Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 31, Sayı 2, 2026 DERLEME

DOI: 10.17482/uumfd.1904092

DEPREM SONRASI BETON DAYANIMININ DEĞERLENDİRİLMESİNDE YÖNTEM SORUNU: TÜRKİYE, AB VE ABD STANDARTLARININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELEMESİ

Hatice Gizem ŞAHİN [*]
Ali MARDANİ [**]
Adem DOĞANGÜN[***]

Alınma: 06.03.2026; düzeltme: 20.04.2026; kabul: 27.04.2026

Öz: Betonarme bir yapının tasarım aşamasından ekonomik ömrünü tamamladığı ana kadar geçen süreçte, betona ilişkin tanım, sınıf, gerilme ve dayanım gibi pek çok farklı kavram ve değer kullanılmaktadır. Malzeme teknolojisindeki ilerlemeler ve üretim kalitesindeki değişimler, betonun tanımlanma biçimini ve beklenen performansını doğrudan etkilemektedir. Bu çalışmada, betonun farklı bağlamlardaki tanım ve özellikleri, tarihsel gelişim ve yapım süreçleri dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Kapsam dahilindeki bağlamlar şunlardır: çevresel etki sınıfına bağlı olarak beton sınıfı seçimi; betonarme projelerde beton sınıfının tanımlanması; hesap ve kesit tasarımında esas alınan beton özellikleri; üretim, yerleştirme ve uygunluk denetimi amacıyla beton numunesi alınması; yapıdan karot alınarak kalite kontrolü yapılması; kentsel dönüşüm kapsamında riskli bina tespiti için karot numunesi alınması; mevcut yapıların performans analizi için karot numunesi alınması ve son olarak deprem sonrası bilirkişilik incelemelerinde beton sınıfının değerlendirilmesi.

Anahtar Kelimeler: Çevresel etki sınıfı, beton tanımları, kalite kontrolü

Methodological Challenges in Post-Earthquake Concrete Strength Assessment: A Comparative Review of Turkish, EU and US

Abstract: Throughout the process of a reinforced concrete structure, from its design phase to the end of its economic lifespan, many different concepts and values related to concrete, such as definition, class, stress, and strength, are used. Advances in material technology and changes in production quality directly affect how concrete is defined and its expected performance. This study comparatively examines the definitions and properties of concrete in different contexts, taking into account historical development and construction processes. The contexts covered include: selection of concrete class based on exposure class; definition of concrete class in reinforced concrete projects; concrete properties used in calculation and section design; taking concrete samples for production, placement, and conformity control; quality control by taking core samples from the structure; taking core samples for the identification of risky buildings within the scope of urban transformation; taking core samples for performance analysis of existing structures; expert assessments following earthquakes, and finally evaluation of concrete class.

Keywords: Exposure class, concrete definitions, quality control

[*] Hatice Gizem Şahin Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa
[**] Ali Mardani Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa
İletişim Yazarı: Ali MARDANİ (alimardani@uludag.edu.tr)
[***] Adem Doğangün Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 16059, Bursa

1. GİRİŞ

Türkiye'deki mevcut yapıların büyük çoğunluğunu betonarme binalar oluşturmaktadır. Bu nedenle, deprem gibi doğal afetler sonucunda yıkılan veya ağır hasar gören yapıların da çoğunluğu aynı yapım sistemine sahiptir. Betonun gevrek davranışı (Zhang vd., 2021; Yu vd., 2024; Zhou vd., 2020), düşük çekme dayanımı (Qaiser vd., 2020; Ahmed vd., 2016; Ashwini vd., 2023) ve çevresel etkilere karşı hassasiyeti (Kaya vd., 2023; Yazici vd., 2023; Kalipcilar vd., 2018) nedeniyle mevcut betonarme yapılarda zamanla çatlak oluşumu, dayanım kaybı ve rijitlik azalması gibi problemler ortaya çıkabilmektedir. Bu durum, taşıyıcı sistemlerin performansının artırılması ve servis ömrünün uzatılması amacıyla çeşitli güçlendirme tekniklerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Bu yöntemler arasında çelik ceketleme uygulamaları, sağladığı yüksek dayanım artışı, süneklik iyileşmesi ve etkin yük paylaşımı nedeniyle öne çıkmaktadır (Xu vd., 2018). Çelik ceketleme yöntemi, üstün mekanik özellikleri ve uygun inşaat özellikleri sayesinde yaygın olarak tercih edilmektedir (Boyd vd., 1995; Fang vd., 2015; Giménez vd., 2009; Nagaprasad vd., 2009). Tasarım yöntemi basittir, uygulama süreci güvenli ve etkilidir ve güçlendirme performansı güvenilir sonuçlar vermektedir, bileşenlerin eğilme ve taşıma kapasitesi, ihtiyaçlara bağlı olarak önemli ölçüde artırılabilmekte, mukavemet ve tokluk iyileştirilerek mevcut taşıma kapasitesi geri kazandırılmakta ve servis ömrü uzatılabilmektedir. Çelik plakalar, yüksek aderans kapasitesine sahip yapıştırıcı malzemeler aracılığıyla mevcut betonarme elemanla bütünleşerek yükü birlikte taşımaktadır. Bu sistemde çelik levha, beton içindeki donatıya benzer bir işlev görmektedir. Çelik levha ile beton arasındaki etkileşim sayesinde, bağ bölgesindeki beton kısıtlanarak mevcut çatlakların genişlemesi kontrol altına alınmakta ve yeni çatlak oluşumu sınırlandırılmaktadır. Bu nedenle çelik ceketleme uygulamaları, sismik güçlendirme projelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Garzón-Roca vd., 2011; Xu vd., 2018).

Betonarmenin iki temel bileşeni olan beton ve çelik arasında, çeliğin üretim sürecinin daha kontrollü olması ve zaman içinde mekanik özelliklerini büyük ölçüde koruması, malzeme kaynaklı sorunların başında betonun gelmesine neden olmaktadır (Çatal, 2019). Son yıllarda bu tür sorunları aşmak ve yapım sürecini optimize etmek amacıyla 3B baskılı betonlar gibi yenilikçi malzemelerin mekanik ve dayanıklılık performansları üzerine yoğun çalışmalar yürütülmektedir (Şahin ve Mardani-Aghabaglou, 2022; Şahin ve Mardani, 2023). 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye'nin güneydoğusunda, merkez üssü sırasıyla Pazarcık (Mw 7,7) ve Elbistan (Mw 7,6) olan iki büyük deprem meydana gelmiştir. Bu deprem serisi, büyüklüğü 6,7'ye ulaşan 40.000'den fazla artçı sarsıntı ile devam etmiş; yol açtığı yıkım ve can kaybı bakımından dünyanın en önemli depremleri arasında yerini almıştır (Mardani vd., 2024, Şahin vd., 2025). Depremler, ağır can ve mal kayıplarının yanı sıra ekonomik faaliyetlerin kesintiye uğramasına ve ciddi maddi zararlara da yol açmıştır (Aksoy vd., 2025). Bu durumun doğal bir sonucu olarak, yüzbinlerce dava açılmış ve binlerce kişi hakkında yargılama süreci başlatılmıştır (Mazılıgüney ve Yaman, 2024). Söz konusu davalarda en çok sorgulanan parametrelerden biri beton sınıfı olmuştur. Türkiye'de geçmiş dönemlerde betonun tanımlanması ve sınıflandırılması TS 500 standardına göre yapılmıştır. Bu standartta 1984 yılına kadar beton sınıfları, Tablo 1'de gösterildiği gibi, emniyet gerilmesi değerleri esas alınarak (B160, B225, B300) tanımlanmıştır. 1984 yılından itibaren ise, Tablo 2'de görüldüğü üzere, basınç dayanımı değerlerine (BS30, C30) dayalı bir sınıflandırmaya geçilmiştir. Günümüz projelerinde ise beton sınıfı, TS 206 (2021)'de tanımlanan ve karakteristik basınç dayanımını ifade eden C30/37 biçiminde belirtilmektedir. Her ne kadar TS 500 daha düşük dayanım sınıflarına izin verse de, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) betonarme binalar için asgari beton sınıfını C25/30, ön üretimli (prefabrike) betonarme binalar için ise C30/37 olarak sınırlandırmaktadır.

Tablo 1. TS500 (1971 ve 1975) de beton sınıfına, yapı elemanına ve zorlanma şekillerine göre alınabilecek emniyet gerilmeleri

Yapı Elemanı ve Zorlanma Şekli	Yapı Malzemesi ve Kullanıldığı Bölge	Beton Sınıflarına Göre Emniyet Gerilmeleri (kgf/cm²)			Satır
		II b $W_{b28} \geq 160$	II a $W_{b28} \geq 225$	I $W_{b28} \geq 300$	
A Plaklar ve Dikdörtgen kesitli kirişler, momentle zorlanınca.	Plaklardaki ve dikdörtgen kesitli kirişlerdeki beton (Çift yönde donatılı plaklar, kirişsiz döşemeler)				
	$d \leq 8$ cm	50	70	90	1
	$d > 8$ cm	60	80	100	2
	I	1400	1400	1400	3
	II	1800	2000	2000	4
	III	-	2200	2200	5
	IV	-	2400	2400	6
	Kirişteki donatı: Beton çeliği I	1400	1400	1400	7
	II	1800	1800	1800	8
	III, IV	-	2000	2 000	9
B Tablalı kirişler, dişli döşemeler, momentle zorlanınca.	Tabladaki gerilmeler göz önüne alındığına göre beton (Tablodaki gerilmeler göz önüne alınmazsa A da verilen değerler geçerlidir.)	50	70	90	10
	Negatif moment bölgesinde tablalı kiriş ve dişli döşemelerin gövde betonunda	70	90	110	11
	Beton çeliği I	1400	1400	1400	12
	II	1800	1800	1800	13
	III, IV	-	2000	2000	14
C Plaklar, dikdörtgen kesitli kirişler, tablalı kirişler, çerçeveli kemerler, çerçeve tipi taşıyıcı sistemlerin elemanı olan kolonlar eğilme ve normal kuvvetle zorlanınca.	Beton				
	a) Dikdörtgen kesitli bir eksenli eğilmeye maruz	70	90	110	15
	b) Dikdörtgen kesitli iki eksenli eğilmeye maruz	80	100	120	16
	c) Tablalı kirişlerde tabladaki basınç gerilmesi göz önüne alındığına göre	60	80	100	17
	(Tabladaki gerilmeler alınmazsa veya tabla çekme bölgesinde ise a ve b de dikdörtgen için verilen değerler burada da geçerlidir.)				
	Plaktaki donatı: Beton çeliği I	1400	1400	1400	18
	II	1800	2000	2000	19
	III	-	2200	2200	20
	IV	-	2400	2400	21
	Diğer kısımdaki donatı:				
	Beton çeliği I	1400	1400	1400	22
	II	1800	1800	1800	23
	III, IV	-	2000	2000	24

