THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

2

İÇİNDEKİLER

- ***Herkesin Sorumluluğunda Olan Bir Malzeme: Hazır Beton***
- ***Beton ve Çelik: Uyumlu Birliktelik***
- ***Betonda Nanoteknoloji***
- ***İnşaat Sektöründe Önemli Gelişmeler***
- ***Geçmişten Günümüze Çimento ve Beton***

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.

Aralık, 2021

HERKESİN SORUMLULUĞUNDA OLAN BİR MALZEME: HAZIR BETON

Prof. Dr. Mehmet Ali Taşdemir

Prof. Dr. Yılmaz Akkaya

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 değerin altına düştüğünde gerekli olan onarımlar yapılırsa minimum performansın altına düşmeden beklenilen servis ömrüne erişilebilir [1, 2].

Bilindiği gibi, bir BA yapının inşaatı sırasında izlenen başlıca aşamalar: 1) mevcut zemin ve çevre koşullarına uygun 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 aşamalardır. Sonuçta, ilgili mimar ve mühendisler; i) dayanımı, ii) dayanıklılığı, iii) işlevselliği, iv) estetik ve v) ekonomik olmayı ve v) sürdürülebilirliği göz önüne alarak projenin 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 geçirimliliğine 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.

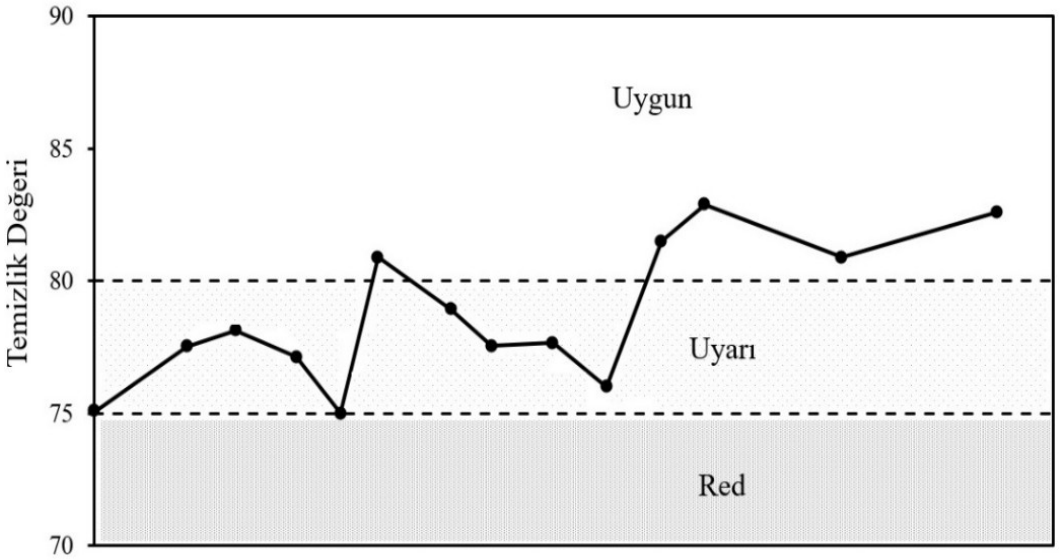
Güncel bilgi birikimine göre bir BA yapıda, betondaki 'su/bağlayıcı' oranının 0,40'ın altında olması halinde karbonatlaşmaya bağlı korozyon ihmal edilebilir. Ayrıca, su/çimento oranı yüksek ise çelik donatı korozyonunun önemli bir nedeni olan klor iyonu geçirimsizliği de sağlanamayacak demektir. Çelik 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 performansa yönelik bir amaç kapsamında betondaki kireci bağlamak için uygun kalite ve miktarda uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis dumanı gibi endüstriyel puzonlarla 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 0,2mm'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 agrega 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 agrega arasındaki uyum ile zaman içinde taze betonun kararlılığının sağlanması da amaçlanmalıdır [1-3].

Agregaların fiziksel, kimyasal, mekanik ve termal özelikleri beton performansını önemli ölçüde etkiler. Kumda bulunan organik maddeler çimentonun hidratasyon reaksiyonlarını olumsuz biçimde etkileyebilir, ancak yıkama ile bu maddeler 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 arttırırlar. Sonuçta, bu tür malzemeleri bağlamak için daha çok çimentoya gereksinim duyulur. Ancak, bu malzemelerin neden olacağı 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 Manufacturers 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/dak.), 2) Karıştırıcının kapasitesi,

3) Betonun sınıfı, 4) Betonun su/bağlayıcı oranı, 5) Çimentonun ve mineral katkının türü, incelikleri ve miktarları, 6) Kullanılan kimyasal katkının performansı ve 7) İnce ve iri agrega oranları. ACI 304R ve ASTM C 94-05, 1m^3 beton için minimum karıştırma süresini 75 saniye 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. Bunula 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 verilmiştir. Shalon ve Reinitz'in elde ettiği deney sonuçları değişkenlik katsayısı bakımından da tartışılmıştır [7]. Sonuç itibariyle, 75 saniyelikk bir karıştırma süresinin altında değişkenlik (varyasyon) katsayısı yüksek iken söz konusu süreden daha fazla karıştırmayla 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

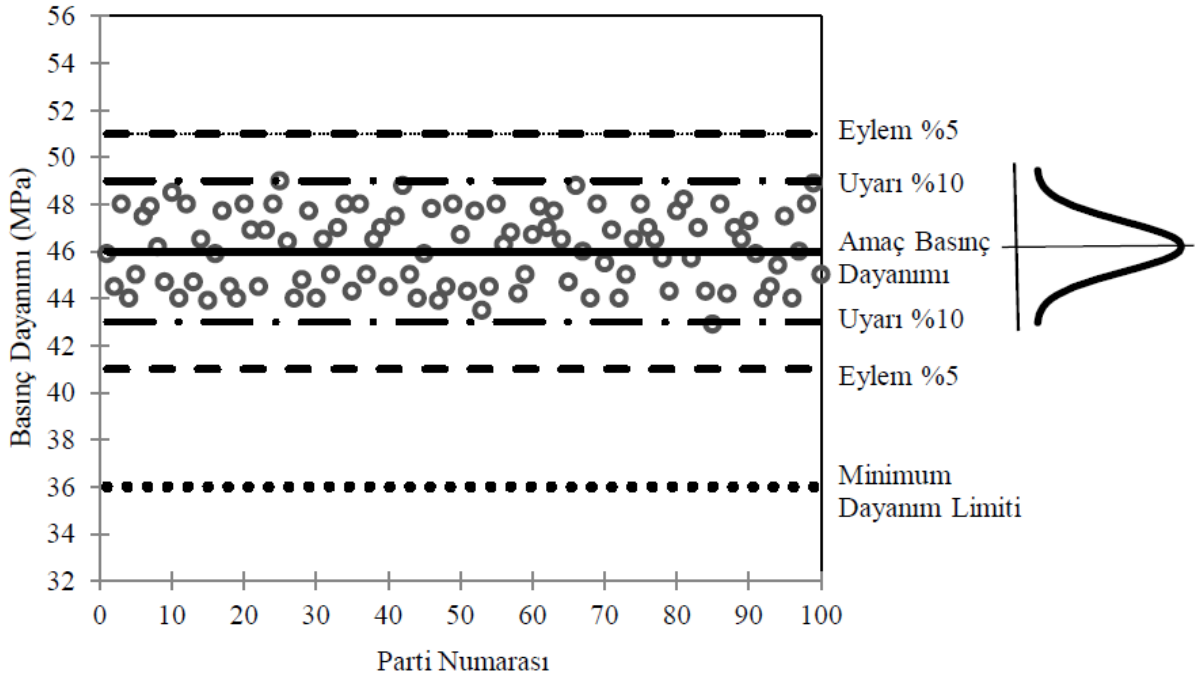
Beton santralından veya şantiyeye sevkedilen transmikserden alınan taze betonun uniform kabul edilebilmesi için hacmin ilk %15'i ila son %15'inden alınan numuneler üzerinde yapılan karşılaştırmalı deneyler arasındaki fark aşağıdaki tabloda (Tablo 1) her deney için verilen sınır değerden küçük olmalıdır.

