

BETONARME YAPILARDA DURABİLİTE VE TS EN 206-1 STANDARDININ GETİRDİĞİ YENİLİKLER

Bülent BARADAN(*), Halit YAZICI(**)

GİRİŞ

Son yıllarda arka arkaya yaşadığımız deprem felaketleri, birçok betonarme yapıda betonun proje dayanımını sağlamakta ne kadar yetersiz kaldığını ortaya koymuştur. Ayrıca söz konusu yapıların birçoğunda, korozyon olayı sonucu, çelik donatı-beton aderansının yok olduğu, çelik donatının kesit kaybı nedeniyle taşıma gücünü büyük oranda kaybettiği, paspayı tabakasının çatladığı veya döküldüğü görülmüştür.

Beton üretimi kendine özgü kuralları olan bir teknolojidir. Üretimin her aşaması adeta bir zincirin halkalarını oluşturur. Üretimin herhangi bir aşamasında yapılacak bir hata veya ihmal diğer şartlar uygun olsa bile sonucun olumsuz olmasına yol açar.

Betondan beklenen üç önemli fonksiyon, işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılıktır. Beton, taze halde iken, -kullanılacağı yerdeki şartlar ve ekipman da dikkate alınarak- kalıpları kolayca doldurabilecek ve sıkıştırılabilecek kıvamda olmalı, taşıma, yerine yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri sırasında kararlılığını korumalı, herhangi bir ayrışma ve su kasma problemine yol açmayacak şekilde tasarlanmış olmalıdır. Sertleşmiş haldeki betondan beklenen ise proje dayanımının belirli bir güvenlikle sağlanabilmesi ve servis ömrü boyunca maruz kalacağı iç ve dış yıpratıcı etkilere karşı kalıcı olmasıdır. Aynı zamanda, kaynak israfına yol açmayacak şekilde ekonomik olması gerektiği de dikkate alındığında, beton dizaynının aslında bir optimizasyon problemi olduğu görülebilir. Tüm bu şartları sağlayan betonun elde edilebilmesi, ancak çevre ve kullanım koşullarını da dikkate alan bir tasarım yaklaşımıyla, eksiksiz, doğru bir uygulama ile ve üretimin her aşamasının denetlenmesi ve kalite kontrolünün yapılması ile mümkündür. Bu bağlamda, hiçbir hesaba dayanmadan, agregaların ve çimentonun gelişigü-

zel oranlarda birbirine katılması, bu karışıma çorba kıvamına gelinceye kadar su eklenmesi ve kalıplara hiçbir sıkıştırma işlemi yapılmadan yerleştirilmesi ve gerekli bakımın yapılmaması ile oluşturulmuş bir malzemeden bu özellikleri sağlamasını beklemenin aşırı iyimserlik olduğu açıktır.

Günümüzde yapı stoğumuzu oluşturan birçok betonarme yapı hiçbir mühendislik hizmeti almadan inşa edilmiş durumdadır. Mühendislik hizmeti almış gibi görünen birçoğunda ise projelerin kağıt üstünde kaldığı, uygulamaya yansıtılamadığı bilinen gerçeklerdir. Böyle bir ortamda, oluşan deprem hasarlarına bakarak betonarme yapı sistemlerinin depreme dayanıksız gibi gösterilmesi ve malzeme olarak betonun kötülenmesi toplumda önemli yanılsamalara yol açmış, sorunun doğru teşhis edilmesini engellemiştir. Depreme dayanıklı yapı tasarımı tek parametrenin zemin koşulları olduğu, iyi zemine oturan kaliteli-kalitesiz tüm yapıların depreme dayanıklı olacağı gibi toplumda yaygın ve çok yanıltıcı bir kanaat oluşturulmuş durumdadır. Elbette zemin etüdü bir yapının inşasının ilk ve vazgeçilmez aşamasıdır. Buradan elde edilen parametreler doğru- dan yapı tasarımını etkiler. Ancak, bugün inşaat mühendisliğinin geldiği bilgi birikimi ve teknoloji ile her türlü zemin koşulunda depreme dayanıklı yapı inşasının olanak dahilinde olduğu da topluma iyi anlatılmalıdır.

Yapının ekonomik değerinin yanında kalite kontrol amacıyla yapılan harcama önemsiz mertebelerde olmasına rağmen, ne yazık ki konunun önemi ülkemizde hala tam olarak kavranamamıştır. Bir çok betonarme yapı yetersiz veya hiçbir kalite kontrol sistemi olmadan gelişigüzel bir şekilde inşa edilmekte yapının yükselmesi ve yüklenmesi ile sorunlar bazen yapı kullanıma girmeden ortaya çıkmakta, çoğu zaman ise yükleme açısından kritik olan deprem gibi yanal bir yükleme altında yapı beklenen performansı gösteremeden hasar alabilmekte, can ve mal kayıplarına yol açabilmektedir.

Yalnızca beton sınıfı esas alınarak tasarlanmış

(*) Prof. Dr., (**) İnş. Yük. Müh.
DEÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir

betonarme yapıların servis ömürleri boyunca karşılaştıkları deprem dışındaki çeşitli iç ve dış yıpratıcı etkiler nedeniyle de hasar görmeleri, büyük bakım, onarım masraflarına yol açmaları da mümkündür. Bu nedenle, mühendis, mimarın betonarme yapıların zamanla bozulmasına yol açan etkenler konusunda temel bilgilere sahip olması ve gerekli önlemleri tasarım aşamasında alması gereklidir. Bu konunun önemi son yıllarda gittikçe ön plana çıkmaktadır. Nitekim İnşaat Mühendisleri Odası tarafından düzenlenen 5. Ulusal Beton Kongresinin konusu "Dayanıklılık (Durabilite)" olarak belirlenmiş ve önemli bir katılım sağlanmıştır. Ayrıca, "Yapı Malzemesi" lisansüstü eğitim programlarında "Betonarme Yapıların Dayanıklılığı" konusu ayrı bir ders olarak yer almaya başlamıştır.

