

BÖLÜM 10. PERFORMANSA GÖRE TASARIM

10.1 GİRİŞ

Yüksek dayanımlı betonların en önemli sakıncaları; kırılırken gevrek davranış sergilemeleri, otojen deformasyonun yüksek değerler alması ve yangına dayanıksız olmalarıdır. Bu betonlarda, sünekliğin artırılması çelik teller yardımıyla yapılabilmektedir. Çelik telin narinliğinin, dayanımının ve içeriğinin betonun performansı üzerinde önemli etkileri vardır. Gelecekte beton sadece dayanıma değil, aynı zamanda dürabilite ve sünekliğe göre de tasarlanacaktır. Ayrıca tasarımda, yangına dayanıklılık, otojen rötreinin azaltılması, serviste iken bakım içeren unsurlar da göz önünde bulundurulacaktır.

Son yıllarda, yüksek performanslı betonların üretimi ve özelliklerinin belirlenmesi ile ilgili konularda önemli gelişmeler kaydedildi. Bu betonlar, yüksek dayanımla birlikte üstün dürabiliteye sahiptir. Ancak, bu malzemeler normal betona göre daha gevrek davranış gösterirler ve bu yüzden tokluğu arttırmak için çelik lifler eklenebilir. Bu betonların potansiyel kullanımları henüz oluşmaktadır ve özellikle uzun dönem özelliklerini değerlendirmek için daha fazla çaba gerekmektedir.

Günümüzde taşıyıcı yapı malzemeleri için şu ilkelerin sağlanması beklenmektedir: i) Dayanımı, sünekliği (şekil değiştirme yeteneği) ve uzun süreli performansı daha yüksek, ii) üretimi daha kolay, iii) çevre ile daha uyumlu, ve iv) daha ekonomik.

Yeni gelişmelerin ışığında yapı malzemesi ile ilgili olarak temel araştırmaların geleceği için şunlar söylenebilir: a) Yapı malzemesi üretiminde atık malzemelerin de kullanılmasıyla ekolojik dengenin korunmasına katkı, b) Malzemelerin dayanımdan başka uzun süreli davranışının da modellenmesi, c) İstenen performansa göre yapı malzemesi tasarımı.

Dünyadaki yeni gelişmelere göre, yapı malzemesi konusunda olduğu gibi zemin betonları konusunda da temel gereksinimler şöyle özetlenebilir:

- 1) Sürdürülebilirlik: Zemin betonunun dayanımının, dayanıklılığının (dürabilitesinin), ekolojik ve ekonomik performansının artırılması,
- 2) Kullanılabilirlik: Zemin betonunun amaca uygun olarak kullanılabilirliğinin geliştirilmesi,
- 3) Çok İşlevsellik: Zemin betonunu kullananların beklentilerini karşılayacak çok işlevsel, bilgiye ve yeniliğe dayanan bir sürecin işletilmesi.

Bu bölümde, betonun dürabilitesini yükseltmek ve artan dayanımla birlikte gevrekliğin artışı önlemek, diğer bir deyişle sünekliği artırarak performansın yükseltilmesine, yangına karşı dayanıklılığın artırılmasına ve otojen deformasyonun azaltılmasına yönelik bazı değerlendirmeler yapılmaktadır.

10.2 BETONDA DÜRABİLİTENİN ÖNEMİ

Betonun dürabilitesi ile geçirimsizliği (basınçlı su geçirimsizliği, kılcal su emme ve gaz geçirimsizliği) arasında doğrudan bir ilişki vardır. Bundan dolayı, betonda geçirimsizliği sağlamak için su/çimento oranının düşük olması ve agrega ile çimento hamuru arasındaki temas yüzeyinin güçlendirilmesi gerekmektedir. Ayrıca, bakım ve küre de özen gösterilmelidir.

Betonda hasar başlıca üç nedenle olur:

1) Beton hasarının fiziksel nedenleri: i) don etkisi, ii) agrega ve çimento hamuru arasındaki termal uyumsuzluk, iii) betonda rötreye duyarlı agregaların kullanılması, iv) aşırı sıcaklık farklarından ileri gelen çatlama, v) plastik rötre, plastik oturma ve rötre çatlağı, vi) don etkisine duyarlı agregaların kullanılması, ve vii) yangın hasarı.

