

BETONARME YAPILARIN GÜÇLENDİRİLMESİNDE BETON PERFORMANSININ ÖNEMİ VE YERİNDE DAYANIMIN BELİRLENMESİ

Prof.Dr. M. Hulusi ÖZKUL , Prof.Dr. M.Ali TAŞDEMİR

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Maslak- İstanbul

Özet

Betondan beklenen ana nitelikler belirtilmekte, dayanım ve dürabiliteye göre tasarımın ilkeleri verilmekte ve bileşenlerin betonun performansındaki önemi açıklanmaktadır. Betonarme yapılarda yerinde beton kalitesinin belirlenmesi için yıkıntılı ve yıkıntısız deney yöntemleri verilmektedir.

1. Giriş

Sertleşmiş betondan beklenen dayanımlı, dayanıklı ve ekonomik olmasıdır. Son depremler sırasında büyük hasar gören yapılar incelendiğinde yapılaşmanın hızlı olduğu bölgede betonla ilgili temel bilgilerin kullanılmadığı ve gerekli denetimlerin yapılmadığı belirgin biçimde ortaya çıkmıştır. Beton hacminin yaklaşık %70' ini oluşturan agreganın betonun performansında etkisi belirgindir. En fazla su / çimento oranı ile en az çimento içeriğindeki sınırlamalar betonun dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler. Bu iki sınırlamanın gerçekleşmesinde agreganın kaliteli ve boyut dağılımının uygun olması zorunludur. Genel olarak betonun çevresel etkilere diğer bir deyişle dürabiliteye göre tasarımı bu iki parametreye göre yapılır. Betondaki maksimum su/çimento oranı ve minimum çimento dozajı gibi kısıtlamaların ne ölçüde gerçekleşebileceği doğrudan beton agregasının türüne, granülometrisine ve standartlarına uygun olmasına bağlıdır. Betonda donatı korozyonuna bağlı çatlama ile sismik yükler arasında sıkı bir ilişkinin olduğu kesinlik kazanmıştır. Granülometriye ve beton kalitesine özen gösterilmediği, yeterli pas payı oluşturulmadığında beton betonarme çeliğini koruyamamaktadır. Beton; agrega, çimento hamuru ve agrega-çimento hamuru temas yüzeyinden oluşan üç fazlı bir kompozit malzeme olarak düşünülürse [1] en zayıf halkanın arayüzeyler olduğu ortaya çıkar. Beton teknolojisindeki gelişmenin anahtarı çimento hamuru ile agrega arasındaki arayüzeylerin güçlendirilmesidir.

TS 500 Şubat 2000, C50 (28 günlük silindir basınç dayanımı 50 MPa) ye varan beton sınıflarını öngörmektedir. Ancak en yaygın olan beton sınıfları, C18, C20, C25 ve C30 dur. Yüksek yapılarda ise genelde C30 veya C35 sınıfları kullanılmaktadır. Buna karşın Eurocode 2 de normal beton sınıfları C80'e varmaktadır. 1970 li yıllara kadar 28 günlük silindir basınç dayanımı 40 MPa'ı aşan betonlar yüksek dayanımlı beton kabul edilirken günümüzde bu kavram önemini yitirmiştir. Dayanım ve dayanıklılık için en önemli gereksinim olabildiğince az boşluklu ve geçirimsiz beton üretmektir. Avrupa'da Almanya'nın öncülüğünde C60-C100 arasındaki beton sınıfları için yeni tasarım kodları geliştirilmektedir. Bu aralıktaki betonlar yüksek dayanımlı beton olarak kabul edilirler.

Günümüzde istenen performansda beton üretmek bir sorun değildir. Beton üretiminin de teknoloji ve bilgi gerektirdiği unutulmamalıdır. Agregası kalitesine özen gösterildiği ve minimum dozaj ve maksimum su/çimento oranı kısıtlamaları göz önünde bulundurulduğunda istenen performansı sağlayan beton üretilebilir. Betonun

dürabilitesini artırmak için çimento dozajı yeterli düzeyde olmalı, su/çimento oranı betonun maruz kalacağı çevresel etki için öngörülen değeri aşmamalı ve aşırı su kullanımından sakınılmalıdır. Betonun akışkanlığını sağlamak için fazla su yerine uygun kimyasal katkı maddesi kullanılmalıdır.