Tüm dünyadaki gelişmeler doğrultusunda bu konunun önemi yeni standartlara ve yönetmeliklere yansıtılmaya başlanmıştır. Bu yazıda, Mart 2004'te yürürlüğe girecek ve TS 11222 Hazır Beton Standardının yerini alacak TS EN 206-1 "Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk" standardının betonun nitelik denetimi için getirdiği hükümler, TS 500 ve TS 11222 hükümleri ile kıyaslamalı olarak tanıtılmış ve betonarme yapıların dayanıklı olabilmesi için getirilen öneriler irdelenmiştir.

BETONDA İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ

Ülkemizde beton ve betonarme konularında çıkartılan standartların bir çoğunda uyumsuzluklar vardır. Bu nedenle uygulamada betonun nitelik denetimi konusunda sıkıntılar çıkmaktadır. TS 500-1984 baskısı ile TS 500-2000 baskısı arasında nitelik denetimi açısından önemli farklılıklar mevcuttur. Ayrıca TS 11222-2001 hazır beton standardı ile Avrupa Birliği uyum çalışmaları kapsamında yürürlüğe girmesi ve TS 11222'in yerini alacak TS EN 206-1 "Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk" standardı diğerlerinden farklı hükümler içermektedir. Bu gelişmeler, standartların hazırlanması sırasında farklı disiplinlerden değişik kişilerin görev almasından ve danışma mekanizmasının yeterince işletilememesinden kaynaklanmaktadır.

21 Temmuz 2002 tarih, 24822 tarihli Resmi Gazete'de yayınlanan kararla TS 500-2000 standardının bazı hükümleri değiştirilmiştir. Buna göre betonun nitelik denetiminin TS EN 206-1 standardına göre yapılmasına karar verilmiştir. Ancak 06.02.2003 tarih ve 25016 sayılı Resmi Gazetede TS EN 206-1 stan-

Tablo 1 - Beton sınıfları ve dayanımları TS500-2000

Beton Sınıfı	f_{ck} karakteristik silindirik basınç dayanımı (N/mm ²)	Eşdeğer küp (150mm) basınç dayanımı (N/mm ²)	f_{ctk} karakteristik eksenel çekme dayanımı (N/mm ²)	E_c (28 günlük) Elastisite Modülü (N/mm ²)
C16	16	20	1.4	27000
C18	18	22	1.5	27500
C20	20	25	1.6	28000
C25	25	30	1.8	30000
C30	30	37	1.9	32000
C35	35	45	2.1	33000
C40	40	50	2.2	34000
C45	45	55	2.3	36000
C50	50	60	2.5	37000

dardının yürürlüğe giriş tarihi 08.03.2004 olarak ilan edilmiştir. Bir başka deyişle, yürürlükte olmayan bir standarda atıf yapılmaktadır ki, bu durumda TS 500'deki beton nitelik denetimi yönteminin 08.03.2004 tarihine kadar geçerli olacağı sonucuna varılabilir.

TS 500'e göre beton sınıfları ve dayanımları Tablo -1'de gösterilmiştir. Tablo-1'de yer alan beton sınıflarını simgeleyen C20, C30 gibi ifadelerdeki rakamlar 15/30 cm standart silindirik örneklerinin 28. gündeki basınç dayanımlarının MPa (N/mm²) biriminde ifadesidir. Görüldüğü gibi TS 500'de beton sınıfları C50'ye kadar tanımlanmıştır. TS EN 206-1 ise bu noktada daha farklı bir yaklaşım getirmektedir. Buna göre beton sınıfları C8'den başlamakta ve C100'e kadar gösterilmektedir (Tablo 2). Ayrıca beton sınıf gösteriminde silindirik örneğin MPa olarak dayanımının yanında 15 cm ayrıtlı küp, örneğin MPa

Tablo 2 - Beton sınıfları ve dayanımları TS EN 206-1

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindirik dayanımı $f_{ck,sil}$ (N/mm ²)	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp}$ (N/mm ²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

olarak dayanımı yer almaktadır. Örneğin TS 500'de C40 olarak gösterilen beton sınıfı TS EN 206-1'de C40/50 olarak simgelenmektedir.

TS 500'ün nitelik denetimi ile ilgili hükümlerinin TS EN 206-1'e bağlanması mevcut çelişkilerin ortadan kaldırılması için önemli bir adım olarak yorumlanabilir. Ancak TS 500 ve TS EN 206-1'da beton sınıflarını gösteren tabloların farklılığını koruması, C50'nin üzerindeki beton sınıflarına göre betonun tahmini elastisite modülünün, çekme dayanımının, betonarme hesap katsayılarının (k_1) tablo halinde verilmemesi veya bu parametreleri hesaplamak için uygun formüllerin bulunmaması nedeniyle TS 500'de daha kapsamlı bir revizyona gidilmesi ihtiyacı ortaya çıkmaktadır.

Örnek sayıları ve örnek alma sıklığı da standartlarda farklı şekilde ifade edilebilmektedir. TS 500-2000'e göre her üretim biriminden en az bir grup (3 silindir veya küp) deney örneği alınmalıdır. Bir üretim birimi 100 m³'ü veya 450 m²'yi geçemez. Bir işten en az üç grup numune alınması zorunludur. Numunelerin her birinin ayrı betonyerden veya ayrı transmikserden alınması zorunlu tutulmuştur.

