli. Ortalama dayanım hedef dayanımın altında, standart sapma yüksek olmasa da ülke yararının gözetilmediği, iyimser bir varsayımın altına düşmeyen, sürdürülebilir olmayan, özellikle de İstanbul'daki hazır beton dayanımının bir bölümünün durumunu yansıtan fiktif bir örnek.



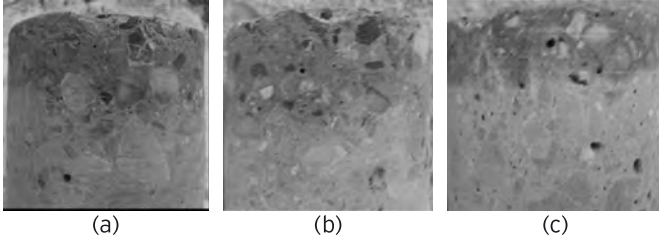
Şekil 6: C40 için uygun olmayan, çok riskli bir üretim şekli. Çok sayıda parti için, ortalama ve minimum dayanım koşullarını sağlamayan, güvenlikten çok uzak, dolayısıyla sürdürülebilir olmayan, İstanbul'daki hazır beton sektörünün az da olsa bir bölümünün durumunu yansıtan olumsuz fiktif bir örnek.

Sonuçta, beton bileşenlerinde ve üretimdeki değişkenliği, diğer bir deyişle, riskleri göz önüne alarak TS EN 206'daki güvenlikte beton tasarımı yapılmalıdır. Aksi takdirde, TS EN 206'daki parti kabul kriterlerine göre; i) ortalama dayanım > karakteristik dayanım + 1 MPa, ii) minimum dayanım > karakteristik dayanım - 4 MPa üretim yapılırsa Şekil 5'deki durum, hatta daha da kötü sonuçların elde edileceği açıktır. Maalesef hazır beton sektörünün bir bölümü bu durumdadır.

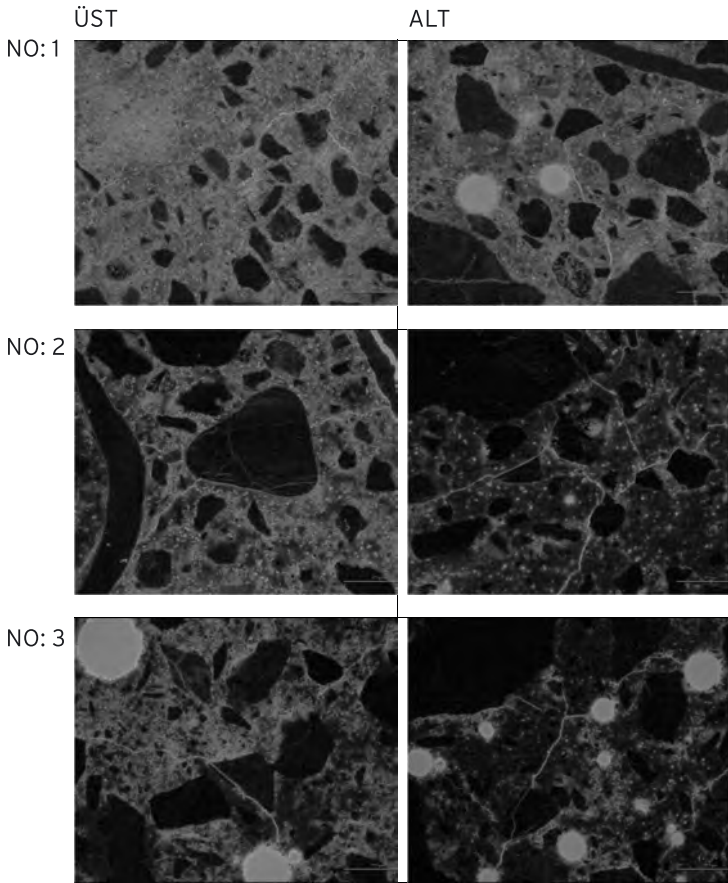
3. YERİNDEKİ BETON

Beton tasarımı ve üretimi uygun yapılmış olsa bile; taşınması, pompalanması ve yerleştirilmesi sırasında ayrışma ve yetersiz koruma ile yetersiz kür koşulları altında yerindeki betonun performansı olumsuz biçimde etkilenebilir.