Bu bildiriye yukarıda belirtildiği gibi maksimum su/çimento oranı ve minimum dozaj gibi kısıtlamalarla birlikte beton agregası olarak kum sorununa da değinilecek ve yapılarda beton kalitesinin belirlenmesi ile ilgili yöntemler açıklanacaktır.

2. Beton agregası olarak kum

Belirli bir granülometriye sahip olan beton agregasının ince bölümünü kum oluşturur. İri agregalarda olduğu gibi kumların da temiz, kimyasal etkilere karşı dayanıklı ve dayanımının yeterli olması istenir. Ayrıca kumun inert olması diğer bir deyişle çimento ile kimyasal reaksiyona girmemesi gerekir. Ülkemizde beton agregalarında aranan özellikler TS 706' da belirtilmiştir. Kum için söz konusu özellikler; elek analizi, dayanım, kil ve silt içeriği, organik madde içeriği, alkali agrega reaktivitesi deneysel olarak belirlenir. Ancak bu deneylerden olumlu sonuç alınması halinde, söz konusu agreganın betonda kullanılmasına izin verilir. Kumda çok ince kil ve silt tanelerinin varlığı betonun dayanımını düşürmektedir. Çoğunlukla zirai toprak kökenli organik maddeler, kil toprakları, kömür taneleri, yumuşak taneler, standardın üzerinde suda çözünen klorür miktarı ve sülfatın varlığı da betonun davranışını olumsuz etkilemektedir.

Marmara depreminde orta ve ağır hasar görmüş binalardan alınan beton örnekleri üzerinde yapılan bir araştırmada [2] genel olarak sürekli granülometriye uyulmadığı, en büyük agrega boyutunun 8mm ya da bunun biraz üzerinde olduğu görülmüştür. Yine aynı araştırmada denenen 5 ayrı yapıya ait betonlardan 4 ünde kum sınırı olarak kabul edilen 4mm'den geçen malzeme miktarının %65 in üzerinde bazılarında %91'e varan değerlerde olduğu saptanmıştır. Bu şekilde ince agregalarla üretilen betonların su gereksinimi aşırı yükselir, bunun sonucu olarak da su/çimento oranı artar, ince agrega tanelerini sarmak ve aralarındaki boşlukları doldurmak için daha çok çimentoya gerek duyulur. Tablo 1'de Avclar'dan alınan betonlardaki tane boyutu dağılımı görülmektedir.

Tablo 1. Avclar'dan alınan betonlardaki tane boyutu dağılımı [2]

Elekten Geçen (%)			
31,5mm	16mm	8mm	4mm
100	98	87	70
100	97	91	83
100	100	99	91
100	80	59	51
100	84	80	65

Bu tablonun incelenmesinden görüldüğü üzere depremler sırasında saptanan düşük dayanımların nedeni malzemenin betondan çok, düşük kaliteli bir harç olduğu

gerçeğidir. Böyle bir malzeme taşıyıcı olmadığı gibi dış etkilere karşı dayanıklı da değildir. Geçirimli olduğu için donatıyı da koruyamamaktadır. Depremler sonrası yapılan incelemeler bölgedeki betonarme yapılarda karbonatlaşma rötresi ile klor diffüzyonunun neden olduğu korozyon çok fazladır. Bunlar da depremlerde göçme riskini arttırıcı nitelik taşımaktadır.

3. Betonun Yerinde Denetlenme Gereği

Beton kalitesini belirlemeye yönelik olarak 3 farklı denetim yapılabilir:

- a. Hazır beton üreticisinin kendi tesisinde, malzeme kalitesini belirlemeye yönelik olarak gerçekleştirdiği ve taze betondan örnek (silindir yada küp) almaya dayanan denetim (TS 11222).
- b. Beton tüketicisinin (müteahhitin) satın aldığı betonu şantiyede, pompalama işlemi de hazır beton firması tarafından gerçekleştiriliyor ise, pompa ucundan aldığı örnekler üzerinde şantiye mühendisi gözetiminde yaptığı ürün denetimi (TS 500).
- c. Yapı üzerinde, yada yapıdan alınan beton örnekler üzerinde gerçekleştirilen yıkıntısız yada yıkıntılı yöntemlerin bir yada birkaçını içeren denetim.