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/m^3**
Hava içeriği	**%1**
Slump	Ortalama slump ≤ 100 mm ise **25 mm** 100 mm < Ortalama slump ≤ 150 mm ise **30 mm** Ortalama slump > 150mm ise **40 mm**
4 mm'lik elek üstünde kalan iri agrega	**%6**
Hava boşluğu içermeyen harcın birim hacim ağırlığı	**%1,6**
Ort. Basınç dayanımı (üç silindir, 7 günlük)	**%7,5**

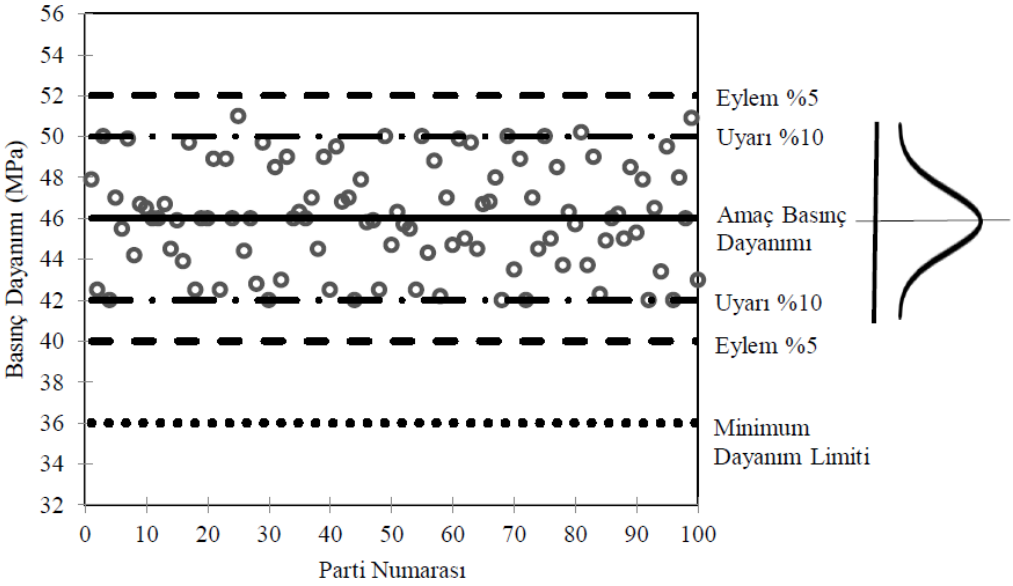
2.4 Sertleşmiş Betonda Basınç Dayanımının İzlenmesi İçin Öneriler



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.

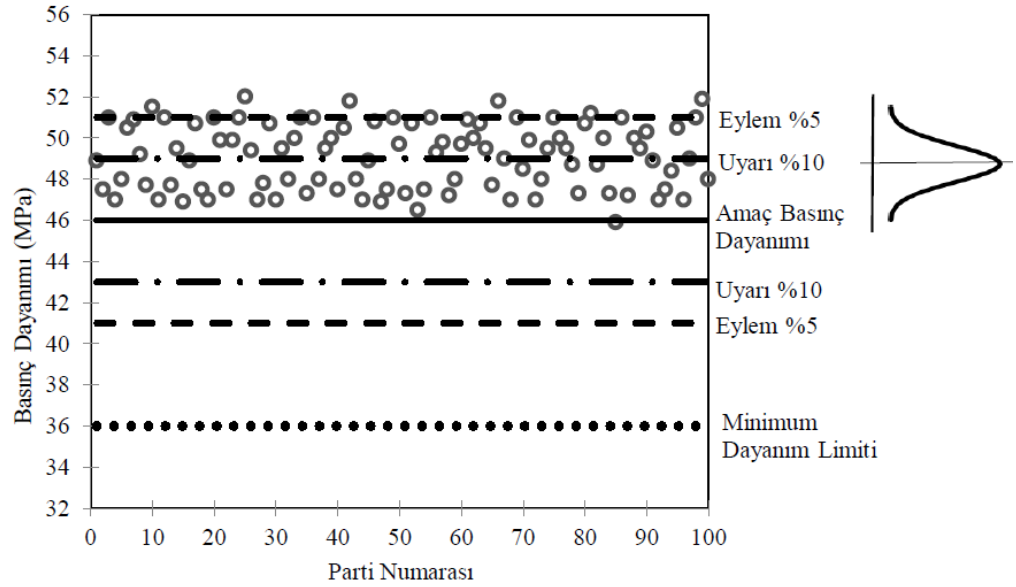
Kontrol diyagramlarıyla basınç dayanımı ve eğilme dayanımı gibi mekanik özelikler denetlenebileceği gibi, Şekil 1'de verilen örnekte agrega özelikleri yanında çimentonun özelikleri de denetlenebilir. Bu diyagramların yatay ekseni zaman, üretim birimi veya denetlenen özeliğin ölçü birimi olabilir. Düşey 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.

Amaç dayanımı f_{ca} = 40 + 1,48 x σ formülü yardımıyla hesaplanmıştır. Buradaki standart sapma (σ) ortalamaya göre yaklaşık %9'luk bir değişkenlik (varyasyon) katsayısı varsayımıyla 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.