Şekil 7'de görüldüğü gibi, üç farklı şantiyeden alınan karot numunelerinin kalıba yakın olan üst bölümlerinde yetersiz yerleştirme, muhtemelen yapılmayan vibrasyon nedeniyle boşluklu bir yapının oluştuğu açıktır. Karotlar alındıktan kısa bir süre sonra, yüzeyden itibaren daha derin bölgelerine kıyasla yüzeye yakın kesimde daha çok su emen dolayısıyla boşluklu bir yapının olduğu görülmektedir. Ayrıca, İTÜ İnşaat Fakültesi Altyapı Malzemeleri Laboratuvarında su emme deneyleri sonucunda karot yüzeyine yakın bölgedeki su emmenin karotun diğer ucundaki iç bölgesine kıyasla %9,2 daha fazla su emmiş oldukları anlaşılmıştır. Bununla birlikte, hem alt hem de üst bölümlerdeki mutlak su emme değerlerinin de yüksek olduğunu belirtmek gerekir.



Şekil 7: Farklı üç şantiyeden alınan a, b ve c karot örneklerinde beton pas payı civarında yetersiz yerleştirme ve ayrışmaya bağlı boşluklu bölgelerin derin bölgelere kıyasla daha fazla su emdikleri görülmektedir.



Şekil 8: Üç farklı şantiyeden alınan karot örneklerinde Üst bölgedeki iç yapı ile Alt bölgedeki iç yapının x50 büyütme altında petrografik inceleme ile karşılaştırılması [İTÜ İnşaat Fakültesi Altyapı Malz. Lab.]

Yine aynı laboratuvarında üç farklı şantiyeden alınan karotların yüzeylerinden (Üst) ve daha derindeki kısımlarından (Alt) ince kesitler alınarak petrografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu mikroyapısal incelemeler Şekil 8'de verilmektedir. Genel olarak üst kısımlarda önemli miktarda karbonatlaşma ve yüksek oranda kılcal boşluk bulunmaktadır. Alt kısımlarda ve yer yer üst kısımlarda, çok sayıda mik-

roçatlaklar görülmüştür. Karotlarda plastik rötre ve oturma çatlakları da tespit edilmiştir.

Şekil 7'deki gibi yapılan gözlemlere, laboratuvarında elde edilen su emme değerlerine ve Şekil 8'de verilen petrografik yöntemle belirlenen iç-yapısal değişimlere dayanarak; 1) Elemanın yüzeye yakın bölgelerden alınan karotların BA elemanı yeterince temsil etmediği, 2) Daha da önemlisi, üst bölgenin diğer bir deyişle yapının servis ömründe belirleyici ve kritik bir etken olan pas payı bölgesindeki boşluklu yapının BA elemanın uzun süreli servis ömrünü olumsuz yönde etkileyebileceği söylenebilir.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada varılan sonuçlar ile hazır beton sektöründeki bazı güncel konular hakkındaki görüşler ve öneriler aşağıdaki gibi özetlenebilir:

Ülkemizde en azından bazı firmalarda TS EN 206'da öngörülen %93 güvenlik yerine, aynı standarttaki sadece kabul kriterlerine göre üretim yapıldığı bir gerçektir. Bundan dolayı, sürekli olarak karot alınmasına gidilmektedir. Karot almak kolay görünmekle birlikte değerlendirmek o kadar kolay değildir [11].