Yukarıda a) ve b) şıklarında ele alınan denetimler taze betondan standard örnek almaya dayanır. Bu örnek sonuçlarının standartların gerektirdiği değerleri sağlamaması durumunda yapı üzerinde deney yapma durumu ortaya çıkabilir. Öte yandan yapıdaki betonun dayanımı üzerine, yerleştirme, sıkıştırma ve kür koşullarının da önemli etkisi vardır; bu koşulların yeterliliği yine yerinde deneylerle belirlenebilir. Belirli bir amaç için yapılmış yapının kullanım şekli değiştirilmek istendiğinde, yapının var olan dayanımını saptamak için yerinde deneyler yapılabildiği gibi, önemli bir hasara uğramış, örneğin deprem görmüş yada aşırı yüklenmiş bir yapıda da aynı tür deneylere gereksinme doğabilir. Yeni satın alınacak bir yapıyı, alıcı denetlemek isteyebileceği gibi, sigortalanacak bir yapı için de benzer talep sigorta şirketinden gelebilir. Yapıların yapım süreci içinde de denetlenmesi gerekebilir; örneğin kalıp alma zamanını belirlemek yada öngerilmeli elemanlarda gerilme uygulama zamanını saptamak amacı ile.

4. Deney Yöntemleri

Öncelikle söz konusu yapının durumu görsel olarak incelenmelidir. Varsa çatlakların yerleri, genişlik ve uzunlukları belirlenir ve olası nedenleri ele alınır. Bu gözlemlerin ışığı altında yapının belirli elemanlarında yıkıntısız, yıkıntılı ya da yarı-yıkıntılı deneyler gerçekleştirilebilir (Tablo 2).

Yıkıntısız yöntemler olarak ultrases hızı ölçümü ve Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin ölçülmesi sayılabilir. Bu deneylerin maliyetleri düşük olup hızlı sonuç verirler.

Yapıdan karot çıkarma, söküp-çekme, saplama ve yükleme deneyleri yarı-yıkıntılı yöntemlere girer. Karot alma ve yükleme deneylerinin maliyetleri daha yüksektir, ayrıca yapıda bölgesel hasar oluştururlar. Söküp-çekme ve saplama deneyleri ise sadece yüzeysel hasara neden olur.

Bazı durumlarda yapının bir elemanı dayanımını yitirene kadar yüklenebilir. Bu elemanlardan elde edilen taşıma kuvveti değerleri, yapının diğer elemanlarının dayanımı hakkında bilgi verir. Özellikle prefabrike elemanlarla üretilmiş yapılarda, bir elemanın yerinden sökülüp laboratuvarında denenmesi de söz konusu olabilir.

Tablo 2. Deney Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Deney Yöntemi	Maliyet	Deney Hızı	Betona Yaptığı Tahribat	Betonu Temsil Oranı
Yıkıntılı Yükleme Deneyi	Yüksek	Yavaş	Tümüyle	İyi
Maks.Yük Deneyi	Yüksek	Yavaş	Değişken	İyi
Karot	Yüksek	Yavaş	Orta	Orta
Batırma	Orta	Hızlı	Küçük	Yüzeye Yakın Bölge
Çekip-çıkarma	Orta	Hızlı	Küçük	Yüzeye Yakın Bölge
Ultras ses Hızı	Düşük	Hızlı	Yok	İyi
Schmidt Çekici	Çok Düşük	Hızlı	Yok	Yüzey Bölgesi