TS EN 206-1göre ise, imalatın ilk 50 m³'ü için 3 numune sonraki her 150 m³'lük üretim için 1 numune alınması öngörülmektedir. Bu durumda diğer standartlara kıyasla alınması gerekli en az örnek sayılarının aşırı azaltıldığı söylenebilir.

Elbette, denetim için alınacak örnek sayısı standartların verdiği örnek sayılarından fazla olabilir. Bu durumda denetim mühendisi alınacak örnek sayısını bilgi ve tecrübesini göz önüne alarak belirlemelidir. Güvenilir bir denetim için her beton biriminden en az 9 örnek alınması tercih edilebilir. Bu örneklerin üçü 7, üçü 28 günde kırılabilir. Diğer üçü ise olumsuz sonuçların kontrolü veya daha farklı yaşlarda denetim için kullanılabilir. Ancak, bu nitelik denetiminin betonun potansiyel dayanımını gösterdiği, şantiye şartlarını tam olarak yansıtmadığı unutulmamalıdır. Şantiyedeki yerine yerleştirme ve kür işlemleri beton özelliklerini önemli derecede etkiler. Örneklerin basınç dayanımlarının istenen seviyede çıkması yalnızca karışımın iyi olduğunun göstergesidir. Bazı durumlarda betonun yarmada çekme dayanımının veya eğilme dayanımının belirlenmesi istenebilir. Yarmada çekme dayanımı için 15/30 standart silindir örneklerin alınması tercih edilmektedir. Nadiren de olsa küp örneklerle de yarmada çekme dayanımı belirlenebilmektedir. Eğilme dayanımının tayini için 10x10x60 cm veya 15x15x75 cm boyutlu prizmatik örnekler hazırlanır. Örnek sayısı beton basınç dayanımı için önerilenden az olmalıdır.

Uygulamada çoğunlukla kontrol mühendisleri

deney örneklerinin ortalama değerlerinin beton sınıfını tutması halinde sonuçlardan tatmin olur. Ancak çağdaş yaklaşım risk ve olasılık kavramlarını içeren istatistiksel yöntemlerin ve karakteristik beton basınç dayanımı kavramının kullanılmasıdır.

Betonların sınıflandırılmasında karakteristik dayanım (f_{ck}) esas alınır. Örneğin C25, 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımı 25 MPa (250 kgf/cm²) olan beton anlaşılır. Karışım hesaplarında esas alınacak amaç beton dayanımı f_{ca} ise standart sapma ve sınıf dayanımı kullanılarak bulunur. Standart sapmanın belli olmadığı durumlar için artım miktarları TS 802 beton karışım hesapları standardında tarif edilmiştir.

Deney verilerinin değerlendirilmesinde de amaç dayanım kavramında olduğu gibi istatistiksel yöntemler kullanılır. Standartlara göre değişmesine rağmen, beton üretiminin denetimi, parti bazında ve yeterli sayıda deney verisi elde edildikten sonra tüm üretimin denetimi şeklinde gerçekleştirilir.

Üretilen her beton biriminin (parti bazında) değerlendirilmesinde betonun kabul edilebilmesi için aşağıdaki koşulların her ikisini de sağlaması gereklidir.

TS EN(206-1)		
TS 500(2000)	TS 11222(2001)	Mart-2004'ten itibaren geçerli
$f_{cm} \geq f_{ck} + 1 \text{ MPa}$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \text{ MPa}$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 4 \text{ MPa}$
$f_{cmin} \geq f_{ck} - 3 \text{ MPa}$	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4 \text{ MPa}$	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4 \text{ MPa}$

Her ne kadar standartlara göre parti bazındaki denetimde kullanılan formüller benzer olsa da uygulama açısından önemli farklılıklar vardır. Şöyle ki; TS 500 (2000) standardına göre ardışık üç örnek bir grubu (örneğin G1), ardışık üç grup bir partiyi (örneğin P1) oluşturmaktadır. Bir başka ifade ile, üç örnekten oluşan örnek grupları sırasıyla $G_1, G_2, G_3, \dots, G_N$ olarak gösterilmekte, bu grupların tekrarlı olarak (girişimli) kullanımıyla ise partiler $P_1\{G_1, G_2, G_3\}, P_2\{G_2, G_3, G_4\}, P_3\{G_3, G_4, G_5\}$ oluşturulmaktadır. Böylece, beton nitelik denetimi yapılırken deney verilerinin tekrarlı (girişimli) olarak kullanıldığı ve ele alınan her partinin kendinden önceki partiden iki grup, ondan önceki partiden ise bir grup numune sonucunu ortak kullandığı görülmektedir. Böylece f_{cm} değeri partiyi oluşturan üç grubun ortalamasını göstermektedir. Verilerin girişimli kullanılmasıyla, örneğin 15 numuneden oluşan 5 grubun değerlendirilmesi sanki 27 örnek (dokuzar örnekli 3 parti) varmışçasına yapılmaktadır. Bu durum, TS 500 (2000)'de tüm üretimin denetim yöntemi olmadığı için, aynı yapıya ait beton birimleri arasında bağlantı kurarak üretim kalitesinin sürekliliğinin sağlanmasına katkıda bulunmaktadır. f_{cmin} ise partiyi oluşturan üç grubun içinde ortalama dayanımı en düşük olan grubu göstermektedir.

TS 11222'de de f_{cm} değeri partiyi oluşturan üç grubun ortalamasını, f_{cmin} ise partiyi oluşturan üç grubun içinde ortalama dayanımı en düşük olan grubu göstermektedir. Ancak, deney verilerinin girişimli kullanımı söz konusu olmamaktadır. TS EN 206-1'de f_{cm} ardışık üç numunenin ortalama basınç dayanımını, f_{cmin} örneklerden elde edilen en düşük basınç dayanımını göstermektedir.