Karot numunenin boyutuna, yüzeyinin düzgün olup olmamasına, içerdiği rutubete, yükseklik/çap oranına, donatı miktarına ve konumuna, karot çapı/maksimum agrega boyutu oranına, boşluk içeriğine bağlı olmak üzere dayanım %5 - %20 oranında değişmektedir. Ayrıca, kolon veya perdenin yüzeyinde kalıba yakın donatıların yoğun olduğu bölgede yetersiz yerleştirme (veya ayrışma) ve yetersiz kür nedeniyle bu düşey elemanlardan çıkarılan karotların yüzeye yakın olanlarının basınç dayanımları daha derindekilere kıyasla %15 ila %45 arasında daha düşük olabilir [12].

Derin temeller veya perde gibi kütle beton yapıların hidrasyon ısısının ve bunun sonucunda betondaki sıcaklık artışının termal çatlamalara neden olduğu bilinmektedir. Dolayısıyla derin temel gibi kütle betonlarında veya büyük kesitli BA elemanların dökümünde artan iç sıcaklık göz önünde bulundurulmalıdır. Kütle betonlarında erken yaş çatlakları; rötre, sünme, termal deformasyonlar, elastisite modülünün gelişimi, yarma-çekme dayanımı, yapısal elemanın boyutu ve geometrisi, döküm sırası, kalıp ve izolasyon özellikleri ve kalıp alma süresi kontrol edilerek önlenir. Diğer bir sakınca Gecikmiş Etrenjit Oluşumudur (DEF). DEF, bir erken çimento hidrasyonu ürünü olan mineral etrenjitin gecikmeli oluşumuyla bağlantılı biçimde betonda hacim artışına ve sonuçta betonun çatlamasına neden olabilir. DEF, normal etrenjit oluşumunu engelleyen erken yüksek sıcaklıkların (65°C'nin üstü) bir sonucudur. İlk etrenjit (hidrate olmuş kalsiyum trisülfata-

lüminat) Portland çimentosu hidrasyonunun plastik aşaması sırasında alçı taşı ile C_3A ve C_4AF 'nin reaksiyonundan ortaya çıkan normal bir reaksiyon ürünüdür. Normal sıcaklıklarda çimento hidrasyonu sırasında alüminatlardan oluşan etrenjit, yaklaşık $65^{\circ}C$ 'den yüksek sıcaklıklarda bozulmaktadır ve hem sülfatlar hem de alüminatların C-S-H tarafından tekrar absorbe edildiği bilinmektedir. Ancak, betondaki yüksek sıcaklıklar $65^{\circ}C$ 'nin üzerinde olduğu zaman sülfatlar başka çimento fazlarında birleşebilmektedir. Özetlemek gerekirse, ülkemizde yaygın bir biçimde inşaatı devam eden yüksek yapıların derin temelleri gibi kütle betonlarında sıcaklık hiçbir koşulda $65^{\circ}C$ 'yi geçmemelidir [13-15].

Büyük kesitli BA elemanların diğer bir deyişle kütle betonlarının dökümünde aşağıdaki öneriler de göz önünde bulundurulabilir: i) Yeterli miktarda sıcaklık kaydı tutulmalıdır, ii) Sıcaklık kontrol planları yüksek sıcaklık farklarına karşı etkili olmadığında çok şiddetli çatlaklar oluşabilir. Dolayısıyla önemli BA yapılarda sıcaklıklar kontrol edilirken daha fazla özen gösterilmelidir, iii) Betonun yerleştirilmesinden sonra izin verilebilir maksimum sıcaklık belirtilmelidir, iv) Ortalama beton iç sıcaklığı ile yüzeye yakın sıcaklık arasındaki fark yaklaşık $20^{\circ}C$ 'nin altına düşünceye dek beton temeli korunmalı ve takip edilmelidir, v) Beton mukavemeti yeterince yüksek olduğunda kalıplar erken alınabilir, ancak kalıp alındıktan sonra beton yüzeyi yüksek sıcaklık farklarına karşı korunmalıdır [15]. Kütle beton imalatı sırasında sıcaklık sınırlarına uymak amacıyla bir termal plan ile izleme yapılabilir. Referans olarak laboratuvarında ölçülen beton özelliklerinin, imalat döneminde yerindeki beton üzerinde doğrulanması gereklidir. Betonun yerinde birim ağırlığı, hedef birim ağırlığı (yani gerçek birim ağırlık) ile kontrol edilmelidir. Ayrıca, betonun yerindeki performansının; karıştırma, taşıma, yerleştirme, pompalama, sıkıştırma ve kütleme işlemlerine bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla saha uygulamaları için, karıştırma süresi, işlenebilirlik ömrü, pompalanabilirlik, vibrasyon süresi, kalıp alma süresi, kalıbın kalitesi, kütleme işlemlerinin başlama ve bitiş zamanının yanı sıra, kütlemede kullanılan malzeme ve yöntemlerin test edilmesi için gerçek ölçekli endüstriyel deneme dökümleri gereklidir [13-15].