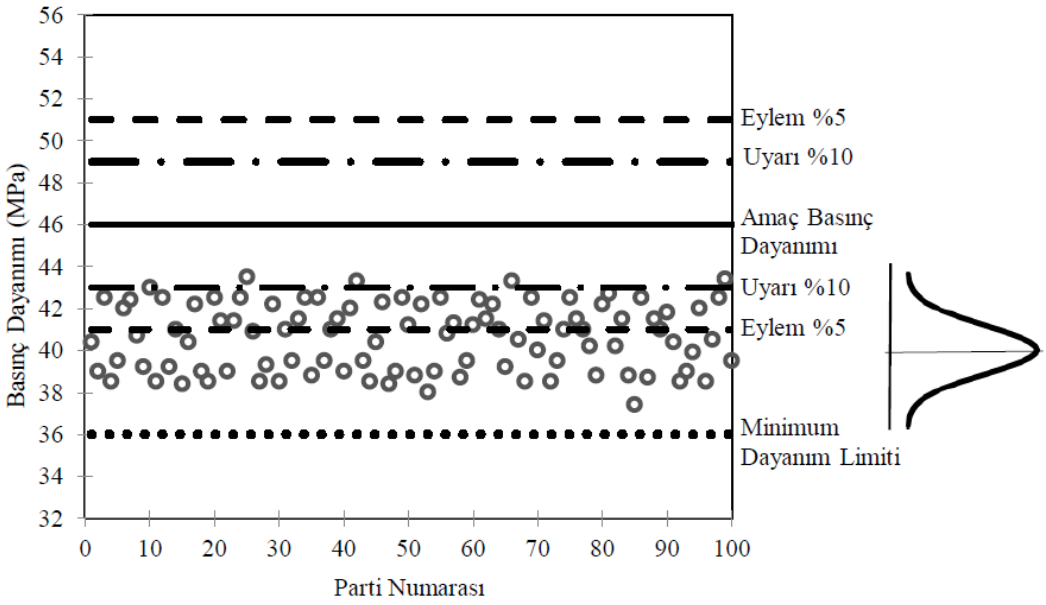


Şekil 3: Ortalama dayanım uygun, ancak hedef dayanımın üstünde, standart sapma çok yüksek, dağılım uygun değil, %10'luk alt ve üst uyarı sınırları ile %5'lik alt-üst sınırlar (eylem sınırları) aşılmış, böyle bir üretim sürdürülebilir nitelikte değildir.

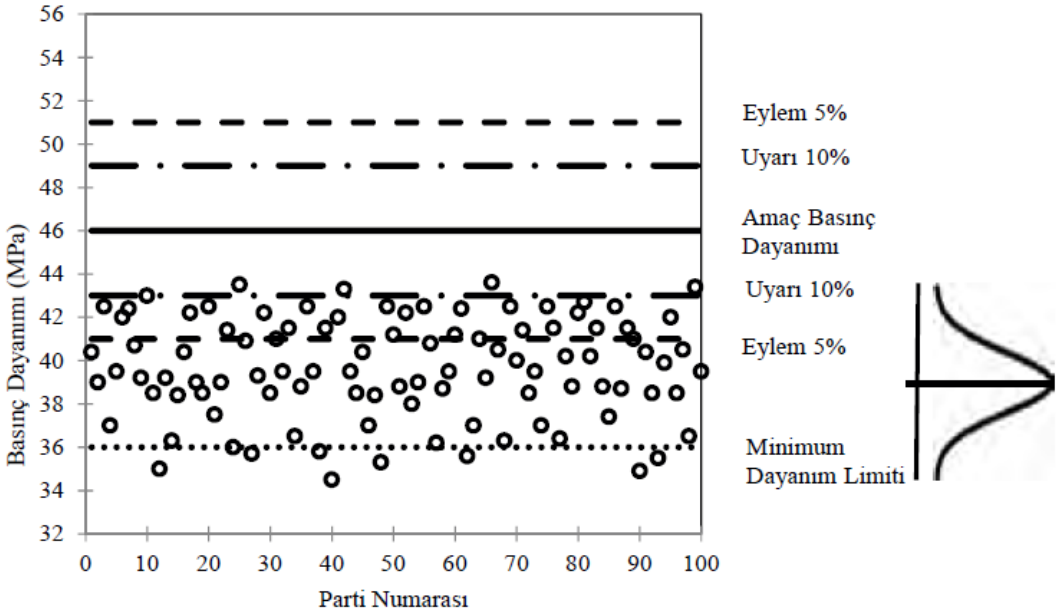
Şekil 4'te ortalama dayanım hedef dayanımın çok üstünde %10'luk üst uyarı sınırı ile %5'lik üst sınır (eylem) aşılmış, standart sapma yüksek olmasa da dağılım özellikle hazır beton üreticisi firma bakımında sakıncalı ve ekonomik olmayan böyle bir üretim şekli, sürdürülebilir nitelikte değildir. Şekil 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 varsayımla minimum dayanımın altına düşmeyen, sürdürülebilir olmayan, özellikle de İstanbul'daki hazır beton dayanımının genel durumunu yansıtan fiktif bir örnek.



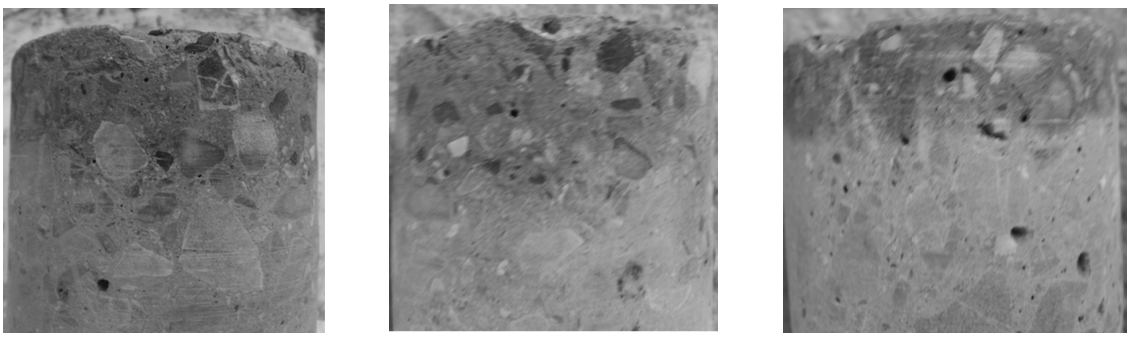
Şekil 6: C40 için uygun olmayan, çok riskli bir üretim şekli. Çok sayıda parti için, ortalama ve minimum dayanım koşullarını sağlamayan, güvenlikten çok uzak, dolayısıyla sürdürülebilir olmayan, İstanbul'daki hazır beton sektörünün az da olsa bir bölümünün durumunu yansıtan olumsuz fiktif bir örnek.

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, İ.T.Ü. 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.