5. Yerinde Betonda Dayanımın Dağılımı

Yapıdaki beton dayanımlarında farklılıklar beklenebilir. Dayanımlardaki dağılım malzeme (beton) özelliklerinin değişmesinden kaynaklanabileceği gibi yerleştirme, sıkıştırma ve kür koşullarının değişken olmasından da ileri gelebilir. Öte yandan aynı elemanda yüksekliğe bağlı olarak farklı dayanımlar elde edilebilir. Taze beton döküldüğünde iki olay gerçekleşir: a) Beton içindeki su yükselir (terleme), b) Beton içindeki agregalar oturma (çökme) yapar. Her iki nedenden dolayı beton dayanımı yüksekliğe bağlı olarak değişir. Alt kısımlar, üstteki taze betonun hidrostatik etkisi nedeniyle de daha iyi sıkışır ve dayanım yüksek çıkar. Üst bölümlerde ise terleme ve çökme etkisi ile iri agregaların altında hava cepleri oluşur, ayrıca su/çimento oranı artar ve bu nedenlerle daha düşük dayanıma sahip olurlar. Alt ve üst bölgeler arasındaki dayanım farklılığı en çok perde duvarlarda gözlenirken, onu kırışık izler. Kolon ve döşemelerde ise en üst 1/4 lük bölgede (döşemelerde üst 50 mm'de) dayanım düşüşü elde edilir [3].

6. Karot Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Betondan karot örnekler elmas uçlu silindirik bıçakların hızlı devirde döndürülmesi sonucu kesilerek çıkarılır. Karot yatay doğrultuda alınabileceği gibi (perde, kolon gibi elemanlar) düşey olarak da (döşeme) çıkarılabilir. Karot çıkarma doğrultusunun, beton döküm doğrultusuna göre durumu karot dayanımlarını etkiler: Ortalama olarak döküm doğrultusunda (düşey) alınan betonların dayanımı, yatay doğrultuya göre %8 fazladır.

Karot alınırken bazı durumlarda kaçınılmaz olarak donatı kesilebilir. Karot içinde kalan donatıların, karot yüksekliğine dik olması gerekir. Ayrıca donatı çapı, adeti ve uçlardan olan uzaklıkları dayanımı etkiler. Çok fazla sayıda donatı içeren karotlardan elde edilen sonuçlar gerçekçi değildir. Genel olarak karotta donatı bulunması

dayanımı bir miktar azaltacağından düzeltme faktörü (1'den büyük) ile çarpılarak karot dayanımını düzeltmek gerekir.

Genellikle karotların çapları ve yükseklikleri farklı uzunluktadır. Yükseklik/çap oranı 1-2 arasında yer alır; 1'en küçük değerler istenmez. Farklı yükseklik/çap oranındaki karot dayanımları eşdeğer küp dayanımına dönüştürülebileceği gibi, karotlar yükseklik/çap oranı 1 olacak şekilde de kesilebilir, ki bu durumda doğrudan eşdeğer küp dayanımı elde edilir. Yükseklik/çap oranı 1'den farklı silindir numune (karot) dayanımları eşdeğer küp dayanımına dönüştürülmek için değişik bağıntılar kullanılabilir; İngiliz Standartları (BS 1881) aşağıdaki bağıntıyı önerir:

$$f_{c,küp} = (A/(1.5 + \text{çap} / \text{yükse}) * f_{c,karot} \quad (1)$$

Burada A bir katsayı olup düşey doğrultuda alınan karotlar için 2.3 ve yatay doğrultu için ise 2.5 olarak önerilir.

Karot dayanımı üzerine karot çapının da etkisi vardır. Genel olarak karot çapının, maksimum agrega çapının 3 katından büyük olması istenir. Bu nedenle, maks. agrega çapı 31.5 mm olan bir betondan 100 mm ya da daha büyük çaplı karot almak uygundur. Öte yandan bazı standartlar (örneğin İsviçre) daha küçük çaplı (50 mm) karotlara da izin vermektedir. Karot çapının küçülmesi bazı kaynaklara göre dayanımı artırırken, diğer kaynaklar ise tam tersini ileri sürmektedir. Ancak, karot çapı küçüldükçe, dayanım değerlerindeki dağılımı büyüdüğünden alınacak örnek sayısını artırmak gerekir.

TS 10465 "Beton Deney Metodu, Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numune Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatla Metot)" Standardı yapıdan alınan karotun çapının, betonda kullanılan iri agreganın maksimum çapının en az 3 katı büyüklükte, ve kesme ve düzeltme işlemlerinden sonra karot yüksekliğinin çapına eşit (h=d) olacak şekilde karot alınmasını öngörmektedir. Aynı standard, karot sayısının, beton imalatı sırasında alınması gereken örnek sayısına benzer şekilde ya her 50 m³ için 3 adet, ya da her kat için 3 adet olarak belirlenmekte ve BS 25'den daha yukarı beton sınıfları için sayıyı 2 katına çıkarmaktadır. Betonun maksimum agrega boyutunun 16 mm den büyük ve karot çapının 100 mm den küçük olması durumunda örnek sayısının 3 katına çıkarılması istenmektedir.