Tablo 2. TS500 (1984 ve 2000) de beton sınıfları ve öngörülen dayanım değerleri

Beton Sınıfı		Karakteristik Basınç Dayanımı, f_{ck}, MPa	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı, MPa	Karakteristik Eksenel Çekme Dayanımı, f_{ctk}, MPa	28 Günlük Elastisite Modülü E_c MPa	
1984	2000				1984	2000
BS14	-	14	18	1,3	26150	-
BS16	C16	16	20	1,4	27000	27000
-	C18	18	22	1,5	-	27500
BS20	C20	20	25	1,6	28500	28000
BS25	C25	25	30	1,8	30250	30000
BS30	C30	30	37	1,9	31600	32000
BS35	C35	35	45	2,1	33200	33000
BS40	C40	40	50	2,2	34550	34000
BS45	C45	45	55	2,3	35800	36000
BS50	C50	50	60	2,5	36950	37000

Betonun tanımlanmasına veya dayanımının belirlenmesine yönelik yaklaşımlar, hem tarihsel süreç içinde değişiklik göstermekte, hem de günümüzde riskli bina tespiti ve performans analizi gibi farklı amaçlara bağlı olarak çeşitlenmektedir. 6 Şubat 2023 depremlerinin ardından, milyonlarca kişiyi doğrudan ilgilendiren yıkık veya hasarlı binaların teknik ve hukuki değerlendirmelerinde, enkazdan ya da hasarlı yapılardan alınan beton karot numunelerinin kullanılması ve bu sonuçlara dayalı olarak yargı süreçlerinin yürütülmesi, bu çalışmanın hazırlanmasını gerekli kılmıştır. Çalışmanın amacı, betonun projelerde tanımlanması, taze beton olarak üretilmesi ve yerleştirildikten sonra sertleşmiş beton olarak incelenmesi gibi tüm aşamalarda kullanılan tanım ve nitelik değerlendirmelerini bir arada ve karşılaştırmalı olarak sunmaktır. Bu sayede, uygulamada karşılaşılan karmaşıklığın giderilmesine yönelik bir katkı sağlanması hedeflenmektedir. Bu çalışma, Türkiye, Avrupa Birliği ve Amerika Birleşik Devletleri'nde kullanılan betonla ilgili standartların karşılaştırılmasına dayalı nitel bir doküman analizi çalışmasıdır. Karşılaştırma süreci, ilgili standart ve yönetmeliklerin doğrudan içerik analizi yoluyla gerçekleştirilmiştir. Standartlar, önceden belirlenen beş ana kriter çerçevesinde değerlendirilmiştir: (i) betonun tanımı ve sınıflandırılması, (ii) dayanım kavramının (karakteristik, tasarım ve nominal dayanım) tanımlanma biçimi, (iii) çevresel etki ve dayanıklılık sınıflandırmaları, (iv) deney, numune alma ve uygunluk değerlendirme prosedürleri, (v) mevcut yapıların ve deprem sonrası hasarlı yapıların değerlendirilmesine ilişkin yaklaşımlar.

Karşılaştırmalar, sayısal bir modelleme yerine standartların kavramsal ve metodolojik farklılıklarını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgular, karşılaştırma yaklaşımıyla sınıflandırılmıştır. Mevcut literatürde beton dayanımının belirlenmesine yönelik çalışmalar çoğunlukla belirli bir bağlamla (taze beton, mevcut yapı analizi veya riskli bina tespiti gibi) sınırlı kalmakta, özellikle deprem sonrası hasar görmüş yapılardan elde edilen beton verilerinin değerlendirilmesine ilişkin bütüncül ve karşılaştırmalı bir metodolojik çerçevenin eksik olduğu görülmektedir. Ayrıca Türkiye, Avrupa Birliği ve ABD standartlarının bu farklı kullanım bağlamları içerisindeki yaklaşımlarını birlikte ele alan çalışmalar oldukça sınırlıdır. Bu çalışmada beton, aşağıdaki sekiz temel bağlamda incelenmektedir: (1) çevresel etki sınıfına göre beton tanımlanması, (2) dayanıma göre betonarme projedeki beton sınıfı tanımlanması, (3) betonarme hesap ve kesit tasarımında beton değerlerinin kullanılması, (4) taze betondan numune alınarak üretim, yerleştirme ve uygunluk denetimi yapılması, (5) inşaat halindeki yapıdan karot alınarak uygunluk denetimi yapılması, (6) kentsel dönüşümde riskli bina tespiti için beton dayanımının belirlenmesi, (7) mevcut yapılarda performans analizi için beton dayanımının belirlenmesi, ve (8) deprem geçirmiş binalarda bilirkişilik incelemeleri için beton sınıfının irdelenmesi hakkında bilgi verilmesi.

2. ÇEVRESEL ETKİ SINIFINA GÖRE BETON TANIMLAMASI

Günümüzde sürdürülebilirlik anlayışının yaygınlaşmasına paralel olarak beton, yalnızca basınç dayanımına göre değil; çevresel etki sınıfları, kıvam ve işlenebilirlik gibi performansa dayalı parametrelerle de tanımlanmaktadır. Bu kapsamlı sınıflandırma, TS EN 206 (2025) standardında "Çevre Etkileriyle İlgili Etki Sınıfları" başlığı altında Tablo 3'te sunulduğu biçimde düzenlenmiştir.

Tablo 3. TS EN 206 (2025) Etki Sınıfları

Sınıfı	Çevrenin Tanımı	Etki sınıflarının meydana gelebileceği yerlere ait bilgi mahiyetinde örnekler
1 Korozyon veya zararlı etki tehlikesi yok		
X0	Donatı veya gömülü metal bulunmayan beton: Donma / çözülme etkisi, aşınma veya kimyasal etki haricindeki bütün etkiler. Donatı veya gömülü metal içeren beton: çok kuru	Çok düşük rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki beton
2 Karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon		
XC 1	Kuru veya sürekli ıslak	Çok düşük rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki beton. Sürekli şekilde su içerisindeki beton.
XC2	Islak, arasıra kuru	Su ile uzun süreli temas eden beton yüzeyler temellerin çoğu
XC3	Orta derecede rutubetli	Orta derecede veya yüksek rutubetli havaya sahip binaların iç kısımlarındaki betonlar. Yağmurdan korunmuş, açıkta bulunan betonlar
XC4	Döngülü ıslak ve kuru	XC 2 etki sınıfı dışındaki, su temasına maruz beton yüzeyler
3 Deniz suyu haricindeki klorürlerin sebep olduğu korozyon		
XD 1	Orta derecede rutubetli	Hava ile taşınan klorürlere maruz beton yüzeyleri
XD 2	Islak, arasıra kuru	Yüzme havuzları. Klorür içeren endüstriyel sulara maruz betonlar
XD 3	Döngülü ıslak ve kuru	Klorür ihtiva eden serpintilere maruz köprü kısımları, Yer döşemeleri, Araç park yeri döşemeleri
4 Deniz suyundan kaynaklanan klorürlerin sebep olduğu korozyon		
XS 1	Hava ile taşınan tuzlara maruz, fakat deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen	Sahilde veya sahile yakın yerde bulunan yapılar
XS 2	Sürekli olarak su içerisinde	Deniz yapılarının bölümleri
XS 3	Gelgit, dalga ve serpinti bölgeleri	Deniz yapılarının bölümleri
5 Buz çözücü maddenin de bulunduğu veya bulunmadığı donma/çözülme etkisi		
XF1	Buz çözücü madde içermeyen suyla orta derecede doygun	Yağmura ve donmaya maruz düşey beton yüzeyler
XF 2	Buz çözücü madde içeren suyla orta derecede doygun	Donma ve hava ile taşınan buz çözücü madde etkisine maruz yol yapılarının düşey beton yüzeyleri
XF 3	Buz çözücü madde içermeyen suyla yüksek derecede doygun	Yağmur ve donmaya maruz yatay beton yüzeyler
XF 4	Buz çözücü madde içeren su veya deniz suyu ile yüksek derecede doygun	Buz çözücü maddelere maruz yol ve köprü kaplamaları. Buz çözücü tuz ihtiva eden su serpintisine doğrudan ve donma etkisine maruz beton yüzeyler. Deniz yapılarının dalga etkisi altındaki donmaya maruz bölgeleri

ABD'de yaygın olarak kullanılan Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-25) standardında ise çevresel etki sınıflandırması, Malzemeler ve Dayanıklılık bölümünde ele alınmakta ve Tablo 4'te gösterilmektedir. Bu standart, betonun yeterli dayanıklılığı sağlaması amacıyla dört ana etki kategorisi tanımlamaktadır. Donma-Çözülme (F) Kategorisi, buz çözücü kimyasalların varlığına veya yokluğuna bağlı olarak, neme ve donma-çözülme döngülerine maruz kalan betonları kapsamaktadır. Sülfat (S) Kategorisi, zararlı miktarda suda çözünür sülfat iyonu içeren zemin veya su ile temas halindeki betonlar için geçerlidir. Suyla Temas (W) Kategorisi, su ile doğrudan veya dolaylı temas eden betonları tanımlarken; Korozyon Koruması (C) Kategorisi, donatı korozyonuna karşı ek koruma gerektiren koşullara maruz kalan, öngerilmeli veya öngerilmesiz betonları kapsamaktadır.