Bu standartların tümünde kullanılan f_{ck} karakteristik basınç dayanımını simgelemektedir. Ancak parti denetiminde henüz bu değer belli olmadığı için f_{ck} sınıf dayanımı (proje) olarak alınır ve ortalama dayanımın, belirli ölçüde artırılmış sınıf dayanımını sağlaması istenir.

TS 11222 ve TS EN 206-1'e göre ise kırılan örnek sayısı 15'e ulaştığında aşağıdaki şartlar geçerlidir.

TS 500(2000)	TS 11222(2001)	TS EN(206-1)
Yok	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.28\sigma$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.48\sigma$
	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4 \text{ MPa}$	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4 \text{ MPa}$

Burada 1.28, %10 düşük dayanımlar sınırı için Gauss dağılım katsayısıdır. Başka bir deyişle, alınan örneklerin dayanımlarının ancak %10'unun bu değer altında kalmasına izin verilir. 30 ve daha fazla sayıdaki örnek için geçerli olan bu değer, daha az sayıdaki örnek için değişebilir. TS EN 206-1'de bu katsayı %5 risk için 1.48 olarak verilmektedir. Ancak, %5 risk için Gauss dağılım katsayısının aslında 1.64 olması ise ilginç bir durumdur. σ ise örneklerin standart sapmasıdır. Denklemlerden görüldüğü gibi, standart sapma büyüdükçe belirli bir karakteristik dayanımı sağlamak için gerekli ortalama dayanım yükselir.

Yukarıda açıklanan koşullar sağlanamazsa yapının betonarme hesapları elde edilen düşük beton dayanımına göre yeniden kontrol edilir. Gerekli durumlarda, yapının kullanım amacını değiştirmek, kat adedini azaltmak, yapıyı takviye etmek, yapının bir bölümünü veya tamamını yıkmak gibi önlemlere başvurulur. Benzer yaklaşım yalnızca üretim sırasında alınan standart beton örnekleri için kullanılmamakta, sertleşmiş beton dan alınan karot örnekleri ile ve beton tabancası kullanılarak elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için de uygulanmaktadır.

Örnek olarak, arka arkaya 6 farklı üretimden alınan 18 adet 15 cm ayrıtlı küp numune laboratuvarda kırılarak deney verileri, TS 500-2000, TS 11222-2001 ve TS EN 206-1 standartlarında yer alan kriterler kullanılarak değerlendirilmiş ve sonuçlar aşağıdaki tablolarda sunulmuştur. Projede beton sınıfının C20 olması öngörülmüştür.

Yukarıda görüldüğü üzere, üç standart birbirinden farklı kriterler sunduğu için değerlendirme sonuçları da farklılıklar arz etmektedir. Burada dikkat çekici nokta TS 11222'de ve TS EN 206-1 standartlarında başlangıç değerlendirilmesinde kullanılan kriterler, standart sapmanın düşük olması halinde tüm üretimin denetiminde kullanılan kriterden daha ağır kalabilmektedir. Standart sapmanın çok yüksek olması durumunda ise parti bazında olumlu gibi görünen üretimin, tüm üretim bazında kabul edilemez olması da mümkündür. İdeal olan hem parti bazında, hem de tüm üretim bazında değerlendirme sonucunun olumlu çıkması, üretimin standart sapmasının düşük, değişkenliğinin az olmasıdır.

Tablo 3 - Sayısal örnek TS 500 (2000)

PARTİ	KÜP DAYANIMI 28. gün (MPa)	GRUP ORT. (MPa)	DEĞERLENDİRME: $f_{cm} \geq f_{ck} + 1.0$ $f_{cmin} \geq f_{ck} - 3.0$	Sonuç
1 G1	28.8; 27.0; 29.2	28.3	$f_{cm}=27.4 > 25.0+1=26.0$	Kabul
G2	28.6; 27.8; 28.2	28.2	$f_{cmin}=25.7 > 25.0-3=22.0$	
G3	24.8; 25.6; 26.8	25.7		
2 G2	28.6; 27.8; 28.2	28.2	$f_{cm}=27.4 > 25.0+1=26.0$	Kabul
G3	24.8; 25.6; 26.8	25.7	$f_{cmin}=25.7 > 25.0-3=22.0$	
G4	29.0; 28.7; 27.8	28.5		
3 G3	24.8; 25.6; 26.8	25.7	$f_{cm}=27.2 > 25.0+1=26.0$	Kabul
G4	29.0; 28.7; 27.8	28.5	$f_{cmin}=25.7 > 25.0-3=22.0$	
G5	26.5; 28.5; 27.2	27.4		
4 G4	29.0; 28.7; 27.8	28.5	$f_{cm}=27.7 > 25.0+1=26.0$	Kabul
G5	26.5; 28.5; 27.2	27.4	$f_{cmin}=27.3 > 25.0-3=22.0$	
G6	26.6; 28.0; 27.5	27.3		

Tablo 4 - Sayısal örnek TS 11222

PARTİ	KÜP DAYANIMI 28. gün (MPa)	GRUP ORT. (MPa)	DEĞERLENDİRME: $f_{cm} \geq f_{ck} + 4.0$ $f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$	Sonuç
1 G1	28.8; 27.0; 29.2	28.3	$f_{cm}=27.4 < 25.0+4.0=29.0$	Red
G2	28.6; 27.8; 28.2	28.2	$f_{cmin}=25.7 > 25.0-4.0=21.0$	
G3	24.8; 25.6; 26.8	25.7		
2 G4	29.0; 28.7; 27.8	28.5	$f_{cm}=27.7 < 25.0+4.0=29.0$	Red
G5	26.5; 28.5; 27.2	27.4	$f_{cmin}=27.3 > 25.0-4.0=21.0$	
G6	26.6; 28.0; 27.5	27.3		
Tüm Üretim	$f_{cm} = 27.6$ $\sigma = 1.2$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.28\sigma$ $27.6 \geq 25 + 1.28 \cdot 1.2 = 26.5$		KABUL