Dayanım değerlerini değiştiren bir etken de karotun nem durumudur. Suya doymun durumdaki betonların dayanımları kuru duruma göre %10-15 düşük çıkabilir. İngiliz standartları karotların suya doymun durumunda denenmesini isterken, TS 10465 standardı hava kurusu olmasını belirtmektedir.

7. Yıkıntısız Deney Yöntemleri [4]

Yıkıntısız yöntemler genellikle dolaylı olarak basınç dayanımının hesaplanmasına olanak verir. Burada betonun yüzey sertliği, batmaya gösterdiği direnç veya geri tepme gibi özelliklerinden birisi ölçülerek, bu özellik ile basınç dayanımı arasında istatistiksel ilişki kurulur. Bu amaçla, dayanımları geniş bir aralıkta değişen yeterli sayıda beton karışımı üretilir. Bu karışımlardan alınan beton örnekleri üzerinde söz konusu özellik ölçülür, ayrıca aynı örnekler üzerinde veya aynı betondan alınmış silindir (veya küp) şeklindeki örnekler üzerinde basınç deneyi uygulanır. Böylece ölçülen özellik değerleri ile bunlara karşılık gelen basınç dayanımları arasında regresyon bağıntıları araştırılır.

7.1. Schmidt Geri Tepme Yöntemi

En yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir, ancak deney sonuçlarına yüzeyin düzgünlüğü, örnek büyüklüğü, beton yaşı ile karbonatlaşma miktarı, nem oranı, agrega ve çimento cinsi gibi değişkenler etken olabilir. Bu yöntemde \pm %25 dolayında hata beklenebilir [5].

7.2. Windsor Batırma Yöntemi

Bu yöntemde 6.3 mm çapında ve 79.5 mm uzunluğunda bir prob beton yüzeyine uygulanarak oluşturduğu iz ölçülmektedir. Sonuçların agrega cinsine göre düzeltilmesi gereken bu yöntemde \pm 8 MPa'lık hatalar yapılabileceği belirtilmiştir [7].

7.3. Ultrases Hızı Ölçümü Yöntemi

Beton içinde yayılan ultrases dalgalarının hızını ölçmeye dayanan bu yöntemde, betonun hava içeriği ve agrega cinsi sonuçlar üzerinde etkilidir. Ayrıca betonun yaşı, yüzey nem durumu, agrega/çimento oranı ve deney yapılan bölgedeki çelik donatıların konumu sonuçları değiştirilebilir. Bu yöntemde hata payı \pm %20 dolayındadır [5].