Tablo 4. ACI 318 etki kategorileri ve sınıfları

Kategori	Sınıf	Şart/Durum	
Donma ve Çözülme (F)	F0	**Donma-çözülme döngülerine maruz kalmayan beton**	
	F1	1. Suya sınırlı etkiyle donma-çözülme döngülerine maruz kalan beton 2. Orta düzeyde donma-çözülme etkisine maruz beton 3. Betonun donma-çözülme çevrimlerine maruz kaldığı, ancak neme yalnızca ara sıra maruz kaldığı ve sık doygun olmadığı durumlar	
	F2	1. Sık sık suya maruz kalan donma-çözülme döngülerine maruz kalan beton 2.Şiddetli donma-çözülme etkisine maruz beton 3. Betonun donma-çözülme çevrimlerine ve suya sık maruz kaldığı durumlar	
	F3	1.Çok şiddetli donma-çözülme etkisine maruz beton 2. Betonun donma-çözülme çevrimlerine sürekli doygun bir durumda maruz kaldığı ve çoğu zaman buz çözücü kimyasalların da etkili olduğu durumlar 2. Sık sık suya ve buz çözücü kimyasallara maruz kalarak donma-çözülme döngülerine maruz kalan beton	
Sülfat (S)		**Zemindeki suda çözünür sülfat (SO_4^{2-}) kütlece yüzde**	**Suda çözünmüş sülfat (SO_4^{2-}), ppm**
	S0	$SO_4^{2-} < 0,10$	$SO_4^{2-} < 150$
	S1	$0,10 \leq SO_4^{2-} < 0,20$	$150 \leq SO_4^{2-} < 1500$ (ya da deniz suyu)
	S2	$0,20 \leq SO_4^{2-} \leq 2$	$1500 \leq SO_4^{2-} \leq 10,000$
	S3	$SO_4^{2-} > 2$	$SO_4^{2-} > 10,000$
Suyla temas halinde (W)	W0	Suyla temas etmeyen beton	
	W1	Düşük geçirgenliğin gerekli olmadığı, suyla temas eden beton	
	W2	Düşük geçirgenliğin gerekli olduğu suyla temas eden beton	
Donatıların korozyon koruması (C)	C0	Beton kuru veya nemden korunmuştur	
	C1	Nemli ancak harici bir klorür kaynağına maruz kalmayan beton	
	C2	Nem ve buz çözücü kimyasallardan, tuzdan, deniz suyundan veya bu kaynaklardan gelen spreylerden kaynaklanan harici klorür kaynaklarına maruz kalan beton	

ABD standardı incelendiğinde, betonun çeşitli çevresel etki sınıfları altındaki dayanıklılık performansına ilişkin gerekliliklerin ayrıntılı biçimde tanımlandığı ve bu maruziyet koşulları için gerekli minimum dayanım değerlerinin açıkça belirtildiği görülmektedir. TS EN 206 (2025) ve BS EN 206:2013+A2:2021 standartlarında, çevresel etki sınıflarının yanı sıra betonlar kıvam sınıflarına göre de tanımlanmaktadır. Buna karşılık, ACI 318 standardının Yapım bölümünde tasarım kriterleri, malzeme gereksinimleri ve üretim detayları gibi konular yer almasına rağmen, betonun tanımında kıvam sınıflandırmasına yer verilmemektedir.

TS EN 206 (2025) standardının revize edilmiş versiyonunda beton kıvamı: çökme (S1-S5), Vebe (V0-V4), sıkıştırılabilirlik (C0-C3) ve yayılma (F1-F6) sınıfları ile karakterize edilmektedir. Güncel TS EN 206 ve BS EN 206 standartlarında ise bu sınıflandırma güncellenmiş ve kendiliğinden yerleşen betonların özel niteliklerini tanımlayan ek sınıflar getirilmiştir. Buna göre, kıvam; çökme (S1-S5), sıkıştırma (C0-C4), yayılma (F1-F6) ve çökme-yayılma (SF1-SF3) sınıflarına ayrılmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonlar için ise viskozite (VF1, VF2), geçiş yeterliliği (L-kutu: PL1, PL2; J-halkası: PJ1, PJ2) ve ayrışma direnci (SR1, SR2) gibi ek performans sınıfları tanımlanmıştır.

3. DAYANIMA GÖRE BETONARME PROJEDE BETON SINIFI TANIMLAMASI

Günümüz betonarme projelerinde beton sınıfı, C30/37 örneğinde olduğu gibi, karakteristik basınç dayanımı değerleri ile ifade edilmektedir. Bu dayanım, beton üreticisi, yüklenici ve kalite kontrol birimleri tarafından esas alınan temel özelliktir. Betonun heterojen yapısı ve çok sayıda parametreden etkilenmesi nedeniyle, sabit ve kesin bir dayanım değeri üzerinden tanımlanması mümkün değildir. Bu nedenle, betonun potansiyel taşıma kapasitesini yansıtan istatistiksel bir dayanım tanımına ihtiyaç duyulmaktadır. Karakteristik basınç dayanımı, çok sayıda numunenin standart koşullarda (genellikle 28 gün su kürü sonrasında) tek eksenli basınç deneyine tabi tutulması, elde edilen verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi ve kabul edilebilir bir risk seviyesinin dikkate alınması yoluyla belirlenmektedir. Bu belirleme süreci TS 500 standardında aşağıdaki şekilde tanımlanmaktadır.

Karakteristik basınç dayanımının (f_{ck}) belirlenebilmesi için öncelikle ortalama (hedef) basınç dayanımının (f_{ce}) hesaplanması gerekmektedir. Ortalama basınç dayanımı, n sayıda i nolu numunenin basınç deneyine tabi tutulması sonucu bulunan numunelerin dayanımlarına (f_{ci}) bağlı olarak Denklem 1'de gösterilen bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$f_{ce} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} f_{ci} \tag{1}$$

Standart sapma; her bir numune dayanımına (f_{ci}) ve ortalama dayanıma (f_{ce}) bağlı olarak Denklem 2 ile belirlenmektedir:

$$\overline{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum(f_{ci}-f_{ce})^2}{n-1}} \tag{2}$$

Betonun karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}); ortalama dayanım ve standart sapma (s) kullanılarak Denklem 3'te gösterilen bağıntı ile belirlenmektedir. Burada u katsayısı, kabul edilen risk düzeyine bağlı olarak değişmekte olup %10 risk için 1,28, %5 risk için 1,48 olarak alınmaktadır:

$$f_{ck} = f_{ce}{}^{-u.s} \tag{3}$$

Özetle, bir projede belirtilen C30/37 beton sınıfı şu anlama gelmektedir: Standart koşullarda (150 mm çap, 300 mm yükseklikteki silindir numunelerin 28 gün su kürü sonrasında belirli bir yükleme hızıyla) merkezi basınç deneyine tabi tutulmasıyla elde edilen dayanım değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi sonucu, silindir karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}) 30 MPa olan beton. Aynı değerlendirme 150 mm kenar uzunluğundaki küp numuneler için yapıldığında ise, küp karakteristik basınç dayanımı (f_{ck}, küp) 37 MPa olarak bulunan beton tanımlanmaktadır.

Taze betondan alınacak numune sayısı, esas olarak TS EN 206 standardına göre belirlenmektedir. Numunenin nasıl alınacağı TS EN 12350-1, deneyin nasıl yapılacağı ise TS EN 12390-2 ve TS EN 12390-3 standartlarında açıklanmaktadır. Taze betondan alınan numuneler üzerinde gerçekleştirilen 28 günlük silindir karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,cyl}$) ve küp karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,\ cube}$) değerlerine bağlı olarak beton sınıfının uygunluğunun denetimi TS EN 206 da öngörülen Tablo 5'e göre yapılmaktadır. Tabloda geniş bir sınıflandırma yer almakla birlikte, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) normal betonarme binalar için en düşük beton sınıfını C25/30, ön üretimli (prefabrike) betonarme binalar için ise C30/37 olarak sınırlandırmakta, kullanılabilecek en yüksek beton sınıfını ise C80/95 olarak belirlemektedir.

Tablo 5. TS EN 206 da normal beton için basınç dayanımına göre sınıflandırma

Dayanım Sınıfı	Minimum karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,cyl}$, MPa	Minimum karakteristik küp dayanımı $f_{ck,cube}$, MPa
C8/10	8	10
C12/15	12	15
C16/20	16	20
C20/25	20	25
C25/30	25	30
C30/37	30	37
C35/45	35	45
C40/50	40	50
C45/55	45	55
C50/60	50	60
C55/67	55	67
C60/75	60	75
C70/85	70	85
C80/95	80	95

Tablo 5. *(Devamı)*

C90/105	90	105
C100/115	100	115

ACI 318-19 standardında ise betonun dayanım sınıfları, Türk ve İngiliz standartlarında olduğu gibi bir tablo ile sunulmamaktadır. Bu standartta beton için belirli bir dayanım sınıfı (f'_c) tanımlanmamakta, ancak f'_c değeri için çeşitli koşul ve sınırlamalar getirilmektedir. Söz konusu koşullar, standardın özellikle "Bölüm 19: Beton - Tasarım ve Dayanıklılık Gereksinimleri" ve "Bölüm 5" gibi bölümlerinde, ayrıca taşıyıcı elemanlar bazında kodun farklı kısımlarında belirtilmektedir.

Buna göre, f_c' değerinin aşağıdaki (a) ile (d) arasındaki dört koşulu sağlaması gerekmektedir:
(a) Belirtilen Basınç Dayanımı Sınırları: Tablo 6 'da verilen f'_c limitlerine uygun olmalıdır.
(b) Dayanıklılık Gereksinimleri: Standartta belirtilen ve çevresel etki sınıflarına bağlı olan dayanıklılık gereksinimlerini karşılamalıdır.
(c) Yapısal Dayanım Gereksinimleri: Yapısal hesap sonuçlarından kaynaklanan taşıma kapasitesi gereksinimlerini sağlamalıdır.
(d) Özel Durumlar için Sınırlamalar: Özel moment çerçeveleri, özel perde duvarlar ve bunların temellerinde kullanılan hafif betonun f'_c değeri, hafif beton elemanların normal beton elemanlarla eşdeğer veya daha üstün dayanım ve tokluk sağladığının deneysel olarak kanıtlanmaması durumunda 34,47 MPa değerini aşamaz.

Tablo 6. ACI 318-25 de belirtilen basınç dayanımları

Uygulama	Minimum f_c', MPa
Genel	17,23
SDC A, B veya C'ye atanan yapıların temelleri	17,23
Konut ve Kamu Hizmetleri kullanımı ve sınıflandırması için temeller, iki veya daha az katlı, duvarlı yapılar için SDC, D, E veya F olarak atanır	17,23
Konut ve Kamu Hizmetleri kullanımı ve sınıflandırması dışında, iki katlı veya daha az duvar yapısına sahip SDC D, E veya F'ye atanan yapıların temelleri	20,68
Özel moment çerçeveleri: 60. veya 80. sınıf donatıya sahip özel yapısal duvarlar	20,68
100. sınıf güçlendirmeye sahip özel yapısal duvarlar	34,47
Prefabrike- öngerilmesiz çakma kazıklar Delinmiş şaftlar	27,58
Prefabrike- öngerilmeli çakma kazıklar	34,47

Beton karışımı gereksinimleri, yapısal betonun hem gerekli dayanımı hem de belirtilen f'_c değerini sağlaması prensibine dayanmaktadır. Bu bağlamda, standardın f'_c için bir üst sınır belirtmediği, ancak uygulamada işlenebilirlik, dayanıklılık, ekonomi gibi diğer koşulların pratik bir üst limit oluşturduğu anlaşılmaktadır.

4. BETONARME HESAP VE KESİT TASARIMINDA BETON DEĞERLERİNİN KULLANILMASI

Bir önceki bölümde tanımlanan karakteristik dayanım, numunelerin idealize edilmiş laboratuvar koşullarında (standart kür uygulaması, sabit yükleme hızı) belirlenen bir değerdir. Oysa gerçek bir yapıda yer alan beton, bu ideal koşullara maruz kalmamaktadır. Bu temel farklılık nedeniyle, betonarme yapıların hesap ve tasarımında genel olarak laboratuvar koşullarındaki karakteristik dayanım (f_{ck}) değil, yapıdaki gerçek durumu ve belirsizlikleri dikkate alan tasarım dayanımı (f_{cd}) kullanılmaktadır. Tasarım dayanımı, yapı güvenliğini sağlamak amacıyla, karakteristik dayanımın belirli bir malzeme katsayısına (γ_{mc}) bölünmesiyle elde edilen dayanımdır (Denklem 4).