Tablo 5 - Sayısal örnek TS EN 206-1

GRUP	KÜP DAYANIMI 28. gün (MPa)	Değerlendirme: $f_{cm} \geq f_{ck} + 4.0$ $f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$	Sonuç
1	28.8; 27.0; 29.2	$f_{cm}=28.3 < 25.0 + 4 = 29.0$ $f_{cmin}=27.0 > 25.0 - 4 = 21.0$	Red
2	28.6; 27.8; 28.2	$f_{cm}=28.2 < 25.0 + 4 = 29.0$ $f_{cmin}=27.8 > 25.0 - 4 = 21.0$	Red
3	24.8; 25.6; 26.8	$f_{cm}=25.7 < 25.0 + 4 = 29.0$ $f_{cmin}=24.8 > 25.0 - 4 = 21.0$	Red
4	29.0; 28.7; 27.8	$f_{cm}=28.5 < 25.0 + 4 = 29.0$ $f_{cmin}=27.8 > 25.0 - 4 = 21.0$	Red
5	26.5; 28.5; 27.2	$f_{cm}=27.4 < 25.0 + 4 = 29.0$ $f_{cmin}=26.5 > 25.0 - 4 = 21.0$	Red
6	26.6; 28.0; 27.5	$f_{cm}=27.3 < 25.0 + 4 = 29.0$ $f_{cmin}=26.6 > 25.0 - 4 = 21.0$	Red
Tüm üretim	$f_{cm} = 27.6$ $\sigma = 1.2$	$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.48\sigma$ $27.6 \geq 25 + 1.48 \cdot 1.2 = 26.8$	KABUL

Parti veya genel değerlendirmede betonun istenen kriterleri sağlamaması durumunda, konunun dik-katlice incelenmesi ve ne yapılacağı konusunda ivedilikle karar alınması gereklidir. Aksi halde yapının yükselmesiyle birlikte sorunun çözümü içinden çıkılmaz veya çok masraflı bir hal alabilir.

TS-EN 206-1 STANDARDININ BETONUN DAYANIKLILIĞININ SAĞLANMASI İÇİN GETİRDİĞİ ÖNERİLER

Yapay bir malzeme olan betonarmenin olumlu özelliklerini sürdürebilmesi kalıcı olmasına bağlıdır. Beton veya betonarme elemanların deprem veya aşırı yüklemenin etkisi dışında da zamanla bozulmaları söz konusudur. Bu nedenle günümüzde, tasarım yükleri için yeterli dayanımı sağlayan betonun aynı zamanda dayanıklı olacağı görüşü terk edilmiştir. Yükler açısından istenen dayanımı sağlayan kaliteli bir betonarme eleman bile tasarım aşamasında dikkate alınmamış şiddetli etkiler, altında umulmadık kısa sürede bozularak kullanılmaz hale gelebilir ya da büyük bakım, onarım masraflarına yol açabilir.

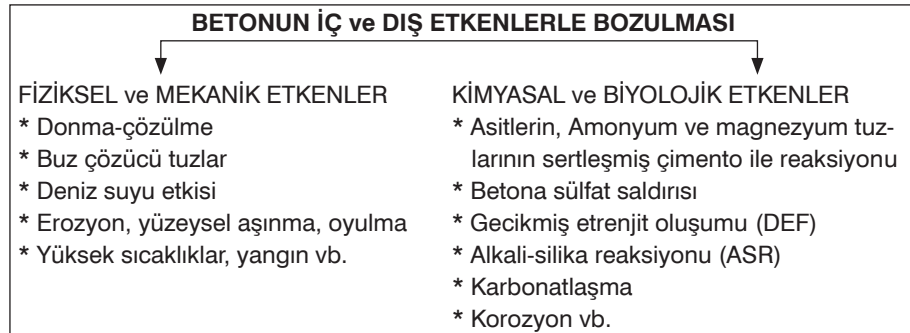
Yapının bozulmasına yol açan etmenler fiziksel, kimyasal ve mekanik kökenli olabilir. Mekanik yolla oluşan hasarlar ara-

sında, darbe, aşınma, erozyon ve oyulma etkileri sayılabilir. Kimyasal etkenler dışarıdan beton içine sızan zararlı maddelerden kaynaklanabileceği gibi, beton bileşimini oluşturan malzemelerden de kaynaklanabilir. Bunlar arasında alkali-silika reaksiyonu (ASR), sülfat etkisi, karbonatlaşma, korozyon, bazı asit ve tuz etkileri sayılabilir. Bozulmanın fiziksel nedenleri; donma-çözülme, buz çözücü tuzlar, yüksek sıcaklıklar vb. etkilidir. Betonun değişik kökenli iç ve dış etkenlerle bozulması şematik olarak Şekil 1'de gösterilmektedir [1].