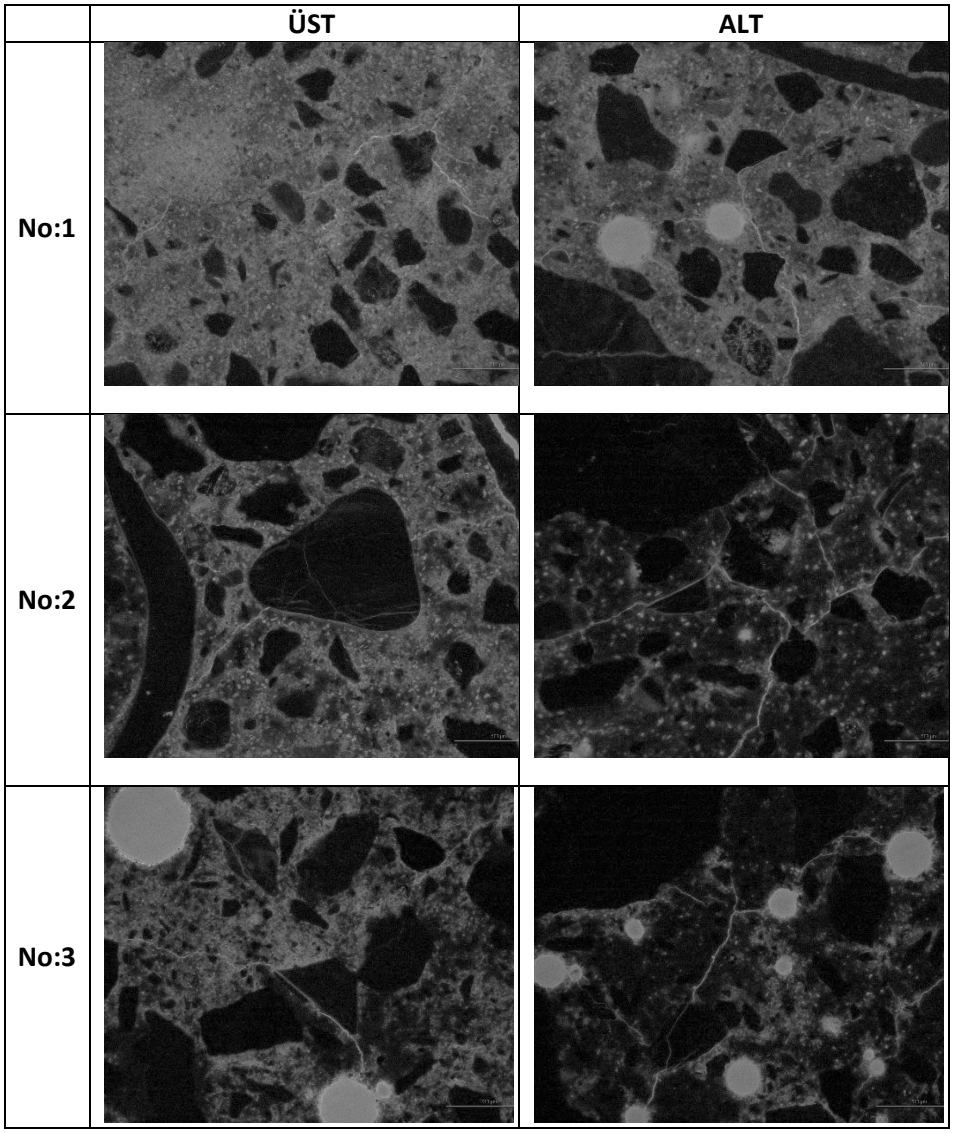


(a) (b) (c)

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 emdikler görülmektedir.

Yine aynı laboratuvarda üç farklı şantiyeden alınan karotların yüzeylerinden (Üst) ve daha derindeki kısımlarından (Alt) ince kesitler alınarak petrografik incelemeler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bu mikroyapısal incelemeler Şekil 7'de verilmektedir. Genel olarak üst kısımlarda önemli miktarda karbonatlaşma ve yüksek oranda kılcal boşluk bulunmaktadır. Alt kısımlarda ve yer yer üst kısımlarda, çok sayıda mikroçatlaklar görülmüştür. Karotlarda plastik rötre ve oturma çatlakları da tespit edilmiştir.

Şekil 7'deki yapılan gözlemlere, laboratuvarda 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.



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 İnşat Fakültesi Altyapı Malz. Lab.]

4. SONUÇ 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 alımına 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. Erken yaş çatlamaları; 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 önlenebilir. 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^{o}C'nin üstü) bir sonucudur. İlk etrenjit (hidrate olmuş kalsiyum trisülfatalüminat) 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^{o}C'den yüksek sıcaklıklarda bozulmaktadır ve hem sülfatlar hem de alüminatların C-S-H tarafından tekrar absorbe edildiği bilinmektedir. Ancak, betondaki yüksek sıcaklıklar 65^{o}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^{o}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 ısıl farklara 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^{o}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 laboratuvarda 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 kürleme işlemlerine bağlı olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Dolayısıyla saha uygulamaları için, karıştırma süresi, işlenebilirlik ömrü, pompalanabilirlik, vibrasyon süresi, kalıp alma süresi, kalıbın kalitesi, kürleme işlemlerinin başlama ve bitiş zamanının yanı sıra, kürlemede kullanılan malzeme ve yöntemlerin test edilmesi için gerçek ölçekli endüstriyel deneme dökümleri gereklidir [13-15].

KAYNAKLAR

1. Taşdemir, M. A., Akkaya, Y., Erdoğdu, S., and Ozturk, M., "Quality Assurance for the Deepest Immersed Tube Tunnel: Marmaray 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 Infrasturucture - (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 Infrasturucture", 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 Kontroll 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 Özelikleri", 9. Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Nisan 2015, Antalya, s. 503-516

**** Bu yazı ilk olarak Beton 2017 Kongresi Bildirileri Kitabında yayımlanmıştır.***

BETON VE ÇELİK: UYUMLU BİRLİKTELİK

İnsanlık tarihi boyunca beton ve çelik, insan ihtiyaçlarını gidermek için farklı şekil ve amaçlarda kullanılmıştır. Beton benzeri malzemenin ilk kullanımı M.Ö. 10.000'li yıllara kadar gitmektedir. Urfa Göbeklitepe'de keşfedilen ilk mabette buna rastlanmıştır. Demir, M.Ö. 500 yılından beri kullanılmaktadır. Çelik malzemesinin patenti ise 1872 yılında alınmıştır.

Beton ve çeliği birlikte kullanma fikrini ilk kez uygulamaya geçiren kişi Fransız Jean-Louis Lambot olmuştur. 1848 yılında betondan yaptığı kayıkları takviye etmek için demir çubuklar ve teller kullanmıştır.

Şekil 1: Jean-Louis Lambot tarafından yapılan demir donatı takviyeli beton kayık

1853 yılında ise ilk betonarme bina Fransa'da yapılmıştır. Binanın tasarımcısı ve mimarı François Coignet Fransız bir sanayicisidir. Coignet, demir takviyeyi betona sağlamlık kazandırmaktan ziyade monolitik yapıdaki duvarların devrilmesini engellemek için kullanmıştır.

Şekil 2: Coignet tarafından 1853 yılında yapılan ilk betonarme bina

Fransız bir bahçıvan olan ve betonarme mucitlerinden biri olduğu bilinen Joseph Monier, harçtan yapılan bir kabuğu tel örgüyle güçlendirerek saksılar yapmış ve bunun da patentini almıştır. 1867 yılında ise Monier, beton kolonları ve kirişleri bir ızgara modeline yerleştirilmiş demir çubuklarla güçlendirmek için daha gelişmiş bir teknik için başka bir patent almıştır. Bu nedenle Monier, betonarmenin mucidi olarak bilinmektedir. Bu öncüler sayesinde betonarme, yaklaşık 150 yıldır dünyanın gelişmesine katkıda bulunmaktadır.

Beton ve çelik için Yin yang malzemeler diyebiliriz. Yin Yang, Uzakdoğu'da özellikle Çin'de karşılıklı zıtlığın denge içerisinde bulunduğu ve birbirinin içinde olduğunu anlatan kavramdır. Siyahın içinde biraz beyaz, beyazın içinde biraz siyah olması aslında zıtlıkların birbirine muhtaç olduğunu ve birliktelikleri ile eşsiz bir uyum oluştuğunu anlatmaktadır. Tam da beton ve çeliğin, farklılıkları ve ortaklıkları ile tam bir uyum içinde olduklarını anlatan bir tabirdir bu.