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_{mc}} \tag{4}$$

Malzeme katsayısı (γ_{mc}) yerinde dökme betonlar için 1,5 olarak alınmaktadır. Bu değer, tasarım dayanımının (f_{cd}), karakteristik dayanımın (f_{ck}) yaklaşık üçte ikisi düzeyinde olduğunu göstermektedir.

ACI 318 standardında ise Türk ve İngiliz standartlarında yer alan malzeme bazlı tasarım dayanımı kavramından farklı olarak, eleman bazında dayanım azaltma faktörü (Φ) kullanılmaktadır. Bu standartta beton için genel bir azaltılmış malzeme dayanımı (tasarım dayanımı) tanımlanmamaktadır. Bunun yerine, her bir taşıyıcı sistem elemanının nominal dayanımı hesaplandıktan sonra, bu değer bir Φ faktörü ile çarpılarak tasarım dayanımına indirgenmektedir. Φ ile gösterilen dayanım azaltma faktörlerinin değerleri ve uygulama esasları ilgili standartta ayrıntılı olarak belirtilmektedir. Söz konusu faktörlerin kullanım amaçları dört ana grupta toplanmaktadır: (i) malzeme dayanımları ve eleman boyutlarındaki olası değişkenlikleri hesaba katmak, (ii) tasarım denklemlerindeki belirsizlikleri dikkate almak, (iii) elemanın süneklik düzeyini ve maruz kalacağı yükler altındaki güvenilirlik düzeyini yansıtmak, (iv) elemanın yapı bütünlüğündeki göreceli önemini dikkate almak. Örneğin kayma ve burulma etkileri için bu katsayı 0,75 olarak öngörülürken; bileşik eğilmeye çalışan elemanlarda, eksenel kuvvetin çekme veya basınç olması durumuna göre değer değişmektedir. Çekme kontrollü kesitlerde 0,90, basınç kontrollü kesitlerde ise 0,65 olarak uygulanmaktadır.

5. TAZE BETONDAN NUMUNE ALINARAK ÜRETİM, YERLEŞTİRME VE UYGUNLUK DENETİMİ YAPILMASI

Bu bölümde, betonarme projede belirtilen beton sınıfının kontrolünün nasıl yapılması gerektiği ele alınmaktadır. Burada yapılan açıklamalar, deprem sonrası alınan karot numunelerinin sonuçlarının, taze betondan alınan numuneler gibi değerlendirilmesinin ne ölçüde yanlış olduğunu ortaya koymaktadır. Projedeki beton sınıfının kontrolüne olanak tanıyan numunelerin alınması, hazırlanması ve test edilmesi süreci, ilgili standartlar ve genelgelerle ayrıntılı biçimde tanımlanmıştır. Bu süreç; transmikserden alınacak numune sayısının belirlenmesi, taze betonun standart kalıplara yerleştirilmesi, kalıpların sabit sıcaklık ve nem koşullarında saklanması, kalıpların sökülmesi, numunelerin etiketlenerek kür havuzuna konulması, deneye hazırlanması ve nihayet belirlenen yükleme hızında basınç deneyine tabi tutulması aşamalarını kapsamaktadır.

Günümüzde, beton dökümü esnasında alınacak numune sayısı ile bu numunelerin deney zamanları, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın 13.04.2022 tarihli genelgesi uyarınca Tablo 7'de verilen esaslara göre belirlenmektedir.

Tablo 7. Beton dökülürken alınacak numune sayısı ve deney zamanları (ÇŞİDB 2022)

1. Kriter	2. Kriter	Numune Alınacak Transmikser Sayısı (Ad.)	7 Günlük (Ad.)	28 Günlük (Ad.)	Toplam Numune Sayısı (Ad.)
Dökülen Beton Miktarı (m^3)	Beton Dökülen Yerin Alanı (m^2)				
0-24	-	2	2	6	8
25-100	450	3	3	9	12
101-150	451-650	4	4	12	16
151-200	651-850	5	5	15	20
201-250	851-1050	6	6	18	24
251-300	1051-1250	7	7	21	28
301-400	1251-1450	8	8	24	32
401-500	1451-1650	9	9	27	36
501-600	1651-1850	10	10	30	40
>600	>1850	İlave her 200 m^3 veya 900 m^2 için 1 ilave edilir.	İlave her 200 m^3 veya 900 m^2 için 1 ilave edilir.	İlave her 200 m^3 veya 900 m^2 için 3 ilave edilir.	İlave her 200 m^3 veya 900 m^2 için 4 ilave edilir.

Transmikserden alınan taze beton numunelerinin standart kalıplara yerleştirilmesi sırasında belirli kurallara uyulmaktadır. Numuneler, silindir kalıplar için üç, küp kalıplar için ise iki tabaka

halinde yerleştirilmekte ve her tabaka uygun yöntemlerle sıkıştırılmaktadır. Kalıplara yerleştirilen numuneler, belirli sıcaklık ve nem koşullarında, titreşim ve darbeden uzak bir ortamda ilk priz sürecini tamamlayacak şekilde muhafaza edilmektedir. Kalıptan çıkarılan numuneler ise deney zamanına kadar standart kür koşullarında saklanmaktadır.

Deney öncesinde numunelerin yüzey durumu uygun hale getirilmekte ve belirlenen süre içerisinde tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmaktadır. Elde edilen deney sonuçlarına göre belirlenen karakteristik basınç dayanımının, projede öngörülen beton sınıfını sağlaması durumunda, ilgili betonun yapıda uygun şekilde uygulandığı kabul edilmektedir.

6. İNŞAAT HALİNDEKİ YAPIDAN KAROT ALINARAK UYGUNLUK DENETİMİ YAPILMASI

İnşaatı devam eden bir yapıda, taze betondan alınan numunelerin deney sonuçlarının proje değerleriyle uyumsuz olması durumunda beton dayanımına ilişkin şüpheler ortaya çıkabilmektedir. Benzer şekilde, kalıpların sökülmesinin ardından döşeme, kiriş, kolon veya perde gibi taşıyıcı elemanlarda çatlakların gözlemlenmesi de dökülen betonun kalitesi hakkında tereddütlere yol açmaktadır. Bu tür şüphe durumlarının giderilmesi ve olası bir sorunun ilerleyen inşaat aşamalarında daha büyük maddi kayıplara neden olmasının önlenmesi amacıyla, yapıdan karot numunesi alınarak mevcut betonun dayanımının tespit edilmesi yoluna gidilmektedir. Elde edilen karot deney sonuçlarına bağlı olarak, inşaata mevcut haliyle devam edilmesi, ilgili bölümlerin güçlendirilmesi veya söz konusu kısımların yeniden yapılması gibi teknik seçenekler değerlendirilmektedir. Yapıdaki sertleşmiş betondan karot alınması işlemi TS EN 12504-1 (2019) standardına, alınan bu karotlar üzerinden beton kalitesinin değerlendirilmesi ise TS EN 13791 ve bu standardın uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart olan TS 13685 (2023) standardına göre yapılmaktadır. TS EN 13791 (ve TS 13685) standardı, beton üreticisi, yapı denetim kuruluşu ve müteahhit gibi taraflar arasında ortaya çıkabilecek teknik ihtilaflara çözüm getirmek amacıyla kullanılmaktadır. Ancak bu standardın kapsamı, yıkılmış bir yapıdan alınan karot numunelerinin değerlendirilmesini içermemektedir. Standardın kendisinde de belirtildiği üzere, yerinde beton dayanım tayini için gerekli esaslar verilmekle birlikte, bu bilgilerin özel durumlara nasıl uygulanacağı mühendislik öngörüsüne bağlıdır. Bu nedenle, standardın önerdiği yöntemlerle elde edilen sonuçlar mutlak gerçekler olarak kabul edilmemeli, her zaman profesyonel bir mühendislik değerlendirmesi ile birlikte yorumlanmalıdır (Mazılıgüney ve Yaman, 2024). Karot alımı ve değerlendirmesi, uzmanlık gerektiren teknik bir işlemdir. Bunun başlıca nedeni, elde edilen karot dayanım değerinin; karotun boyutları, içerisinde donatı bulunup bulunmaması ve hangi taşıyıcı elemandan (kolon, perde, kiriş, döşeme) alındığı gibi faktörlerden doğrudan etkilenmesidir. Uygulamada, karot çapı ve boyutlarındaki farklılıkların sonuçlar üzerindeki etkisini düzeltmek amacıyla standart dönüştürme katsayıları kullanılmaktadır. Ancak karotun alındığı eleman türünün (kolon/perde veya kiriş/döşeme) sonuçlar üzerindeki belirleyici etkisi yeterince bilinmemektedir. Riskli bina tespiti ve deprem performans analizi çalışmalarında karotların kolon ve perdelerden alınması zorunluluğu, uygulamacıları bu yönteme alıştırmıştır. Oysa depremde yıkılmış bir binada, kiriş ve döşemelerden alınan karotların dayanımlarının kolonlardan alınanlara göre daha düşük olduğu bilimsel olarak gösterilmiştir (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005). Dolayısıyla, enkaz halindeki bir yapıda "uygun olan herhangi bir yerden" karot alınması düşüncesi teknik açıdan doğru değildir.