7.4. Sökme (Çekip-Çıkarma) Yöntemi

Literatürde "Pullout test" olarak adlandırılan bu yöntemde alt başlığı genişletilmiş konik şekilli metal parçalar beton içine taze iken yerleştirilir, daha sonra istenilen günde özel bir alet kullanılarak sökmek için uygulanan kuvvet belirlenir. Alet ve betona gömülen parçalar ASTM C900-78T standardında belirtilmiştir. Son yıllarda Danimarka'da geliştirilen Lok-Test aleti de kullanılmaktadır. Sökme deneyinde betonun kayma etkisi altında kırıldığı belirtilmektedir [5], böylece yapı yerinde betonun doğrudan kayma dayanımı ile ilintili bir değer elde edilir. Ayrıca bu deney hem kısa sürede gerçekleştirilebilir, hem de tekrarlanabilirlik özelliği gösterir. Sakıncalı yanı, beton yüzeyinden parça koparılması ve bunun onarım gerektirmesidir, ayrıca deney parçalarının önceden beton içine yerleştirilmesi planlanmış olmalıdır. Bu belirtilen sonuncu sakınca yeni arayışlara yol açmış, seçenek olarak sertleşmiş betona delik açıp içine dübel yerleştirilmesi ve bu dübeli sökme kuvvetinin belirlenmesi önerilmiştir. Bu yöntem kendi içinde üç gruba ayrılır. İlkinde açılan deliğe yerleştirilen dübel çekildikçe genişleyen, böylece delik cidarlarına basınç uygulayan tıpedir. Deney sonunda beton kayma dayanımını aşarak dayanımını yitirmektedir. Sökme sonuçları dağılım göstermekle birlikte umut verici görülmektedir [8]. İkinci yöntemde yerleştirilebilen dübelin iç parçasının belirli bir burulma momenti uygulanarak döndürülmesi, böylece deliğin iç cepelerine basınç yapılması gerekir. Ancak bu momentin değişken olması ve sonuçların çok dağılım göstermesi yöntemin uygulanabilirliğini sınırlamıştır. Açılan deliğe bir civatanın epoksi kullanılarak yapıştırılması ve sertleştikten sonra sökülmesine dayanan üçüncü yöntem epoksi cinsi, kür süresi, delik ve civata çapı gibi etkenlere bağlıdır. Bunların standartlaştırılması durumunda betonun çekme-kayma etkisi altında dayanımını yitirdiği bu yöntemler uygulanabilir görülmektedir [8].

7.5. Eğip-Kırma Yöntemi

Beton içine taze iken yerleştirilen ince cidarlı boru şeklindeki plastik kalıplar, beton sertleştikten sonra çıkarılmakta ve beton içinde, kütle betonundan bu kalıp yardımıyla ayrılmış, ancak alt yüzeyi kütle betonuna birleşik durumda olan bir silindir

oluşmaktadır. Daha sonra bu silindire, yan yüzeyinin üst başlığına yakın noktasından yükleme hücresi yardımıyla itme kuvveti uygulanır ve betonun eğilme etkisi ile kırılmasına neen olan kuvvet belirlenir. Özellikle yol ve havaalanı betonlarında eğilme dayanımını belirlemeye yönelik kullanılabilir [5].

8. Yıkıntısız Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

1. RILEM Yöntemi

Betona uygulanan birden fazla sayıdaki yıkıntısız yöntem sonuçlarının birarada değerlendirilmesine dayanan bu yaklaşımda en çok ultrases hızı ve Schmidt geri tepm sayıları kullanılmaktadır. Facaoaru'nun [9] geliştirdiği ve RILEM [10] tarafından da önerilen bileşik yöntemde önce standard beton denilen ve çimento cinsi ve dozajının, agrega cinsinin, 0-1 mm arasındaki ince agrega miktarının, en büyük agrega boyutunun sabit tutulduğu, buna karşılık su/çimento oranı, saklama koşulları, sıkıştırma şekli ve beton yaşının değişken tutulmasıyla beton dayanımlarının yeterince geniş bir aralıkta değiştiği karışımlar hazırlanır. Her bir karışımdan alınan örnekler üzerinde ultrases hızı, Schmidt geri tepme sayısı ve basınç dayanımları belirlenerek aralarında ikili regrasyon bağıntısı hesaplanır. Sonra bu bağıntı üzerine çimento cinsinin, dozajın, agrega cinsinin, ince agrega (0-1 mm) oranının ve beton katkı maddelerinin etkisini araştırmak için yeni karışımlar hazırlanır. Bileşimdeki her bir değişkenin etkisi "etkinlik katsayısı" yardımıyla hesaplanır; sonuçta standart betondan farklı bileşimdeki bir betonun toplam etkinlik katsayısı

$$C_{teo} = c_c c_d c_a c_\phi c_f \quad (2)$$

şeklini alır (teorik). Burada denklemin sağ yanındaki katsayılar sırasıyla çimento cinsinin, dozajının, agrega cinsinin, ince agrega oranının ve beton katsayısının etkisini simgelemektedir.