Günümüzde betonarme yapıların servis ömürlerini etkileyen en önemli faktörün betonarme donatısının paslanması (korozyon) olduğu söylenebilir. Aslında, doğru dizayn edilmiş, geçirimsiz, kaliteli bir beton, çeliği korozyondan koruyarak yapı-

nın dayanımını ve dayanıklılığını istenen düzeyde sağlar. Kimyasal koruma betonun alkalitesi sayesinde, fiziksel koruma ise ortamda bulunan ve korozyona yol açan maddelerin yapı elemanı içine difüzyonunun önlenmesi ile gerçekleşir. Betonun bu olumlu özelliğine rağmen, uygulamada yapılan hatalar nedeniyle korozyon, günümüzde betonarme yapıların en önemli sorunu olarak kabul edilmektedir. Örneğin, pas payı tabakası yetersiz kalınlıkta, geçirimli ve kalitesiz bir betonarme eleman içindeki çelik donatı kısa sürede paslanabilir. Çünkü böyle bir elemanda karbonatlaşma cephesi, klorür iyonları veya asidik sıvılar kolaylıkla çeliğe ulaşabilir. Ayrıca sülfat vb. zararlı maddeler betonu zamanla tahrip edebilir.

Bu hasarlar çoğunlukla yıllar sonra oluşmaktadır. Ancak bazen yapı hizmete girmeden kısa sürede oluşanları da vardır. Ülkemizde de alkali-silika reaksiyonu, sülfat etkisi ve klorür korozyonu gibi neden-



Şekil 1 - Betonun iç ve dış etkenlerle bozulması

lerle hasar görmüş çok sayıda riskli yapı mevcuttur. Betona ve donatıya zarar veren fiziksel, kimyasal ve biyolojik kökenli etkenler hakkındaki bilgiye [1] No'lu referansla ulaşılabilir.

Yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin türünün ve şiddetinin tasarım aşamasında belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Yapının birden fazla etkiye aynı anda ve tekrarlı olarak maruz kalmasının olası olduğu ve tüm bu etkilerin bir arada değerlendirilmesinin gerektiği gözden kaçırılmamalıdır. Alınacak önlemler yıpratıcı etkinin türüne ve şiddetine göre farklılık gösterebilir. Örneğin sülfat etkisinde kalacak bir yapı için çimento seçiminin önemi büyüktür. Ancak çok genel olarak önlemleri üç ana bölüme ayırmak mümkündür. Hemen hemen tüm dayanıklılık problemlerinde belirleyici faktör suyun, su içinde taşınan zararlı maddelerin ve gazların beton bünyesine sızmasıdır. Dolayısıyla kaliteli, geçirimsiz beton üretmek ilk ve en önemli önlem olarak düşünülür. İkinci gruba giren önlemleri ise, beton dizaynı aşamasında yapının karşılaşması muhtemel etkilerin dikkate alınması ve buna göre doğru malzeme seçimi olarak tanımlamak mümkündür. Üçüncü gruba, suyun bir an önce yapıdan tahliyesini sağlamak, nemin yapı elemanı üzerinde yoğunlaşmasını önlemek, betonun çatlama-

sını önlemek için uygun derzler teşkil etmek vb. alınması gerekli yapısal önlemleri sokmak mümkündür. Bazen çok şiddetli çevre etkisi durumunda ise betonun dıştan izole edilerek korunması gerekebilir.

Betonun bulunduğu ortamın değerlendirilmesi için çevresel etki sınıflaması ve yıpratıcı etkiye karşı dayanıklılığının sağlanması için beton karışımları için getirilen öneriler TS EN 206-1 standardında sunulmuştur. Bu öneriler Tablo 6'da gösterilmektedir. Buna göre;

Karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyon riskinin bulunduğu ortamda kullanılacak betonun etkinin şiddetine göre Su/Çimento oranının 0,65-0,50, en az çimento dozajının 260-300 kg/m³, beton sınıfının ise C20/25 - C30/37 olması önerilmektedir. Benzer şekilde klorürlerin sebep olduğu korozyon riski deniz suyundan kaynaklanan ve deniz suyu haricindeki klorürler olarak sınıflandırılmış ve bu ortamda kullanılacak betonun etkinin şiddetine göre S/Ç oranının 0,55-0,45, en az çimento dozajının 300-340 kg/m³ olması, beton sınıfının ise en az C30/37- C35/45 olarak seçilmesi önerilmektedir. Donma-çözülme riskinin bulunduğu ortamda kullanılacak beton için ise etkinin şiddetine göre önerilen değerler sırasıyla 0,45-0,55, 300-340 kg/m³ ve

Tablo 6 - Çeşitli Çevresel Etki Sınıflarında Kullanılacak Betonlar için, Beton karışımı ve özellikleri için önerilen sınır değerler (TS EN 206-1)

	Etki Sınıfları (Tablo 10.5)																	
	Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok	Karbonlaşma nedeniyle korozyon				Klorürün sebep olduğu korozyon						Donma/çözülme etkisi				ZARARLI KİMYASAL ORTAM ^c		
						Deniz suyu			Deniz suyu haricinde klorür									
		X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2
En büyük su/çimento oranı	-	0,65	0,60	0,55	0,50	0,50	0,45	0,45	0,55	0,55	0,45	0,55	0,55	0,50	0,45	0,55	0,50	0,45
En küçük dayanım sınıfı ^a	C16/20 ^d	C20/25	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45	C35/45	C30/37	C30/37	C35/45	C30/37	C25/30	C30/37	C30/37	C30/37	C30/37	C35/45
En az çimento içeriği(kg/m ³)	-	260	280	280	300	300	320	340	300	300	320	300	300	320	340	300	320	360
En az hava içeriği (%)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0 ^b	4,0 ^b	4,0 ^b	-	-	-
Diğer şartlar												Pr EN 12620:2000'e uygun donma/çözülme dayanıklılığına sahip agregası				Sülfatlara dayanıklı çimento		

^a Beton sınıfları 15/30 cm standart silindir ve 15 cm ayrıtlı küp örnek ile tanımlanmıştır.