7. KENTSEL DÖNÜŞÜMDE RİSKLİ BİNA TESPİTİ İÇİN BETON DAYANIMININ BELİRLENMESİ

Kentsel dönüşüm kapsamındaki binalarda yapılan incelemeler, 6306 Sayılı Kanun'un Uygulama Yönetmeliği'nde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik (ÇŞİDB, 2017) hükümleri çerçevesinde yürütülmektedir. Riskli bina tespit çalışmalarında inceleme yalnızca bir katta gerçekleştirilmektedir. İncelenen katta mevcut beton dayanımının belirlenmesi amacıyla öncelikle tahribatsız yöntemler kullanılmaktadır. Buna göre, toplam kolon sayısının en az %20'si (ancak 12 adetten az olmamak kaydıyla) ve toplam perde sayısının en az %20'si (ancak 6 adetten az olmamak kaydıyla) beton test çekici ile kontrol edilmektedir. Kolon veya perde sayısının bu asgari adetlerden daha az olması durumunda ise mevcut tüm elemanlar üzerinde tahribatsız inceleme yapılmaktadır. Bu ön incelemeler sonucunda en düşük değerlerin elde edildiği kolon ve perdelerin yaklaşık yarısından karot numunesi alınmaktadır. Alınan karot numuneleri TS EN 12504-1 (2019) standardına uygun olarak deneye tabi tutulmaktadır. Elde edilen dayanım değerleri, numunenin boyutları, nem içeriği ve örselenme durumu dikkate alınarak standardın EK-B'sinde verilen katsayılarla düzeltilmektedir. Buradaki "örselenme durumu", sağlam bir yapıda karot alma işlemi sırasında numuneye verilen mekanik zararı ifade etmekte olup bu durumda dayanımda %6'lık bir azalma dikkate alınmaktadır. Deprem gibi yıkıcı bir etkiye maruz kalmış ve enkaz haline gelmiş betonlarda ise dayanım kaybının çok daha yüksek olacağı öngörülmektedir. Beton dayanımı zamanla gelişim sürecine sahiptir (Mardani-Aghabaglou vd., 2021). Sismik etki, beton özelliklerinde değişikliğe neden olabilecek önemli dış etkilerin arasında yer almaktadır (Wang vd., 2020; Alih vd., 2019; Kappos, 2014). Lu ve ark., (2022) tarafından yapılan bir çalışmada, betonun son sertleşme aşamasına ulaştığında akışkanlığını kaybettiği ve güçlü dış etkilerin betonun iç yapısına zarar vererek betonun gevşemesine neden olduğu bildirilmiştir. Bu durumun, erken yaştaki betonun henüz tasarım dayanımına ulaşmamış olması, iç yapısının kararsız olması ve dış etkilere karşı direncinin zayıf olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir. Riskli bina analizlerinde kullanılacak nihai mevcut beton dayanımı, düzeltme işlemleri sonrasında elde edilen tüm karot dayanımlarının ortalamasının %85'i olarak kabul edilmektedir. Bu prosedür ve değerlendirme kriterleri, yalnızca 6306 Sayılı Kanun kapsamındaki riskli bina tespit çalışmaları için geçerlidir ve deprem sonrası hasar tespiti veya adli bilirkişilik gibi farklı amaçlarla kullanılamaz.

8. MEVCUT YAPILARDA PERFORMANS ANALİZİ İÇİN BETON DAYANIMININ BELİRLENMESİ

Mevcut bir yapının deprem performansının belirlenmesi amacıyla yapılacak incelemelerin kapsamı, yapı için seçilen bilgi düzeyine göre değişmektedir. 2007 Deprem Yönetmeliği'nde (DBYBHY, 2007) Sınırlı, Orta ve Kapsamlı olmak üzere üç bilgi düzeyi tanımlanmışken, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY, 2018) bu sınıflandırma Sınırlı ve Kapsamlı olarak ikiye indirgenmiştir. TBDY (2018) hükümlerine göre, beton dayanımının tespiti için kolon veya perdelerden TS EN 12504-1 (2019) standardına uygun karot numuneleri alınarak deney yapılması öngörülmektedir. Uzunluğu ve nominal çapı eşit ve 100 mm olan karotlardan elde edilen dayanım değerleri, herhangi bir düzeltme katsayısı uygulanmaksızın mevcut beton dayanımı olarak kullanılabilmektedir. Farklı boyut oranlarına sahip karotlar için ise uygun dönüştürme katsayılarının esas alınması gerekmektedir. Ayrıca, bir grup deney sonucu içinde aykırı değerlerin tespiti amacıyla istatistiksel kontrol öngörülmekte; en düşük değerin diğer sonuçların ortalamasının %75'inden daha düşük olması halinde bu değerin değerlendirme dışı bırakılacağı belirtilmektedir. Sınırlı bilgi düzeyi için, her katta en az üç adet beton örneği alınarak deney yapılması şartı bulunmaktadır. Toplam örnek sayısı üç ise, istatistiksel değerlendirme yapılmaksızın en düşük basınç dayanımı mevcut beton dayanımı olarak alınmaktadır. Örnek

sayısı üçten fazla ise, örneklerden elde edilen (ortalama - standart sapma) değeri ile (0,85 × ortalama) değerinden büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak kabul edilmektedir.

Kapsamlı bilgi düzeyinde ise, zemin katta üç, diğer katlarda ikişer adetten ve toplamda dokuz adetten az olmamak üzere, her 400 m²'ye bir adet beton örneği alınarak deney yapılmaktadır. Eleman kapasitelerinin hesaplanmasında, yine (ortalama - standart sapma) değeri ile (0,85 × ortalama) değerinden büyük olanı mevcut beton dayanımı olarak dikkate alınmaktadır. Bu bölümde tanımlanan mevcut beton dayanımı, TBDY (2018)'e göre hasarsız bir binanın deprem performansını analiz etmek ve güçlendirme ihtiyacını belirlemek amacıyla kullanılan değeri ifade etmektedir. Buradan elde edilen dayanım değeri ile projedeki karakteristik beton dayanımının doğrudan karşılaştırılması teknik açıdan doğru bir uygulama değildir.

9. DEPREM GEÇİRMİŞ BİNALARDA BİLİRKİŞİLİK İNCELEMELERİ İÇİN BETON SINIFININ İRDELENMESİ

Bir yapı normal hizmet koşullarında zararlı kimyasal veya fiziksel etkilere (agresif sıvılar, donma-çözülme döngüleri, trafik titreşimi vb.) maruz kalmadığı sürece, betonun karakteristik basınç dayanımında önemli bir azalma beklenmemektedir. Ancak asidik ortam veya donma-çözülme gibi etkenlere uzun süre maruz kalınması durumunda betonda bozulmalar meydana gelebilmekte ve bu durum genellikle yüzeysel çatlaklar, kabarmalar veya aşınmalar şeklinde gözlemlenebilmektedir. Köprü ve viyadük gibi sürekli titreşim yükü altındaki yapılarda ise betonun tekrarlı yükler altındaki yorulma davranışının dikkate alınması gerekmektedir.

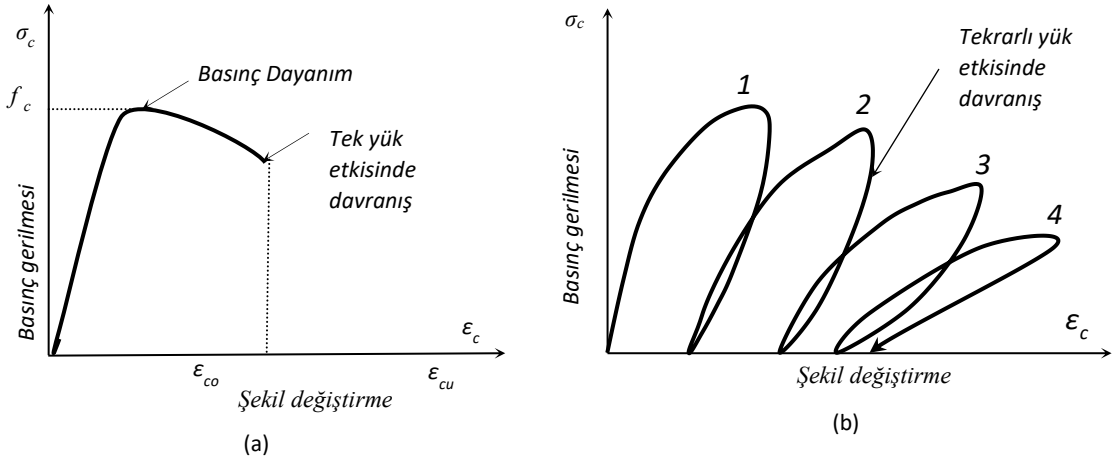
Deprem etkisi, bu tür sınırlı ve nispeten yavaş ilerleyen etkilerin çok ötesinde, dinamik, yüksek şiddetli ve çok sayıda tekrarlı yük döngüsünden oluşan özgün bir yükleme rejimi oluşturmaktadır. Bu nedenle depreme maruz kalmış bir yapıdaki betonun davranışı, standart yorulma etkileriyle kıyaslandığında çok daha karmaşık bir mekanizma ile belirlenmekte ve çok daha ağır sonuçlar doğurabilmektedir.

Depremin tekrarlı yük etkisi yalnızca ana şokun birkaç saniyesi ile sınırlı değildir. Ana depremin şiddeti ve süresi birincil etki kaynağı olmakla birlikte, ardından gelen artçı sarsıntılar da yapı davranışı üzerinde önemli birikimli etkiler oluşturabilmektedir. Özellikle 6 Şubat 2023 deprem dizisinde olduğu gibi, peş peşe iki büyük ana şok ve en büyüğü 6,7 olan on binlerce artçı deprem, yapıları uzun bir süre boyunca çok sayıda tekrarlı yük döngüsüne maruz bırakmıştır. Bu nedenle, bu depremlere maruz kalan binaları yalnızca kısa süreli bir tekrarlı yük etkisi almış gibi değerlendirmek gerçeği yansıtmamaktadır. Şiddetli ve çok sayıdaki tekrarlı yük döngülerine maruz kalan betonlarda dayanım ve elastisite modülünde bir düşüş beklenmektedir. Düşüşün büyüklüğü ise betonun başlangıç kalitesi, maruz kalınan deprem hareketinin karakteristikleri (şiddet, süre, frekans) ve yapının mevcut durumu gibi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişmektedir. Örneğin, yaklaşık 25 yıl ve üzeri bir süredir çevresel bozulmaya (korozyon, su sızıntısı vb.) maruz kalmış bir yapıdaki betonun deprem sonrası dayanım kaybı, yeni ve sağlam bir yapıdaki betonun dayanım kaybına kıyasla çok daha fazla olacaktır.

Taşıyıcı sistemin tasarım kalitesi de betonun maruz kalacağı yorulma hasarını doğrudan etkilemektedir. Projesinde öngörülen dayanımı karşılayan ve her iki ana doğrultuda da yeterli sayıda perde duvar ile tasarlanmış bir yapı, deprem sırasında daha küçük ötelenmeler yapacak ve beton daha düşük seviyelerde şekil değiştirmeye maruz kalacaktır. Bu durum, betondaki yorulma hasarını sınırlayarak yapının depremi önemli bir dayanım kaybı olmadan atlatmasını sağlayabilir. Buna karşılık, yalnızca zayıf kolonlardan oluşan ve perde duvar içermeyen bir sistem, depremde aşırı ötelenmelere uğrayacak ve betonda aşırı şekil değiştirmeler oluşarak çok daha şiddetli bir yorulma hasarı meydana gelecektir.