Eğer betondan karot alınmış ise karot dayanımı o bölgede yıkıntısız deney ile elde edilen tahmini dayanıma oranlanarak "deneysel etkinlik katsayısı" elde edilir. Bir betonda teorik ve deneysel etkinlik katsayıları belirlenmiş ise, ortalama etkinlik katsayısı

$$C_{ort} = (C_{teo} + 2C_{den}) / 3 \quad (3)$$

Bağıntısından hesaplanabilir. Sonuçta, standard betondan farklı bir beton üzerinde yapılan yıkıntısız deney sonuçları önceden çıkarılmış regrasyon bağıntısında yerine konarak bir dayanım değeri kestirilir, sonra bu değer etkinlik katsayısı (deneysel veya teorik, ya da her ikisinin belli oranda yer aldığı karma etki) ile çarpılarak kesin sonuç hesaplanır.

2. Regasyon Yöntemi

Elde çok sayıda karot sonucu ve karot alınan bölgede yapılan yıkıntısız deney sonucu bulunması durumunda, beton karot basınç dayanımı ile yıkıntısız deney sonucu arasındaki ilişkiyi veren eğriler elde edilebilir. Bu amaçla, deney sonuçlarının belirli bir basınç dayanımı aralığını kapsıyor olması gerekir. Deneysel noktalar arasından en küçük kareler yöntemi ile bir regrasyon doğrusu, genellikle lineer bir eğri geçirmek uygun olur. Daha sonra yapı

üzerinde gerçekleştirilen yıkıntısız deney sonuçları, bu ilişki ile basınç dayanımlarının tahmininde kullanılabilir.

3. TS 10465 Yöntemi

TS 10465 Standardı, Schmidt çekici okumaları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkinin çıkarılmasını ele almıştır. Bu standardda, ilişkinin eğimi 2 olan bir doğru olduğu varsayılmıştır. Buna göre, karot basınç dayanımları (eş değer küp dayanımları) ordinatta ve karotların alındığı bölgede karot alınmadan önce gerçekleştirilen Schmidt okumaları apsiste yer alacak şekilde grafikte gösterilir. Daha sonra, eğimi 2 olan bir referans doğrusu, schmidt okuması en büyük olan noktadan geçecek şekilde paralel olarak ötelenir ve bu doğrunun denklemi çıkarılır. Sadece Schmidt okumalarının yapıldığı elemanlar için basınç dayanımının tahmininde bu çıkarılan denklem kullanılır.

TS 10465 deney sonuçlarının toplu değerlendirilmesinde iki yöntem önerilmiştir:

a) İstatistiksel olmayan yöntem

Karot sonuçlarının ve yıkıntısız deney sonuçlarının sayı olarak yeterli olmaması durumunda bu yöntemin kullanılması önerilmektedir. Her sınıf beton için bir seri dayanımı (mukavemeti) tanımlanmıştır:

Seri dayanımı= Eşdeğer küp dayanımı +3 N/mm² (4)

Örneğin BS 20 sınıfı için eşdeğer küp dayanımı 25 ve seri dayanımı 25+3=28 N/mm² olmaktadır. Yapıda elde edilen eşdeğer küp dayanımlarının ortalaması

Ortalama dayanım > 0.85 seri dayanımı (5)

ve En Küçük Tek Değer (dayanımları en küçük değeri)

En Küçük Tek Değer > 0.85.eşdeğer küp dayanımı (6)

koşullarını sağlamalıdır.

b) İstatistiksel Değerlendirme

Standard 12'den fazla sayıda karot sonucu ya da 35'den fazla Schmidt okunması bulunması durumunda bu yöntemin kullanılmasını önermektedir. Her bir dönüştürülmüş küp dayanım sonucu $f_{cküp}$ ve tüm sonuçların ortalaması $f_{cküp,ort}$ olduğuna göre sonuçların standard sapması kolayca bulunabilir.

$$S.S. = \sqrt{\frac{\sum (f_{cküp,ort} - f_{cküp})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Burada n deney sayısını göstermektedir. Bu durumda karakteristik dayanım

Kar.dayanım = $f_{cküp,ort} - k' S.S > 0.85'$ Eş değer küp dayanımı (belirli bir sınıf için)(8)

Burada k katsayısı deney sayısına (n) bağlı olarak değişmektedir. Örneğin n=12 için 1.95 olurken n>35 için 1.64 değerini almaktadır.