Dayanım

Betonun en büyük zaaflarından birisi çekme dayanımının çok düşük olmasıdır. Neredeyse basınç dayanımının %10'u kadardır. Oysa, çelik yüksek çekme dayanımı ile öne çıkmaktadır. Beton içinde çelik donatı kullanılarak betonarme yapıda betonun çekme dayanımının neredeyse 100 katı elde edilmektedir.

Aderans

İki malzemenin birbiriyle aderansı yani bağlanması oldukça iyidir, böylece ikisi arasında kayma olasılığı çok azdır. Bunun sonucunda uygulanan kuvvetlere karşı birlikte hareket ederler ve birlikte deforme olurlar. Elde edilen mükemmel bağ; iki malzeme arasındaki kimyasal yapışmanın, çelik donatılarının doğal pürüzlülüğünün ve donatıların nervürlü olmasının bir sonucudur.

Korozyon

Çelik için en büyük risklerin başında korozyon gelmektedir. Oysa betonun yüksek pH değeri çelik için bazik bir ortam sağlar ve korozyona karşı çeliği korur. Betonarme yapılar için en ciddi ve en yaygın çevresel risk korozyondur. Betonun olumlu bir özelliği ile çeliğin olumsuz bir özelliği buluştuğunda son derece kullanışlı bir malzeme ortaya çıkmaktadır.

Termal Genleşme

Betonarme yapılar elbette sıcaklık değişimleri nedeniyle ısıl genleşmeye maruz kalacaktır. Eğer betonun ve çeliğin ısıl genleşme katsayıları çok farklı olsaydı birbirlerinden farklı harekete edecek ve bunun sonucunda aralarındaki aderans bozulacaktı ve yapı hasara uğrayacaktı. Neyse ki betonun ve çeliğin ısıl genleşme katsayıları oldukça yakındır. Betonun genleşme katsayısı ortalama $10^{o}Cx10^{-6}$ ve çeliğin genleşme katsayısı ortalama $12^{o}Cx10^{-6}$'dir.

Yüksek Sıcaklık

Çeliğin bir diğer zaafı ise yüksek sıcaklıklarda performansını hızlıca kaybetmesidir. Beton ise çeliğe oranla yüksek sıcaklıklara daha dayanıklıdır. En azından C-S-H jellerinin bozulmaya başlayacağı 500°C-600°C'lere kadar bütünlüğünü koruyabilmektedir. Bu sayede beton çeliği koruyabilmektedir.

Süneklik

Çelik sünek beton ise gevrek bir malzemedir. Gerçi beton için tam olarak gevrek demek doğru olmasa da daha çok gevrek davranış gösterir. Mühendislik yapıların gevrek olmasını istemez. Betonun bu olumsuz özelliği çelik sayesinde giderilmektedir.

BETON		ÇELİK		BETONARME
YANGINA DİRENÇLİ		YANGIN DİRENCİ ZAYIF		BETON ÇELİĞİ SARARAK KORUR.
YANICI DEĞİL		YANICI DEĞİL		YANICI DEĞİL
ALKALİN		KOROZYON DİRENCİ ZAYIF		BETON ÇELİĞİ SARARAK KORUR.
GEVREK		SÜNEK		İKİ TÜRLÜ ÇALIŞIR.
BASINÇTA İYİ		ÇEKMEDE İYİ		ÇEKME VE BASINÇTA ÇALIŞIR.
ÇEKMEDE ZAYIF		BURULMADA ZAYIF		BİRLİKTE ÇALIŞINCA ZAYIFLIK AZALIR.

Referans: ***www.betonvecimento.com***

BETONDA NANOTEKNOLOJİ

Nanoteknoloji, maddenin yaklaşık 1 nm ile 100 nm arasındaki boyutlarda anlaşılması ve kontrol edilmesiyle ilgili gelişmekte olan bir bilim alanıdır. Nanoteknoloji, nano ölçekte yani moleküler düzeyde malzeme özelliklerinde kontrol ve müdahaleye izin verir. Nanoteknoloji, nano ölçekte maddenin görüntülenmesi, ölçülmesi, modellenmesi ve değiştirilmesini içeren bilim, mühendislik ve teknolojiyi kapsamaktadır.

Hâlâ temel araştırma düzeyinde olmasına rağmen betonun bazı özelliklerinin iyileştirilmesi konusunda son derece cesaret verici sonuçlar elde edilmiştir. Bunlar:

- Mekanik ve elektrokimyasal özellikler (dayanım, süneklik, elektriksel iletkenlik, korozyon önleme)
- Dürabilite (su geçirimsizlik)
- Yüzey kaplamalarının uygulanmasıyla donatı yüzeyinin korunması (nanomodifiye takviye)
- Beton teknolojisi (işlenebilirlik)
- Uzun vadeli bakım ve izleme (mikro çatlakların kendi kendine iyileşmesi, nem, sıcaklık ve gerilme gibi parametreleri inceleme ve tespit etme yeteneği)

Dünyadaki en yaygın kullanılan malzeme olan beton, nano yapılı ve çok fazlı kompozit bir malzemedir. Beton, nanometre ile mikrometre arası boyutlarda kristallerden oluşan amorf fazdan ve bağlanmış sudan oluşur. Betonun özellikleri ve bozulma mekanizmaları, her bir ölçeğin özelliklerinin bir sonraki daha küçük ölçeğin özelliklerinden türediği çoklu uzunluk ölçeklerinde (nano-mikro-makro) bulunur. Betonun nano mühendisliği, (a) katı fazlarda, (b) sıvı fazlarda veya (c) sıvı-katı ve katı-katı arasındaki ara yüzler gibi üç konumdan birinde veya daha fazlasında gerçekleşir.

Beton malzemelerin mekanik davranışı büyük ölçüde mikro ve nano ölçekte etkili olan yapısal elemanlara ve olaylara bağlıdır. Çimentolu sistemlerde dayanım ve diğer özelliklerden sorumlu birincil bileşen olan kalsiyum silikat hidrat (CSH) fazının boyutu, birkaç nanometre aralığında yer almaktadır. CSH'ın yapısı, ara katman ve adsorbe edilmiş su ile doldurulmuş jel gözenekleriyle ayrılmış ince katı katmanlar ile kile çok benzemektedir. Bu, betonun performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir, çünkü beton yapısı plastik rötre (büzülme) ve dolayısıyla çatlaklara neden olan nem hareketine duyarlıdır.

Beton teknolojisinde nanoteknoloji kullanımı aşağıdaki önemli gelişmelere neden olabilecektir:

- Mekanik ve dayanıklılık özellikleriyle ölçülen yüksek performanslı çimento ve beton malzemelerin geliştirilmesi;
- Farklı olumsuz ortamlar için mühendislik yoluyla sürdürülebilir beton malzeme ve yapıların geliştirilmesi, çimento üretimi sırasında enerji tüketiminin azaltılması;
- Nanoteknoloji tabanlı kendi kendini algılayan ve kendi kendine çalışan malzemeler ve siber altyapı teknolojilerinin entegrasyonu yoluyla akıllı beton malzemelerin geliştirilmesi;
- Nanoteknoloji tabanlı yenilikçi çimentolar yoluyla yeni beton malzemelerin geliştirilmesi;
- Betonun nano, mikro, mezo ve makro ölçekte gelişmiş karakterizasyonu ve modellemesi yoluyla beton için temel çok ölçekli modellerin geliştirilmesi.