^b Hava sürüklenmemiş betonda, beton performansı, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla kıyas için uygun deney metoduna göre belirlenmelidir.

^c XA2 ve XA3 etki sınıfında baskın etkinin SO₄²⁻’den kaynaklanması halinde sülfatlara dayanıklı çimento kullanılması zorunludur. Sülfatlara dayanıklılık bakımından çimentonun sınıflandırılması halinde orta ve yüksek dayanıklı olarak sınıflandırılan çimento XA2 etki sınıfında (uygulanabiliyorsa XA1 etki sınıfında) ve yüksek dayanıklı çimento ise XA3 etki sınıfında kullanılmalıdır.

^d Standartta verilen bu değerin yanlış olduğu, doğrusunun C16/20 olması gerektiği düşünülmektedir.

^a Beton sınıfları 15/30 cm standart silindir ve 15 cm ayrıtlı küp örnek ile tanımlanmıştır.

^b Hava sürüklenmemiş betonda, beton performansı, ilgili etki sınıfı için donma/çözülme etkisine dayanıklılığı kanıtlanmış betonla kıyas için uygun deney metoduna göre belirlenmelidir.

^c XA2 ve XA3 etki sınıfında baskın etkinin SO₄'den kaynaklanması halinde sülfatlara dayanıklı çimento kullanılması zorunludur. Sülfatlara dayanıklılık bakımından çimentonun sınıflandırılması halinde orta ve yüksek dayanıklı olarak sınıflandırılan çimento XA2 etki sınıfında (uygulanabiliyorsa XA1 etki sınıfında) ve yüksek dayanıklı çimento ise XA3 etki sınıfında kullanılmalıdır.

^d Standartta verilen bu değerin yanlış olduğu, doğrusunun C16/20 olması gerektiği düşünülmektedir.

C25/30 - C30/37'dir. Ayrıca, etkinin orta ve şiddetli olduğu durumlarda hava sürükleyici katkı maddesi kullanılarak betonun en az hava içeriğinin %4 olması önerilmektedir. Zararlı kimyasal ortamda kullanılacak betonlar için etkinin şiddetine göre getirilen öneriler ise sırasıyla 0,55 - 0,45, 300-360 kg/m³ ve C30/37-C35/45'dir. Zararlı kimyasal etki sülfatlardan kaynaklanıyorsa sülfata dayanıklı çimento kullanılması öngörülmektedir.

Tablo 6'da verilen değerlerin yapı kullanım ömrünün 50 yıl olacağı, betonda CEM I (PÇ) türü çimento ve 20-32 mm arasında en büyük tane büyüklüğüne sahip agregaya kullanılacağı kabulüne dayandığını belirtmekte fayda vardır. Daha şiddetli yıpranma koşullarında veya daha uzun kullanım ömürleri için, daha düşük S/Ç oranlı, daha yüksek çimento dozajlı ve daha yüksek dayanımlı beton kullanılması gerekebilir.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (A.B.Y.Y.H.Y. 1998) hükümleri ile deprem bölgelerinde kullanılacak asgari beton sınıflarının C16 ve C20'ye çıkarılması olumlu değişikliklerdir. Ancak, durabilite, özellikle donatı korozyonu açısından değerlendirildiğinde bu beton sınıflarının yeterli geçirimsizlik sağlamadığı gözlenmektedir. Beton sınıfının yalnızca yapısal kaygılar dikkate alınarak seçilmesi oldukça hatalı bir yaklaşımdır. Örneğin, deniz suyuna ıslanma-kuruma şeklinde maruz kalan bir iskele yapısında C20 sınıfı bir beton kullanılması başlangıçta ekonomik ve uygun bir çözüm gibi görünebilir. Fakat, geçmiş tecrübeler ve saha gözlemleri göstermiştir ki, deniz suyundaki klorür iyonlarının yol açtığı donatı korozyonu sebebiyle böyle bir iskele yapısı 5-10 yıl içinde tamamen kullanılamaz hale gelebilmektedir. Bu sebeple beton sınıfı seçiminin, yapının servis ömrü boyunca maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin ve yapısal ihtiyaçların birlikte değerlendirilerek yapılması en doğru yaklaşımdır. Uluslararası standartların çoğunda böyle bir ortamda inşa edilecek betonarme bir yapıda betonun en az çimento içeriği 340 kg/m³ ile en büyük Su/Çimento oranı 0.45 ile sınırlandırılmakta ve beton sınıfının C35 ve üzerinde olması zorunlu tutulmaktadır. Aslında, benzer sınıflandırma, TS 11222 Hazır Beton Standardında ve TS EN 206-1'de öneri olarak verilmiştir. Ancak, bu koşullar ne betonarme projelerinde aranmakta, ne de bu projelerin denetiminde göz önüne alınmaktadır. TS 500'ün bu konuda bu standartlara zorunluluk içeren bir atıf yapması uygun olacaktır. Daha önce belirtildiği gibi, standartlarımızın genellikle farklı disiplinlerden gelen kişilerce danışma mekanizması yeterince işletilmeden hazırlanması bazı uyumsuzluklara yol açmaktadır. Bu sorunun biran önce giderilmesi

gerekmektedir. Avrupa Birliği uyum çalışmaları kapsamında tüm standartlarımızın Avrupa Normları ile değiştirilmesi bu konuda iyi bir fırsat olarak algılanabilir.