Betonun tek eksenli statik (monotonik) yük altındaki gerilme-şekil değiştirme (σ-ε) davranışı Şekil 1(a)'da, tekrarlı yük altındaki davranışı ise Şekil 1(b)'de şematik olarak gösterilmektedir. Tekrarlı yükleme altında, döngü sayısının artmasıyla birlikte iki temel değişim

gözlemlenmektedir. Birincisi, betonun tepe dayanım değerinde bir azalma meydana gelmektedir. Tekrarlı yükler altında ulaşılabilen bu azaltılmış dayanım, yorulma dayanımı olarak adlandırılmakta ve monotonik yüklemeden elde edilen dayanımdan daha düşük olmaktadır. Bu durum, deprem gibi tekrarlı yük etkisi altında betonarme elemanların taşıma kapasitelerinde bir düşüş olacağının teorik göstergesidir. İkincisi, yükleme eğrisinin başlangıç eğiminde, yani betonun elastisite modülünde bir düşüş gerçekleşmektedir. Tekrar sayısı arttıkça eğrinin giderek daha yatık bir hal alması, betonun rijitliğinde kayıp olduğuna işaret etmektedir. Elastisite modülündeki bu azalma, elemanların aynı yük altında daha fazla şekil değiştirme yapmasına ve dolayısıyla betonarme kesitlerde hasar birikiminin artmasına yol açmaktadır.



Şekil 1:
(a) Tek (monotonik) ve (b) tekrarlı yüklemeli betonun gerilme-şekil değiştirme diyagramları (Doğangün 2021)

Adalet Bakanlığı Hukuk İşleri Genel Müdürlüğü Bilirkişilik Daire Başkanlığı, 2023 depremlerinin hemen ardından "Deprem Nedeniyle Yıkılan veya Ağır Hasar Gören Binalarla İlgili Delil Toplama veya Delil Tespiti Hakkında Bilirkişilik Kılavuzu" (Adalet Bakanlığı, 2023) başlıklı bir kılavuz yayımlamıştır. Söz konusu kılavuzda betonarme yapılardan numune alımına ilişkin teknik şartlar ve açıklamalar yer almaktadır. İlgili maddelerde öngörülen esaslar aşağıdaki gibi özetlenebilir: Düşey taşıyıcı elemanlardan (kolon, perde) toplamda en az üç adet numune alınmalıdır. Karotun nominal çapı en az 10 cm olmalıdır. Her bir karot numunesinin fotoğrafı çekilmeli ve numunenin alındığı yer kayıt altına alınmalıdır. Alınan karot örnekleri koruyucu (airbag) torbalara konulmalı, uygun şekilde paketlenmeli, saklanmalı ve taşınmalıdır. Numune yüksekliğinin çapına oranı en az 2 olmalıdır. Numunedeki maksimum agrega tane boyutu fotoğraf ile belgelenmelidir. Numuneler donatı çubuğu içermemelidir. Kılavuzda beton ve donatı kalitesinin önemine vurgu yapılmakta ve betondan karot örnekleri alınarak test edilmesi gerektiği belirtilmektedir. Beton karışımında büyük agrega kullanılma ihtimali dikkate alınarak 10 cm çapında karot alınması önerilmekte ve karot alımı veya dayanım tespiti sırasında agreganın maksimum tane boyutunun fotoğraflanarak kaydedilmesi istenmektedir. Çok sayıda yıkık bina olması ve acil koşullar nedeniyle imkânlar dahilinde en az üç karot numunesi alınması önerilmekte, bu numunelerin örselenmemiş ve bütünlüğünü korumuş taşıyıcı elemanlardan alınması gerektiği vurgulanmaktadır. İdeal olarak, örselenmemiş üç farklı düşey taşıyıcının orta yüksekliklerinden ve mümkünse karot çapının iki katı yükseklikte (örneğin 20 cm) numune alınması öngörülmektedir. Karot alma işlemi sırasında donatı kesilmemeli ve numune içinde donatı bulunmamalıdır. Alınan numunelerin özenle korunması gerektiği belirtilerek, her bir karotun koruyucu (airbag) naylonlarla sarılması, paketlenmesi, saklanması ve taşınması istenmektedir. Kırma işleminin Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı sertifikalı laboratuvarlarda yapılması tavsiye edilmekle birlikte, bu laboratuvarlarda küp numune kırmak

için kullanılan yüksek kapasiteli (100-200 ton) preslerin karot testi için uygun olmadığına da dikkat çekilmektedir. Bunun yerine, karot kırmak üzere özel üretilmiş, düşük kapasiteli (maksimum 50 ton) preslerin kullanılması ve yüklemenin standartlarda belirtilen hızda, ani şok etkisi oluşturmadan gerçekleştirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır. Aynı kılavuzda karot alınacak taşıyıcı elemanlar için "Taşıyıcı elemanlar örselenmemiş olmalıdır" şartı da belirtilmektedir. Ancak, bu ifadenin pratikte karşılık bulması oldukça zordur. Deprem sonrasında, teknik anlamda hasarsız kabul edilen binalar dışında, ağır hasarlı veya yıkılmış yapılardaki taşıyıcı elemanların büyük çoğunluğu, aşırı ötelenmeler ve yıkım sırasındaki çarpma etkileri nedeniyle zaten belirli düzeylerde hasar görmüş durumdadır. Kılavuzun içeriği incelendiğinde, yalnızca numune alımına ve deneye tabi tutulmasına yönelik prosedürlerin tanımlandığı, ancak elde edilen bu karotların deprem sonrası koşullarda nasıl değerlendirileceğine, hangi düzeltme veya yorumlama yöntemlerinin uygulanacağına dair herhangi bir teknik açıklama veya kriter bulunmadığı görülmektedir. Örneğin, "örselenmemiş" olma durumu için nesnel ve ölçülebilir bir kriter (mikro çatlak yoğunluğu, ultrasonik hız kaybı vb.) tanımlanmamıştır. Bu durumda değerlendirme tamamen gözleme dayalı ve belirsizlik içermektedir.

9.1. Uluslararası Kılavuzlarda Deprem Sonrası Beton Dayanımı Değerlendirmesi

Deprem sonrası hasar görmüş yapıların değerlendirilmesine yönelik uluslararası literatür ve standartlar incelendiğinde, yaklaşımların genellikle hasarın derecesini belirlemeye ve yapının onarılabilirliğine odaklandığı görülmektedir.

ABD'de FEMA 306 (1999), FEMA 307 (1999) ve FEMA 308 (1999) dokümanları, depremde hasar görmüş betonarme perdeli ve yığma yapıların değerlendirilmesi için performansa dayalı bir yöntem sunmaktadır. Bu dokümanların kapsamı ve uygulama esasları Maffei vd. (2000) tarafından ayrıntılı olarak ele alınmış olup, söz konusu çalışmada hasarın sismik performans kapasitesindeki kayıp cinsinden sayısallaştırılması ve onarıma yönelik teknik kaynak sağlanması amaçlanmaktadır. Bu üçlü setin güncellenmiş hali olan FEMA P-2335 (2024) ise performans açısından kritik hasarın tanımlanması, kozmetik onarım ile yapısal onarım ayrımının yapılması ve onarım sonrası performansın değerlendirilmesi için daha hassas ölçütler içermektedir. ACI 369.1-17 (2017) standardı mevcut betonarme binaların sismik değerlendirmesi ve güçlendirmesi için temel gereklilikleri tanımlarken, depremde hasar görmüş beton bileşenlerin onarımı konusunda doğrudan FEMA 306 (1999), FEMA 307 (1999) ve FEMA 308 (1999)'e atıf yapmaktadır. Avrupa'da ise EN 1998-3 (2025), mevcut yapıların sismik performans değerlendirmesi ve güçlendirilmesine yönelik hükümleri içermektedir. Standardın kapsamı hasar görmemiş yapıların güçlendirilmesinin yanı sıra depremde hasar görmüş yapıların onarımını ve gerektiğinde güçlendirilmesini de kapsamaktadır. EN 1998-3 (2025), malzeme dayanımlarının belirlenmesinde bilgi düzeyine bağlı güven faktörlerinin kullanılmasını öngörmektedir. Bütün bu dokümanların ortak özelliği, ayakta olan ve taşıyıcı sistem bütünlüğünü koruyan yapılar için geliştirilmiş olmalarıdır. Ne FEMA yayınlarında ne ACI 369.1 (2017)'de ne de EN 1998-3 (2025)'te, tamamen göçmüş veya taşıyıcı sistem bütünlüğü ortadan kalkmış bir yapının enkazından alınan beton numunesinin, proje aşamasındaki karakteristik dayanım ile nasıl karşılaştırılacağına dair bir metodoloji yer almamaktadır. FEMA 308 (1999) gibi dokümanlar malzeme örneklemesi önerse de bu örnekleme yapısal bütünlüğün korunduğu durumlarda dayanım düşüşünü teyit amacına yöneliktir. Bu durum, deprem enkazından alınan karotların değerlendirilmesinde uluslararası düzeyde de bir yöntem boşluğu bulunduğunu göstermektedir. Bu çalışmada ele alınan ACI 318-25 (2025) ve TS EN 206 (2025) gibi imalat ve tasarım standartları ise doğaları gereği bu özel durumu kapsamamaktadır.

9.2. Deprem Sonrası Karot Dayanımlarının Yorumlanmasına Yönelik Mevcut Yaklaşımlar ve Öneriler

Deprem sonrası hasarlı veya yıkılmış yapılardan alınan karot numunelerinin değerlendirilmesine yönelik standart bir yöntem bulunmamaktadır. Bununla birlikte literatürdeki sınırlı sayıda çalışma, bazı temel ilkeler ortaya koymaktadır.

Arıoğlu ve Arıoğlu (2005), karot dayanımlarının değerlendirilmesinde numunenin alındığı eleman türünün belirleyici olduğunu göstermiştir. Aynı yapıda kolon ve perdelerden alınan karotlar ile kiriş ve döşemelerden alınan karotların dayanımları arasında, betonun yerleştirilme koşulları ve segregasyon nedeniyle anlamlı farklar oluşmaktadır. Bu sebeple enkazdan karot alırken numunenin hangi taşıyıcı elemana ait olduğu mutlaka kaydedilmelidir.