Beton Nanoteknolojisinde Son Gelişmeler

Nanoteknoloji esaslı bazı ürünler, çözelti şeklinde nano malzemelerin eklenmesiyle betonun geçirgenliğini azaltmak için pazara girmiş durumdadır. Servis sırasında malzemenin performansındaki anlık iyileşme (renk kararlılığı, yüzeyde mantar oluşumuna karşı direnç, dayanıklılık) nedeniyle, bu ürünler yapısal ve mimari uygulamaları (beton bloklar, parke taşları, harçlar) hedeflemektedir. Bu alandaki muazzam gelişmenin şüphesiz inşaat sektörünü ve dolayısıyla çimento ve betonu da etkileyeceği tahmin edilmektedir. Gelişmelerden bazıları aşağıda belirtilmektedir:

- Nano silika (SiO_2): Nano- SiO_2, yüksek saflıkta amorf silika tozundan oluşan malzemedir. Küçük parçacık boyutu nedeniyle, nano-SiO_2 geniş özgül yüzey alanı, güçlü yüzey adsorpsiyonu, büyük yüzey enerjisi, yüksek kimyasal saflık ve iyi dağılım avantajlarına sahiptir. Beton yüzeyine nano-silika modifiyeli kaplama uygulanarak betonun karbonatlaşması engellenebilir. Bunun nedeni nano-SiO_2 partiküllerinin betondaki mikroskobik kusurları ve ultraviyole ışınlarının polimer moleküllerine verdiği zararı azaltmasıdır. Belirli bir doz aralığında hidratlı kalsiyum silikat jelleri (C-S-H) ve ettrinjit kristalinin (AFt) kütlesi nano-SiO_2 içeriğinin artmasıyla kademeli olarak artabilmektedir. Nano-SiO_2'in betona ilave edilmesi, geri dönüştürülmüş agregalı betonun gözenek yapısını optimize edebilir ve klorür iyonlarının difüzyon kapasitesini sınırlayabilir. Çimentolu sistemlere nano-SiO_2 eklenmesi, betonun erken hidrasyonunu hızlandırabilir, bu da betonun erken dayanımını güçlendirmek için çok faydalıdır. Nano-SiO2 partiküllerinin eklenmesi mekanik özellikleri önemli ölçüde iyileştirmese de, klorür iyonlarının penetrasyonunu önemli ölçüde azaltabilir ve betondaki çelik çubukların korozyonunu önlemeye yardımcı olabilir. Yüzey koruma malzemeleri nano-SiO_2 ve silis dumanı modifiyeli harç kullanılarak hazırlanabilir. Bu malzeme beton yüzeye kaplandığında beton iyi bir sızdırmazlık gösterir. Nano silika parçacıkları harç dayanımını arttırmada da etkilidir, çünkü nano-SiO_2 sadece matristeki gözenekleri doldurmakla kalmaz, aynı zamanda puzolan reaksiyonunu teşvik etmek için aktivatör görevi görür. Betona uygun miktarda nano-SiO_2 eklemek, ara yüz mukavemetini artırabilir ve gözenekleri iyileştirebilir, bu da betonun su geçirgenliğini etkili bir şekilde azaltabilir.
- Elektrik ark fırınından elde edilen nanometre boyutundaki franklinit parçacıkları, Portland çimentosu ile yapılanlara kıyasla üstün beton dayanımı performansı göstermektedir.
- Hidrofobik olan organo-modifiye montmorillonit parçacıkları çimento harcı ve betonun hem dayanımını arttırır ve hem de geçirgenlik katsayısını azaltır.
- Nano Portland çimentosu, alev püskürtme sentezi ile üretilen kalsiyum silikat esaslı nanopartiküllere sahiptir. Geleneksel Portland çimentosuna kıyasla ilk reaktivitede on kat artış göstermektedir.
- Karbon nanotüpler, çimento esaslı malzemelerde nano takviye olarak kullanılır. İyileştirdiği elastisite modülü ve çekme dayanımı ile olağanüstü dayanım performansı sağlar.
- Nano gözenekli ince film, betonda ara yüzey geçiş bölgesini iyileştirmenin ve böylece betonun performansını arttırmanın etkili bir yoludur.
- Kendi kendini iyileştiren polimerler, mikrokapsüllenmiş iyileştirici ajan ve katalitik kimyasal tetikleyici içerir. Çimento harcına eklenen bu polimer sayesinde beton mikro çatlakları kapanarak iyileşmektedir.
- Silikon dioksit nano partiküller, betonda mekanik performansı iyileştirir.

- Titanyum dioksit nano partiküller, hızlı hidrasyon, yüksek hidrasyon derecesi ve kendi kendini temizleme (betonda) gibi harika özelliklere sahiptir.
- Demir oksit nano partiküller, betonda basınç dayanımını arttırmak ve aşınmaya dayanıklılık için kullanılır.

Nanoteknoloji İhtiyacı

Nanoteknoloji, sadece malzeme özelliklerini ve işlevlerini geliştirmek için değil; aynı zamanda enerji tasarrufu bağlamında da düşünülmelidir. Kullanılan tüm enerjinin yüksek bir yüzdesi ısıtma, aydınlatma ve klima gibi uygulamalar tarafından ticari binalar ve konutlar tarafından tüketildiği için bu oldukça önemlidir. TiO_2, Al_2O_3 veya ZnO nanopartikülleri, bu özelliği yüzeylere getirmek için seramik malzemelerde kullanılmaktadır. TiO_2, UV ışığına maruz kaldığında kiri veya kirliliği parçalama ve ardından fayans, cam ve sıhhi tesisat gibi yüzeylerde yağmur suyuyla yıkanmasına izin verme yeteneği için kullanılmaktadır. ZnO, hem kaplamalarda hem de boyalarda UV direncine sahip olmak için kullanılmaktadır. Nano boyutta Al_2O_3 parçacıkları, yüzeyleri çizilmeye karşı dirençli hale getirmek için kullanılmaktadır. Bu yüzeyler aynı zamanda kötü koku, mantar ve küf oluşumunu da engeller.

Nanoteknoloji, daha iyi yalıtım özelliklerine sahip malzemelerin geliştirilmesine ve enerji kullanımını optimize edebilen akıllı yapılara imkân sağlayabilir.