Deprem yönetmeliğimizde (A.B.Y.Y.H.Y.) verilen en düşük beton sınıfı C16-C20, TS EN 206-1 standardında zararlı yıpratıcı hiçbir etkiye maruz kalmayacak ve donatı korozyonu riskinin çok az olduğu yapılarda kullanılması önerilen beton sınıfıdır. Bir çok durumda, yıpranma koşulları dikkate alınarak betonun su/çimento oranına ve çimento dozajına sınırlama getirilmesi beton sınıfını kendiliğinden C30 düzeyine çıkarmaktadır. Betonun Su/Çimento oranını ve çimento dozajını denetlemek kolay değildir. Oysa betonun basınç dayanımı kolayca denetlenebilmekte ve toplumda da bu konuda genel bir alışkanlık oluşmaya başlamaktadır. Bu nedenle özellikle deprem bölgelerinde kullanılacak betonlarda, donatı korozyonu yolu ile donatı - beton adekansının yok olmasını önlemeye yönelik olarak en düşük beton sınıfı sınırlamasının düzeyi yükseltilmelidir ve en az C30 olmalıdır. Ayrıca, betonun geçirimsizliğini etkileyen en önemli parametreler S/Ç oranı ve bağlayıcı miktarı olduğu için, sınıf dayanımının yanı sıra bunlarla ilgili sınır değerlerin de sağlanmasına özen gösterilmelidir.

Değişik üniversitelerimizin yapı malzemesi profesörleri yeni yapılacak yapıların olası bir depreme karşı dayanıklı olabilmesi için gerekli asgari koşulları ve en düşük beton sınıfının C30 olması gerektiğini 17 Ağustos 2001 tarihinde yayınladıkları bir deklarasyon ile kamuoyuna duyurmuşlardır.

Yapılarda C20 yerine C30 kullanımı başlangıçta bir miktar maliyet artışına yol açıyor gibi görünmesine rağmen, bu miktar tüm yapı maliyeti yanında çok düşük mertebede kalmaktadır. Projenin C20 sınıfı beton yerine C30 sınıfı bir betonla çözülmesi halinde donatıdan, kesit boyutlarından ve yapı ağırlığından sağlanan ekonomi, genellikle beton sınıfının değiştirilmesinden kaynaklanan, maliyet artışını dengelemekte hatta toplam maliyeti azaltabilmektedir. Yapılan bir bilimsel çalışma sonucu, beton sınıfı yükseldikçe deprem bölgesi ve yapı kat adedine bağlı olarak kaba inşaat maliyetinden %5 civarında bir tasarrufun sağlanmasının mümkün olduğu belirlenmiştir [2].

SONUÇ

Deprem gibi etkiler altında betonarme yapıların istenen performansı gösterebilmesi zemin etüdünden başlayarak iyi bir projelendirmeye ve bu projenin şantiyede eksiksiz olarak uygulanmasına, kağıt üzerinde kalmamasına bağlıdır. Dolayısıyla üretimin

her aşamasının denetlenmesi ve kalite kontrolünün yapılması bir lüks değil yasal bir zorunluluktur. Kaldı ki, kullanılacak malzemelerin ve üretimin kalite kontrolü için yapılacak masraf genellikle yapının ekonomik değeri yanında yok denecek kadar azdır. Halen yürürlükte olan standartlar arasındaki uyumsuzluklar uygulamada zaman zaman sıkıntılara yol açmaktadır. Ancak, Avrupa Birliği uyum çalışmaları kapsamında, Mart 2004'te TS EN 206-1'in yürürlüğe girmesi, TS 11222'nin yürürlükten kalkması ve TS 500'ün beton nitelik denetimiyle ilgili hükümlerinin TS EN 206-1'e bağlanması ile bu sorunların büyük oranda giderilmesi beklenmektedir. Ancak TS 500'teki beton sınıflarının C50'ye kadar tanımlanması, TS EN 206-1'de ise beton sınıflarının C100/115'e kadar belirlenmesi ve TS 500'de betonarme hesaplarda kullanılacak katsayıların, tahmini beton elastisite modülü değerlerinin C50 sınıfının üstündeki beton sınıfları için tanımsız kalması bir eksiklik olarak görülebilir.

Yapının servis ömrü boyunca işlevselliğini koruyabilmesi, maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin türünün ve şiddetinin tasarım aşamasında belirlenmesi ve gerekli önlemlerin alınmasıyla mümkündür. Beton

sınıfının yalnızca yapısal kaygılar dikkate alınarak seçilmesi oldukça hatalı bir yaklaşımdır. Beton sınıfı seçiminin, yapının servis ömrü boyunca maruz kalacağı yıpratıcı etkilerin ve yapısal ihtiyaçların birlikte değerlendirilerek yapılması en doğru yaklaşımdır. Bir çok durumda, yıpranma koşulları dikkate alınarak betonun su/çimento oranına ve çimento dozajına sınırlama getirilmesiyle -yapısal çözümle açısından gerekli olmasa bile- kullanılması gerekli en düşük beton sınıfı kendiliğinden C30 düzeyine çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Baradan, B., Yazıcı, H., Ün, H. (2002): "Betonarme Yapılarda Kalıcılık (Durabilite)" "D.E.Ü. Müh. Fak. Yayını No. 298, 282 s., İzmir.
2. Koca, C., Karaesmen, E., Erkey, C. (1998). "Beton Basınç Mukavemetindeki Değişikliklerin Yapı Maliyetine ve Kalitesine Etkileri". Hazır Beton, Temmuz 1998, THBB, İstanbul.
3. TS 500 (2000). "Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları".
4. TS EN 206-1 (2002). "Beton, Özellik, Performans, İmalat, Uygunluk"
5. TS 11222 (2001). "Beton- Hazır Beton- Sınıflandırma, Özellikler Performans Üretim ve Uygunluk Kriterleri".