9. Sonuç

Son Gölcük ve Düzce depremleri, betonarme yapıların depreme dayanıklılıkları konusunda Beton Özelliklerinin önemini ortaya koymuştur. Birçok yapının yıkılması, ya da ağır hasar görmesinde beton kalitesinin yetersiz oluşu önemli etken olarak gözlenmiştir. Genel olarak beton ile ilgili konular bir uzmanlık alanıdır. Beton üretimi, bakımı, amaca uygun beton seçimi ve betonun davranışı konuları belirli bir bilgi birikimini gerektirdiği gibi, mevcut yapılarda kullanılan betonların özelliklerinin belirlenmesi de yine en az bir önceki durum kadar bilgi ve deneyim gerektirir.

Betonarme yapıların güçlendirilmesinde kullanılacak betonun kalitesi de büyük önem taşır. Özellikle yeterli pas payı sağlanmalı, agreganın en büyük boyutu donatı durumuna uygun olmalı, beton yerleştirilirken yeterli vibrasyon uygulanmalı ve güçlendirilme için kullanılan betonun geçirimsizliğinden emin olunmalıdır.

Betonun durabilitesi beton kalitesine bağlı olup, bileşen malzemeler (agrega, çimento, su, kimyasal ve mineral katkıları) ve karışım oranları, üretim yöntemi, betonun taze halde iken korunması gibi süreçler ile servis durumunda çevre koşulları etkili olur.

Eğer beton yukarıda belirtildiği gibi uygun bir biçimde üretilmiş ve kür uygulanmışsa durabilitesinden söz edilebilir. Bunun anlamı şöyle özetlenebilir: i) Amaca uygun malzeme seçimi, ii) Standartlara uygun kaliteli malzemelerin kullanılması, iii) Su da dahil olmak üzere malzemelerin uygun bileşim ve betonun uygun biçimde karıştırılması, iv) Minimum su kuma ile sağlanan uygun sıkıştırma, v) Betonun olgunlaşmasını sağlamak için yeterli kür ve vi) İlk sertleşme sürecinde beton içindeki yüksek sıcaklık ve sıcaklık farklarından kaçınmak.

Kaynaklar

1. Taşdemir, M.A., Taşdemir, C., Akyüz, S., Jefferson, A. D., Lydon, F.D. and Barr, B.I.G., "Evaluation of Strains at Peak Stresses in Concrete: A Three Phase Composite Model Approach", *Cement and Concrete Composites*, 20, 1998, pp.301-318.
2. Taşdemir, M.A., Özkul, M.H. ve Atahan, H.N., " Türkiye'deki Son Depremler ve Beton", II.Ulusal Kentsel Altyapı Sempozyumu, İMO, Adana, 1999, s. 9-19.
3. Maynard, D.P. and Davis, S.G., "The Strength of In-Situ Concrete", *Structural Engineer*, 52, No.10, 1974, pp.369-374.
4. Özkul, M.H., Tercümanoğlu, B., Can, M. ve Atayurt, R., "Yapı Denetiminde Yıkıntısız Yöntemler", *Türkiye İnşaat Müh. XII. Teknik Kongre Bildiriler Kitabı*, 1993, pp.495-510.
5. Malhotra, V.M. and Carette, G.G., "In Situ Testing for Concrete Strength", *CANMET Report 79-30*, May 1979, 20 p.
6. Bickley, J.A., "The Evaluation and Acceptance of Concrete Quality by In-Place Testing", in *In Situ/Nondestructive Testing of Concrete*, ACI Publication SP-82, 1984, pp.95-109.
7. Keiller, A.P., "Assessing the Strength of In Situ Concrete", *Concrete International*, February 1985, pp.15-21.
8. Mailhot, G., Bisailon, A., Carette, G.G., and Malhotra, v.m., " In-Place Concrete Strength: New Pullout Methods", *ACI Joornal*, Dec. 1979, pp.1267.
9. Facaoaru, I., "Non-Destructive Testing of Concrete in Romania", *Proc.Symp.Nondest Testing of Concr. Timb.*, Inst. Civil Eng., London, 1969, pp.23-33.
10. "Rilem Tentative Recommendation for In Situ Concrete Strength Determination by Non-Destructive Combined Strength Determination by Non-Destructive Combined Methods", *Rilem 43 CND (2nd Draft)*, Athens, April 1981.