Depremin beton üzerindeki yorulma etkisi de göz ardı edilmemelidir. Karsan ve Jirsa (1969), betonun tekrarlı yükler altındaki davranışını inceleyen öncü çalışmalarında, çevrim sayısı ve gerilme düzeyine bağlı olarak basınç dayanımında ve elastisite modülünde ciddi düşüşler meydana geldiğini ortaya koymuştur. Deprem sırasında taşıyıcı elemanlar çok sayıda ve değişken genlikli çevrimsel yüke maruz kalmakta, bu da betonun iç yapısında mikro çatlaklara ve dayanım kaybına yol açmaktadır. Dolayısıyla deprem enkazından alınan bir karotun ölçülen dayanımı, betonun deprem öncesi dayanımını değil, deprem sonrası kalan dayanımını yansıtmaktadır. Aradaki fark, binanın maruz kaldığı depremin şiddetine, süresine ve yapının taşıyıcı sistem özelliklerine göre değişmektedir. Yukarıdaki bilgiler ışığında, deprem sonrası karot dayanımlarının yorumlanmasında şu hususların göz önünde bulundurulması gerekir:

1. **Numunenin alındığı eleman türü:** Kolon, perde, kiriş veya döşeme ayrımı yapılmalı, değerlendirme öncelikle düşey taşıyıcılardan alınan numuneler üzerinden yürütülmelidir.
2. **Numunenin hasar durumu:** Karot alınan elemanın depremde ne düzeyde hasar gördüğü, gözle muayene bulgularıyla belgelenmelidir. Ağır hasarlı bir elemandan alınan karotun dayanımı, hasarsız bir elemandan alınana kıyasla daha düşük çıkacaktır.
3. **Yapının yükleme geçmişi:** Ana şok ve artçı depremlerin sayısı, şiddeti ve süresi, betondaki yorulma hasarının boyutunu belirlemektedir. 6 Şubat 2023 depremlerinde olduğu gibi çok sayıda artçı sarsıntıya maruz kalan yapılarda bu etki daha da belirgin olmaktadır.
4. **Karot boyutu ve biçim oranı:** TS EN 12504-1 (2019)'de belirtilen düzeltme katsayıları uygulanmalı, ancak, bu katsayıların deprem hasarı görmüş betonlar için geçerliliği ayrıca tartışılmalıdır.
5. **İstatistiksel değerlendirme:** Yeterli sayıda numune alınabilmişse TBDY (2018)'de öngörülen yöntemler kullanılabilir. Ancak, yıkılmış yapılarda yeterli sayıda sağlam karot almak çoğu zaman mümkün değildir. Bu durumda sınırlı sayıdaki numunenin mühendislik öngörüsüyle yorumlanması kaçınılmaz olmaktadır.

Görüldüğü gibi, deprem enkazından alınan bir karotun dayanım değerini projedeki karakteristik dayanımla, kentsel dönüşüm kapsamında belirlenen dayanımla ya da deprem performans analizinde kullanılan dayanımla doğrudan karşılaştırmak teknik açıdan hatalıdır. Deprem sonrası karot sonuçları, ancak yukarıda sıralanan faktörlerin tamamı hesaba katılarak yorumlanabilir.

10. SONUÇ

Bu çalışmada, betonun Türkiye, Avrupa ve ABD standartlarındaki tanımları, sekiz farklı teknik ve hukuki bağlamda karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

- Elde edilen bulgular, betona ilişkin tanım ve değerlendirme kriterlerinin, kullanım amacına ve bağlama göre önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, özellikle yapısal değerlendirme ve hukuki süreçlerde ciddi teknik hatalara ve yanlış anlaşılmalara yol açabilmektedir.
- Projenin hazırlandığı tarih, betonun tanımlanma biçimini doğrudan etkilemektedir. 1984 yılı öncesinde TS 500 standardında emniyet gerilmelerine dayalı (B160, B225, B300) bir sınıflandırma kullanılırken, günümüzde karakteristik basınç dayanımını (C30/37 gibi) esas alan sınıflandırma kullanılmaktadır. Bu nedenle, 1984 yılına kadar yapılan projelerdeki betonlar ile güncel standartlardaki betonlar doğrudan karşılaştırılamaz. 1984 öncesinde beton için dikkate alınan emniyet gerilmesi, yapı elemanının türüne, zorlanma biçimine (kesit etkisi), döşeme tipine ve kalınlığına göre değişmektedir. Elemanlara ilişkin betonarme hesaplar da taşıma gücü yöntemiyle değil, emniyet gerilmeleri yöntemiyle yapılmaktaydı. Emniyet gerilmelerinde kullanılan emniyet katsayıları ile günümüzdeki malzeme katsayıları birbirinden farklıdır. Bu bağlamda sık yapılan hatalardan biri, 1975 Deprem Yönetmeliği'ne (ABYYHY, 1975) göre tasarlanmış ve depremde hasar görmüş veya yıkılmış binaların, yanlış beton sınıfı değerleri kullanılarak güncel yazılımlarla modellenmesi ve bu modele dayalı olarak binanın yeterli performansa sahip olmadığı yönünde karar verilmesidir. Bu yaklaşım teknik açıdan doğru değildir. Emniyet gerilmeleri yöntemi, beton ve çeliğin doğrusal elastik davrandığı varsayımına dayanan bir kesit hesabıdır ve betonarme elemanlar, hesaplanan gerilmelerin betonda basınç, çelikte çekme emniyet gerilmelerini aşmamasına göre boyutlandırılır. Taşıma gücü yönteminde ise kesitin taşıma kapasitesi, beton ve çeliğin gerçek davranışları dikkate alınarak belirlenmektedir.
- Projede belirtilen beton sınıfının kontrolü, taze betondan alınan ve standart koşullarda test edilen numuneler üzerinden istatistiksel yöntemlerle yapılmaktadır. İnşaat sırasında veya hemen sonrasında ortaya çıkan şüphelerde ise yapıdan karot numunesi alınarak betonun mevcut durumu tespit edilmekte ve bu sonuçlar ilgili standartlar (TS EN 13791) çerçevesinde değerlendirilmektedir. Ancak bu standart, hasarsız veya kendi ağırlığı altında sınırlı hasarlı yapılar için geçerlidir.
- Çalışmanın en kritik bulgusu, deprem gibi yıkıcı bir olay sonrasında hasar görmüş veya yıkılmış binalardan alınan beton karotlarının değerlendirilmesine yönelik kapsamlı bir teknik standart veya yönetmeliğin bulunmamasıdır. Mevcut tek resmi belge olan Adalet Bakanlığı Bilirkişilik Kılavuzu, yalnızca numune alımı ve deneye tabi tutulmasına ilişkin prosedürlere odaklanmakta, ancak bir değerlendirme yöntemi önermemektedir. Depremin betonda neden olduğu yorulma, hasar birikimi ve dayanım kaybı gibi olguları dikkate alan bir değerlendirme metodolojisinin kullanılması gerekmektedir. Bu nedenle, deprem enkazından alınan bir karotun dayanım değerinin, projedeki karakteristik dayanım, kentsel dönüşüm kapsamında belirlenen dayanım veya deprem performans analizinde kullanılan dayanım değerleri ile doğrudan karşılaştırılması bilimsel ve teknik açıdan geçerli değildir.
- Bu belirsizlik, deprem sonrası açılan binlerce hukuki davada adil ve teknik temelli kararlar verilmesini zorlaştırmaktadır. Deprem sonrası beton kalıntılarının "artık dayanımının" bilimsel yöntemlerle (yorulma teorisi, ileri hasar analizi, mikro yapısal incelemeler) nasıl tespit ve yorumlanacağını düzenleyen, disiplinler arası bir teknik kılavuz veya standarda acil ihtiyaç bulunmaktadır. Bu süreçte, konusunda uzman mühendislerin ileri inceleme ekipmanları ile yapacakları detaylı analizler, daha gerçekçi değerlendirmelere olanak sağlayacaktır. EK Tablo 1'de sadece öz olarak karşılaştırma yapabilmek için betonun dikkate alınmasıyla ilgili karşılaştırma yapılmaktadır. Bunların ayrıntılı tanım ve bağıntıları ilgili standart ve yönetmeliklerde verilmektedir.

Bu çalışmada ele alınan standartlar ve değerlendirme yöntemleri ağırlıklı olarak geleneksel betonarme yapılar için geliştirilmiştir. Oysa inşaat sektöründe 3B baskılı betonlar, ultra yüksek dayanımlı betonlar ve kendini iyileştiren betonlar gibi yeni nesil malzemelerin kullanımı yaygınlaşmaktadır. Bu malzemelerin mekanik özellikleri, hasar mekanizmaları ve yaşlanma davranışları geleneksel betondan farklıdır. Örneğin 3B baskılı betonlarda katmanlar arası ara yüzeylerin varlığı, karot dayanımının numunenin alındığı doğrultuya bağlı olarak değişmesine yol açmaktadır. Ultra yüksek dayanımlı betonlarda standart karot makineleri yetersiz kalmakta, numune hazırlama süreci farklılık göstermektedir. ACI Komitesi 564'ün eklemeli imalatla ilgili yürüttüğü standartlaşma çalışmaları bu alandaki boşluğu doldurmaya yönelik önemli bir adımdır. Gelecekte bu betonların yaygınlaşmasıyla birlikte, deprem sonrası dayanım değerlendirmesi için yeni standartlara ve kılavuzlara ihtiyaç duyulacağı açıktır.
EK tabloda sadece öz olarak karşılaştırma yapabilmek için betonun dikkate alınmasıyla ilgili karşılaştırma yapılmaktadır. Bunların ayrıntılı tanım ve bağıntıları ilgili standart ve yönetmeliklerde verilmektedir.

ÇIKAR ÇATIŞMASI

Yazarlar, bilinen herhangi bir çıkar çatışması veya herhangi bir kurum/kuruluş ya da kişi ile ortak çıkar bulunmadığını onaylamaktadırlar.

YAZAR KATKISI

Hatice Gizem ŞAHİN: Çalışmanın Kavramsal ve Tasarım Süreçlerinin Belirlenmesi, Çalışmanın Kavramsal ve Tasarım Süreçlerinin Yönetimi, Veri Toplama, Veri Analizi ve Yorumlama, Makale Taslağının Oluşturulması, Fikirsel İçeriğin Eleştirel İncelemesi, Prof. Dr. Ali MARDANİ: Çalışmanın Kavramsal ve Tasarım Süreçlerinin Belirlenmesi, Çalışmanın Kavramsal ve Tasarım Süreçlerinin Yönetimi, Veri Toplama, Veri Analizi ve Yorumlama, Makale Taslağının Oluşturulması, Fikirsel İçeriğin Eleştirel İncelemesi, Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN: Çalışmanın Kavramsal ve Tasarım Süreçlerinin Belirlenmesi, Çalışmanın Kavramsal ve Tasarım Süreçlerinin Yönetimi, Veri Toplama, Veri Analizi ve Yorumlama, Makale Taslağının Oluşturulması, Fikirsel İçeriğin Eleştirel İncelemesi.