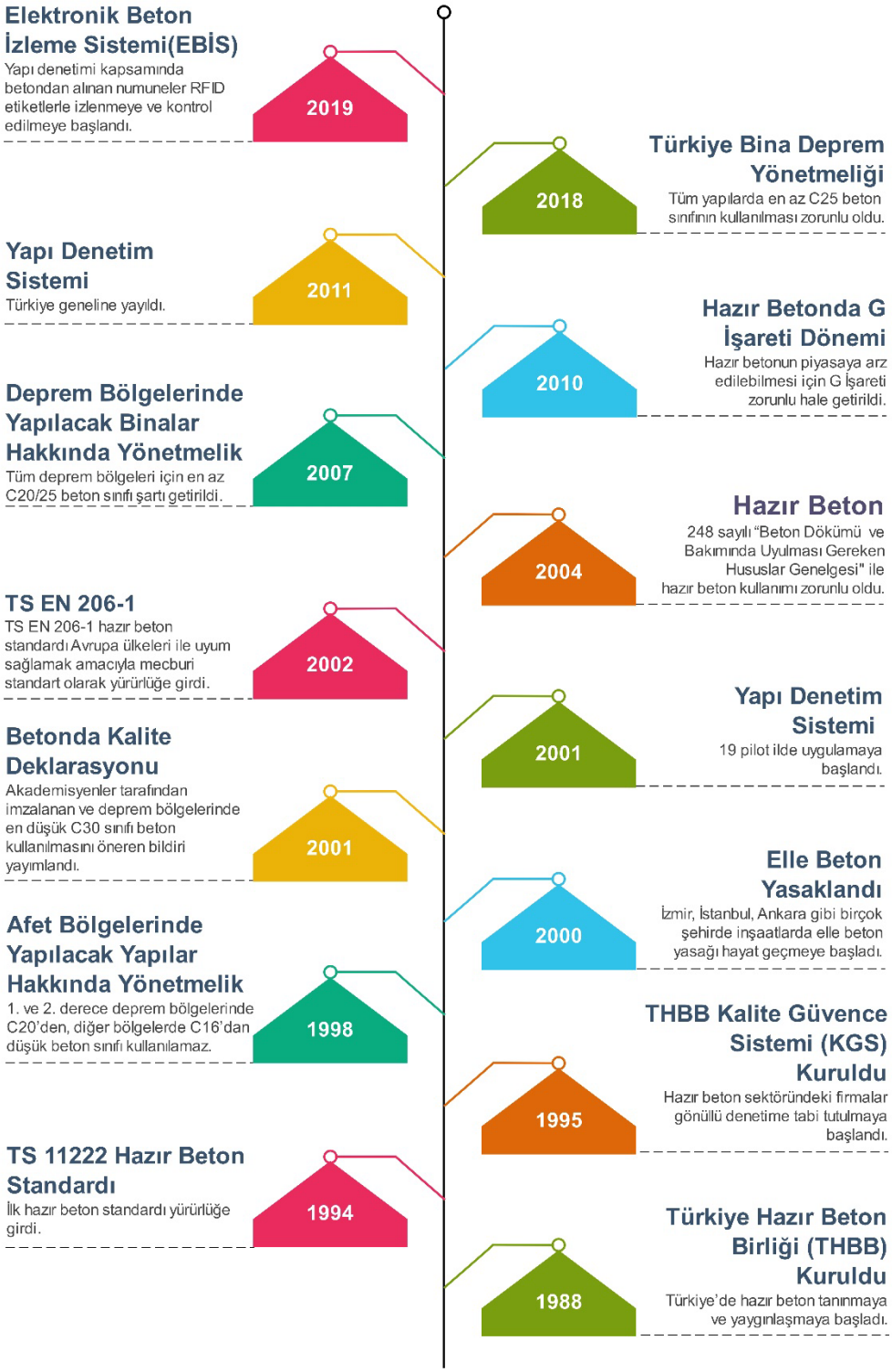
Sonuç

Sürdürülebilir inşaatta nanoteknolojinin benimsenmesi konusunda önemli başarılar elde edilmektedir. Ancak, halen keşfedilecek çok şey bulunmaktadır. Sürdürülebilir inşaatta nanoteknoloji kapsamındaki gelişmeler, beton bileşenlerinin nanoskopik özelliklerine bağlı olan reoloji, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin iyileştirilmesini içermektedir.

Nanoskopik beton ve bileşen seviyesindeki herhangi bir değişiklik, dayanım ve dayanıklılık özellikleri de dâhil olmak üzere betonun davranışını etkiler. Bu nedenle, gelecekte beton ve sürdürülebilir yapı malzemelerinin performansının, bu malzemelerin atomlarını ve moleküllerini ve bileşenlerini nano ölçekte manipüle etmek için nanoteknolojinin uygulanmasıyla büyük ölçüde artırılacağı tahmin edilmektedir.

Referans: ***www.betonvecimento.com***

İNŞAAT SEKTÖRÜNDE ÖNEMLİ GELİŞMELER



GEÇMİŞTEN GÜNÜMÜZE ÇİMENTO VE BETON

İnsanoğlunun, yeryüzündeki varlığını sürdürebilmesi için beslenmeden hemen sonra karşılamak zorunda olduğu barınma ve ortak yaşam alanları oluşturma gereksinimi, uygarlık tarihindeki önemli gelişmelerin de itici gücü olmuştur. İlkel çağların mağaralarında başlayıp, günümüzün devasa gökdelenlerine kadar gelen bu süreçte büyük ilerlemeler kaydedilmesini sağlayan iki temel buluştan söz etmek mümkündür: Çimento ve Beton. Çimentonun doğal hammaddesini oluşturan ilk rezervler, milattan tam 12 milyon yıl önce bugün İsrail'in bulunduğu topraklarda oluşmaya başladı. İnsanlık tarihinde, beton benzeri karışımların kullanıldığı ilk yapılar ise milattan önce 5600 yıllarında ortaya çıktı. Milattan önce 3000 yıllarında, Mısır'ın piramitlerinde ve Çin Seddi'nin yapımında kireç ve alçı esaslı harçlar kullanıldı. Romalılar kireci ve İtalya'nın Pozzuoli bölgesine yakın bir yerde buldukları volkanik külü bir araya getirip, bağlayıcı malzeme olarak kullandılar ve buna puzzolan çimento adını verdiler. Şu anda İtalya'da bulunan Pantheon (MS 126), Colosseum (MS 70-80), Roma Hamamları gibi pek çok Roma yapısı ve yaklaşık 8.000 km uzunluğundaki Roma yolu bu malzeme ile yapıldı.

Milat'tan sonra 27 yılında, Romalı Pollio Vitruvius'un mimari ile ilgili kitaplarında ilk kez betonun özelliklerinden bahsedildi. Bundan yaklaşık 500 yıl sonra (537), insanlık tarihinin en önemli yapılarından biri olan Ayasofya'nın yapımında beton kullanıldı. 1000'li yıllara doğru ise Orta Asya ve Anadolu'da Türkler ve Persler, kullanıldığı bazı yapı örnekleri bugün de ayakta olan "Horasan Harcı" adlı çok güçlü bir bağlayıcı geliştirdiler. Edirne'de horasan harcının kullanıldığı SelimiyeCamii (1575) güzel bir örnektir.

Modern anlamda çimento, beton ve betonarme ise 19. yüzyılda ortaya çıktı. 1812 yılında Fransa'da, Louis Vicat ilk yapay çimentoyu üretti. 1824 yılında, İngiliz Joseph Aspdin "Portland Çimentosu"nu geliştirdi. 1850 yılında Fransız bahçıvan Joseph Monier, daha sağlam saksılar üretmek için betona demir çubuklar ekleyince betonarme ortaya çıktı.