Kaynaklar

1. Taşdemir, M. A., Akkaya, Y., Erdoğan, S., and Ozturk, M., "Quality Assurance for the Deepest Immersed Tube Tunnel: Mar-maray Project", *Advances in Concrete : An Asian Perspective*, ACECON 2010, Eds. R. Gettu et al., 2010, pp. 252-267.
2. Taşdemir M. A. and Akkaya, Y., "Turkey - Concrete Construction Industry - Cement Based Materials and Civil Infrastructure - (CBM-CI)", *CBM-CI International Workshop*, Ed. S. Ahmad, Karachi, 2007, pp. 185-200.
3. Akkaya, Y. and Taşdemir, M. A., "Turkish Experience in Concrete Construction Industry and Infrastructure", *UNESCO-IPRED-ITU Workshop*, 6-7 July 2009, pp. 159-164.
4. ACI Manuel of Concrete Inspection, SP-2(99), American Concrete Institute, 2005.
5. Neville, A.M., Brooks, J.J., *Concrete Technology*, 2nd Ed., Prentice Hall, London, 2010.
6. Shetty, M. S., *Concrete Technology Theory and Practice*, Revised Ed., S. Chand & Co, New Delhi, 2006.
7. Neville, A. M., *Properties of Concrete*, Fourth Edition, Pearson Education, Third Impression in 2008, Published by Dorling Kindersley (India) Pvt. Ltd., licenses of Pearson Education in South Asia, 1995, 884p.
8. Shalon, R. and Reinitz, R. C., *Mixing time of concrete- technological and economic aspects*, Research Paper, Building Research Station, Technion, Haifa, 1958.
9. Ang, A. H. S. and Tang, W. H., *Probability concepts in engineering planning and design*, Vol. 1: Basic Principles, 1975, 409p.
10. Taylor, G.D., *Materials in construction*, Longman Scientific and Technical, Essex, Second Edition, 1994.
11. Neville, A. M., "Core Tests: Easy to Perform, Not Easy to Interpret", *Concrete International*, Nov. 2001, pp. 59-68.
12. Taşdemir, M. A., "Beton Karotların Değerlendirilmesine Yönelik Önemli Notlar", *Yayınlanmamış bir çalışma*, 2014.
13. Elmaskaya, A. ve Taşdemir, M. A., "Palladium Tower Projesinin Derin Temel Betonunun Sıcaklık Kontrollü Dökümü ve Dayanım Gelişimi", 21-23 Şubat 2013, THBB Beton 2013 Bidirileri, s. 366 - 381.
14. Elmaskaya, A., and Taşdemir, M. A., "Strength Development, Formwork Removal and Temperature Controlled Casting of Concrete In a High-Rise Building", XVII. ERMCO Congress, 4-5 June 2015, Istanbul, pp. 317-331.
15. Yetiş, S., Kaya, A. ve Taşdemir, M. A., "Porta Batumi Tower Projesi Betonlarının Sıcaklık Kontrollü Dökümü, Dayanım Gelişimi, Kalıp Alma Süreleri ve Yüzey Özellikleri", 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan 2015, Antalya, s. 503-516.