KAYNAKLAR

1. ABYYHY, (1975). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü, Ankara.
2. ACI 369.1-17, (2017). Standard Requirements for Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Concrete Buildings and Commentary, American Concrete Institute, Farmington Hills.
3. ACI CODE 318-25, (2025). Building Code for Structural Concrete -- Code Requirements and Commentary, American Concrete Institute.
4. Adalet Bakanlığı, (2023). Deprem Nedeniyle Yıkılan veya Ağır Hasar Gören Binalarla İlgili Delil Toplama veya Delil Tespiti Hakkında Bilirkişilik Kılavuzu. Erişim Adresi: https://bilirkisilik.adalet.gov.tr/Home/SayfaDetay/kilavuzu14022023080803 (Erişim Tarihi: 11.03.2024)
5. Ahmed, M., Mallick, J. and Hasan, M. A. (2016) A study of factors affecting the flexural tensile strength of concrete, *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 28(2), 147-156. doi:10.1016/j.jksues.2014.04.001
6. Aksoy, C. G., Chupilkin, M., Koczan, Z. and Plekhanov, A. (2025) Unearthing the impact of earthquakes: A review of economic and social consequences, *Journal of Policy Analysis and Management*, 44(4), 1450-1471. doi:10.1002/pam.22642

7. Alih, S. C. and Vafaei, M. (2019) Performance of reinforced concrete buildings and wooden structures during the 2015 Mw 6.0 Sabah earthquake in Malaysia, *Engineering Failure Analysis*, 102, 351-368. doi:10.1016/j.engfailanal.2019.04.056

8. Arıoğlu, E. ve Arıoğlu, N. (2005) *Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi*, Evrim Yayınevi, İstanbul.

9. Ashwini, R. M., Potharaju, M., Srinivas, V., Kanaka Durga, S., Rathnamala, G. V. and Paudel, A. (2023) Compressive and flexural strength of concrete with different nanomaterials: a critical review, *Journal of Nanomaterials*, 2023(1), 1004597. doi:10.1155/2023/1004597

10. Boyd, P. F., Cofer, W. F. and Mclean, D. I. (1995) Seismic performance of steel-encased concrete columns under flexural loading, *Structural Journal*, 92(3), 355-364. doi:10.14359/1136

11. BS EN 206:2013+A2, (2021). Concrete. Specification, performance, production and conformity, British Standards Institution.

12. Çatal, H. H. (2019) Deprem nedeniyle binalarda oluşan hasarlar, *SETSCI-Conference Proceedings*, 4, 310-315.

13. ÇŞİDB, (2017). Riskli Yapıların Tespit Edilmesine İlişkin Esaslar, Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, Alt Yapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara.

14. ÇŞİDB, (2022). Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının 13.04.2022 tarihli 2022/7 Genelgesi, Ankara.

15. DBYBHY, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.

16. Doğangün, A. (2021) *Betonarme yapıların hesap ve tasarımı*, Birsen Yayınevi, İstanbul.

17. EN 1998-3, (2025). Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance - Part 3: Assessment and Retrofitting of Buildings and Bridges, European Committee for Standardization, Brussels.

18. Fang, L., Zhang, B., Jin, G. F., Li, K. W. and Wang, Z. L. (2015) Seismic behavior of concrete-encased steel cross-shaped columns, *Journal of Constructional Steel Research*, 109, 24-33. doi:10.1016/j.jcsr.2015.03.001

19. FEMA 306, (1999). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings - Basic Procedures Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

20. FEMA 307, (1999). Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings - Technical Resources, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

21. FEMA 308, (1999). Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

22. FEMA P-2335, (2024). Guidelines for Post-Earthquake Repair and Retrofit of Buildings Based on Assessment of Performance-Critical Damage, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C.

23. Garzón-Roca, J., Ruiz-Pinilla, J., Adam, J. M. and Calderón, P. A. (2011) An experimental study on steel-caged RC columns subjected to axial force and bending moment, *Engineering Structures*, 33(2), 580-590. doi:10.1016/j.engstruct.2010.11.016

24. Giménez, E., Adam, J. M., Ivorra, S. and Calderón, P. A. (2009) Influence of strips configuration on the behaviour of axially loaded RC columns strengthened by steel angles and strips, *Materials & Design*, 30(10), 4103-4111. doi:10.1016/j.matdes.2009.05.010

25. Kalipcilar, I., Mardani-Aghabaglou, A., Sezer, A., Altun, S. and Inan Sezer, G. (2018) Sustainability of cement-stabilised clay: sulfate resistance, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Engineering Sustainability*, 171(5), 254-274. doi:10.1680/jensu.16.00005

26. Kappos, A. (2014) *Earthquake resistant concrete structures*, CRC Press.

27. Kaya, Y., Biricik, Ö., Bayqra, S. H. and Mardani, A. (2023) Effect of fibre type and utilisation rate on dimensional stability and frost resistance of pavement mortar mixture, *International Journal of Pavement Engineering*, 24(1), 2154351. doi:10.1080/10298436.2022.2154351

28. Lu, Y., Ma, X., Bao, C., Noor, N. M., Lian, H. and Lim, K. S. (2022) Influence of earthquake disturbance on concrete strength at early age, *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 128, 103280. doi:10.1016/j.pce.2022.103280

29. Maffei, J., Comartin, C. D., Kehoe, B., Kingsley, G. R. and Lizundia, B. (2000) Evaluation of earthquake-damaged concrete and masonry wall buildings, *Earthquake Spectra*, 16(1), 263-283. doi:10.1193/1.1586111

30. Mardani-Aghabaglou, A., Kankal, M., Nacar, S., Felekoğlu, B. and Ramyar, K. (2021) Assessment of cement characteristics affecting rheological properties of cement pastes, *Neural Computing and Applications*, 33(19), 12805-12826. doi:10.1007/s00521-021-05925-8

31. Mardani, A., Şahin, H. G. ve Kaya, Y. (2024) Effect of the Kahramanmaraş earthquake on standing water tanks in the Adana region and buildings in Hatay-Antakya, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 55, 101744. doi:10.1016/j.jestch.2024.101744

32. Mazılıgüney, L. ve Yaman, İ. Ö. (2024) Depremde Yıkılmış Betonarme Bir Binadan Beton Karot Numunesi Alınır Mı?, *İMO*.

33. Nagaprasad, P., Sahoo, D. R. and Rai, D. C. (2009) Seismic strengthening of RC columns using external steel cage, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 38(14), 1563-1586. doi:10.1002/eqe.917

34. Qaiser, S., Hameed, A., Alyousef, R., Aslam, F. and Alabduljabbar, H. (2020) Flexural strength improvement in bamboo reinforced concrete beams subjected to pure bending, *Journal of Building Engineering*, 31, 101289. doi:10.1016/j.jobe.2020.101289

35. Şahin, H. G. ve Mardani-Aghabaglou, A. (2022) Assessment of materials, design parameters and some properties of 3D printing concrete mixtures; a state-of-the-art review, *Construction and Building Materials*, 316, 125865. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.125865

36. Şahin, H. G. ve Mardani, A. (2023) Mechanical properties, durability performance and interlayer adhesion of 3DPC mixtures: a state-of-the-art review, *Structural Concrete*, 24(4), 5481-5505. doi:10.1002/suco.202200473

37. Şahin, H. G., Abdirahman, M. M., Mardani, A. ve Doğangün, A. (2025) Depremin taze ve sertleşmiş beton üzerindeki etkileri, *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 30(1), 1-16. doi:10.17482/uumfd.1575122

38. TBDY, (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.

39. TS 13685, (2023). Basınç dayanımının yapılar ve ön-dökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini – TS EN 13791'in uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

40. TS 500, (1971). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

41. TS 500, (1984). Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

42. TS 500, (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

43. TS EN 12504-1-1, (2019). Beton - Yapıda beton deneyleri - Bölüm 1: Karot numuneler - Karot alma, muayene ve basınç dayanımının tayini, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

44. TS EN 13791, (2019). Beton basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

45. TS EN 206+A2/D1, (2025). Beton - Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

46. Wang, G., Wang, Y., Lu, W., Yan, P. and Chen, M. (2020) Earthquake direction effects on seismic performance of concrete gravity dams to mainshock–aftershock sequences, *Journal of Earthquake Engineering*, 24(7), 1134-1155. doi:10.1080/13632469.2018.1453423

47. Xu, C. X., Peng, S., Deng, J. and Wan, C. (2018) Study on seismic behavior of encased steel jacket-strengthened earthquake-damaged composite steel-concrete columns, *Journal of Building Engineering*, 17, 154-166. doi:10.1016/j.jobe.2018.02.010

48. Yazici, Ş., Ayekin, B., Mardani-Aghabaglou, A. and Güller, C. (2023) Assessment of mechanical properties of steel fiber reinforced mortar mixtures containing lightweight aggregates improved by bacteria, *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*, 12(2), 97-115. doi:10.1080/21650373.2021.2021560

49. Yu, J., Yao, Y., Wang, K., Zhou, J., Zhou, W., Zhang, C. and Gao, Y. (2024) Experimental investigation of effects of multi-fissures on brittleness of ordinary Portland cement concrete and rubberized concrete, *Engineering Fracture Mechanics*, 306, 110254. doi:10.1016/j.engfracmech.2024.110254

50. Zhang, S., Han, B., Xie, H., An, M. and Lyu, S. (2021) Brittleness of concrete under different curing conditions, *Materials*, 14(24), 7865. doi:10.3390/ma14247865

51. Zhou, R., Cheng, H., Li, M., Zhang, L. and Hong, R. (2020) Energy evolution analysis and brittleness evaluation of high-strength concrete considering the whole failure process, *Crystals*, 10(12), 1099. doi:10.3390/cryst10121099

EK Tablo 1. Farklı Değerlendirme Amaçlarına ve Beton Yaşına Göre Numune Alma ile Denetim Kriterlerinin Karşılaştırılması

Beton Durumu	**Kriter**	**Türkiye - Proje Uygunluğu**	**Türkiye - Riskli Bina (6306)**	**Türkiye - Performans (TBDY)**	**Türkiye - Adli Bilirkişi**	**ABD (ACI 318/562)**	**AB (EN 206/13791/1998-3)**
Taze Beton (0-28 gün)	Numune sayısı	8-40 adet (200 m³ veya 900 m² başına ilave)	-	-	-	Her 115 m³ için 1 set	İlk 50 m³ için 3 numune
	Denetim kriteri	TS EN 206 (f_{ck} + 1,48σ)	-	-	-	$f'_c \geq$ hedef değer	$f_{ck} \geq$ karakteristik değer
Erken Yaş Beton (28-90 gün)	Numune sayısı	En az 3 karot	-	-	-	En az 3 karot	En az 3 karot
	Denetim kriteri	TS EN 13791 Yaklaşım A veya B	-	-	-	%85 güven seviyesi	Yaklaşım A veya B
Sertleşmiş Mevcut Beton (>90 gün)	Numune sayısı	—	En az 6 karot	En az 9 karot	En az 3 karot (öneri)	En az 3-6 karot	Bilgi düzeyine bağlı
	Denetim kriteri	—	0,85·f_{ce}	En büyük f_{ce} - s ve 0,85·f_{ce}	**Tanımlı değil**	%75 güven seviyesi	Güven Faktörü (CF) uygulanır

f_{ce}: Numunelerin ortalama basınç dayanımı; s: Standart sapma; σ: Standart sapma (TS 500 gösterimi). ABD'de hasarlı veya yıkılmış yapılardan alınan karotların değerlendirilmesine yönelik özel bir standart bulunmamakta olup FEMA 306/307 hasar değerlendirme kılavuzları dayanım karşılaştırması için doğrudan bir yöntem sunmamaktadır.