Bu buluşların ardından çimento ve betonun ürün özelliklerine ve kullanımına ilişkin yenilikler birbiri ardına geldi. 1879 yılında İskoçya'da Portland çimentosu kullanılarak ilk beton yollar yapıldı. Bunu 1889'da Fransa'da yapılan ilk betonarme köprü izledi. 1902 yılında Fransız mimar Augus Perret, ilk apartman binasını tasarladı ve inşa etti. Bu yapı, yük taşıyan duvarlar yerine kolon, kiriş ve döşemelerin kullanıldığı ilk yapı olarak inşaat biliminde önemli bir yenilikti. Ancak, inşaat teknolojisinde çığır açan asıl büyük yenilik bundan 1 yıl sonra, 1903 yılında Almanya'da yaşandı.

Hazır beton bulunuyor

"Harç veya betonun inşaatta kullanılmaya hazır bir malzeme olarak şantiyeye getirilebilmesi kuşkusuz büyük bir avantaj olurdu." 1872 yılında dile getirilen ve İngiliz Mühendis Deacon'a atfedilen bu hayal İngiltere'de değil ama bir süre sonra Almanya'da hayata geçti.

1880'li yıllarda Berlin ve çevresindeki inşaatlarda yapı ustaları, harç önceli bir tür karışımı atlı arabalarla şantiyeye taşıyor ve bu karışım şantiyede beton haline getirilerek kullanılıyordu. Ancak, kum, çakıl, çimento ve suyun belli oranlarda karıştırılarak, inşaatta doğrudan kullanılmaya hazır bir malzeme halinde şantiyeye taşınmayı ilk kez Jürgen Hinrich Magens adında, Hamburg'lu bir yapı ustası başardı. Hamburg Eyalet İdaresi'nde yapı işleri şefi olarak görev yapan Magens, "Hazır Betonun

Bağlayıcılık Özelliğini Kaybetmeden Koruma İşlemi" fikrinin patentini aldığında tarih 10 Ocak 1903'ü gösteriyordu. Böylece, Almanca'daki adıyla "Transportbeton", yani "Taşıma Beton", Türkçe söylenişiyle de "Hazır Beton" dünyaya gelmiş oldu.

Hazır betonun 1903 yılında tarih kayıtlarına geçmesinden sonraki gelişimi hızlı oldu. Kısa zamanda yalnız Hamburg'da değil, Almanya'nın tümündeki inşaatlarda hazır beton kullanılmaya, pek çok bölgede hazır beton üreten tesisler kurulmaya başlandı.

Transmikser hazır betonun yaygınlaşmasını sağlıyor

Hazır beton, Almanya'da doğuşundan kısa bir süre sonra Alman göçmenlerinin de etkisiyle Kuzey Amerika'ya sıçradı ve burada daha da hızlı yaygınlaştı. Ancak, hazır betonun yaygınlaşmasına en büyük katkı 1916 yılında bir Türkiye göçmeninden geldi. Stephan Stephanian hazır betonun taşınması için özel olarak tasarladığı "Transmikser" adlı araç hazır betonun yaygınlaşmasını daha artırdı.

Beton pompasının geliştirilmesiyle döküm pratik hale geliyor

Transmikserlerin kullanılmaya başlanmasının ardından, şantiyede beton dökümünü çok daha pratik hale getiren bir başka araç olan "Beton Pompası" geliştirildi. 1927 yılında Alman mühendisler Max Giese ve Fritz Hell, betonun karıştırma makinesinden kullanıldığı yere pompalanması fikri üzerinde çalışmaya başladılar ve bu amaçla geliştirdikleri "Beton Harç İletme Pompası" adlı aracın patentini aldılar.

Betonun performansı katkılarla gelişiyor

Hazır betonun tesisten şantiyeye taşınması ve aktarılmasında kullanılan transmikser ve beton pompasının geliştirilmesiyle, hazır betonun dünya çapındaki yaygınlığı daha da arttı. Sonra ki yıllarda kaydedilen teknolojik yeniliklerle, özellikle kimyasal katkıların, liflerin ve fiberlerin betonda kullanılmaya başlanmasıyla, değişik kullanım amaçlarına yönelik, yüksek dayanımlı ve çevre koşullarına daha dayanıklı betonlar üretilmeye başlandı.

Betonun yolculuğu devam ediyor

Beton, günümüzün en yaygın ve ekonomik taşıyıcı yapı malzemesi olarak, insan yaşamında vazgeçilmez bir yere sahip. Günümüz teknolojisiyle, beton kullanıcısına sınırsız imkanlar sağlıyor. Karayollarından denizaltı tünellerine, köprülerden gökdelenlere kadar pek çok farklı alanda, farklı amaçlarla betondan yararlanılıyor. Bugün ultra yüksek dayanımlı betonlarla açıklığı 130 metreyi geçen 3 cm kalınlığında köprüler inşa edilebilirken, binaların dış cephelerinde kendiliğinden yerleşen betonlarla yüz mimiklerinin bütün detayları ile ifa· de edildiği heykeller yapılabiliyor. Tasarımcıların elinde birer sanat eserine dönüşen betondan, parfüm şişesi, bilezik, tabure, kitaplık, kalem, telefon şarj yuvası, hava nemlendirici, bardak, USB bellek, maket uçak gibi birçok ürün yapılabiliyor. Bu nedenlerle, günümüzde çok geniş bir kullanım alanı olan beton, sudan sonra dünyada en fazla tüketilen malzeme haline gelmiştir.

Uygarlıkların tarihinde önemli bir yeri olan bu mucizevi malzemenin gelişim yolculuğu halen sürüyor. Üniversiteler, laboratuvarlar, sektöre! kuruluş ve enstitülerde çimento ve hazır betonun niteliklerini geliştirmeye yönelik araştırmalar aralıksız devam ediyor. Bu doğrultuda betonun performansı her geçen gün daha da yükseliyor.

Çağdaş Anlamda Dünyada Betonun Gelişimi	
1813	Fransa'da Louis Vicat ilk yapay çimentoyu üretti.
1824	Bir İngiliz duvarcı ustası olan Joseph Aspdin "Portland Çimentosu"nun patentini aldı
1836	Betonla ilk basınç ve çekme dayanımları deneyleri Almanya'da yapıldı.
1850	Joseph Monier, daha sağlam saksılar üretmek için betona demir çubuklar ekledi ve betonarmeyi buldu.
1879	İskoçya'da ilk beton yollar yapıldı.
1889	İlk betonarme köprü Fransa'da inşa edildi.
1902	August Perret yük taşıyan duvarlar yerine kolon, kiriş ve döşemelerin kullanıldığı ilk yapıyı tasarladı.
1903	İlk betonarme yüksek bina Cincinnati, ABD'de yapıldı.
1903	İlk hazır beton Almanya' da üretildi.
1916	ABD'de bir Türkiye göçmeni ilk transmikseri icat etti.
1930	Betonda hava sürükleyici katkı kullanılmaya başlandı.
1936	İlk önemli beton baraj, Hoover Barajı inşa edildi.
1948	Öngermeli beton üretildi.
1980	Beton katkısı olarak süperakışkanlaştırıcılar kullanılmaya başlandı.
1985	Bir mineral katkı olan silis dumanı kullanılmaya başlandı.
1993	Mikrofiberler betonda kullanılmaya başlandı.
21.yy	Hedef »» Yüksek Performans

**** Bu yazı ilk olarak Hazır Beton Dergisi'nin Eylül-Ekim 2013 tarihli 119. sayısında yayımlanmıştır.***

www.thbb.org

www.thbbakademi.org