2) Beton hasarının fiziko-kimyasal nedenleri: i) betonda çelik donatının korozyonuna bağlı çatlaması, ii) alkali silika reaksiyonuna bağlı hasar.

3) Beton hasarının kimyasal nedenleri : i) klor etkisi, ii) deniz suyu etkisi, iii) asit etkisi, iv) yeraltı suyundaki veya yerel ortamdaki sülfat etkisi, v) alkali silika reaksiyonu, vi) betonda ikincil etrenjit oluşumu, ve vii) mikro-organizmaların neden olduğu biyolojik korozyon.

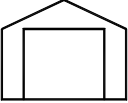
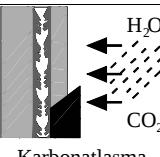
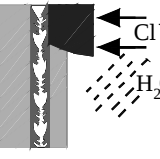
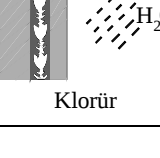
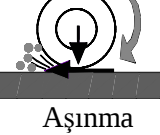
Beton tasarlanırken yeni standartlarda belirtilen şu çevresel etkiler göz önünde bulundurulur: i) Donatının korozyon riski veya zararlı ortam etkisinin olması, ii) Karbonatlaşmadan kaynaklanan korozyon, iii) Klor nedeniyle oluşan korozyon, iv) Deniz suyu, v) Deniz suyu dışındaki klorürler (buz çözücü tuzlardan kaynaklanan), vi) Donma/çözülme, vii) Kimyasal etki, ve viii) Aşınma.

TS EN 206-1 gözönünde bulundurularak çevresel etki sınıfları ve dürabiliteye göre tasarım Tablo 10.1'deki gibi verilebilir. Aynı yapının farklı kısımlarına etkileyen çevresel etki sınıfları ise Şekil 10.1'de gösterilmektedir.

Çevresel etki sınıfları ve dürabiliteye göre tasarımında önemli iki etken su/çimento oranı ile çimento içeriğidir. Betonun boşluk miktarı ve yapısı ile dürabilite arasında doğrudan bir ilişki vardır. Su/çimento oranı betonun kılcal boşluk yapısını belirlediğinden çevresel etki sınıfına bağlı olarak bu oranın belirlenen tasarım değerinin üzerine çıkmaması gerekir. Çimentonun bağlayıcılık işlevi yanında boşlukları da doldurması nedeniyle belirlenen bir minimum değerin altına inmemesi istenir.

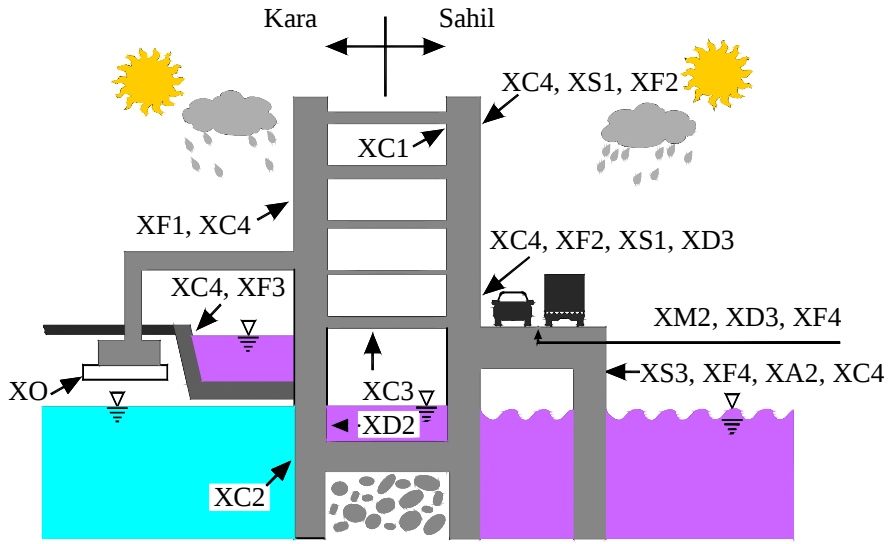
Bir betonarme yapıda dürabilitenin artırılması şu etkenlere bağlıdır: i) Çevresel etkilerin uygun seçimi, ii) Uygun tasarım ve detaylandırma, iii) Hem beton hem de beton dökme işlerinin yönetimi için uygun bir şartname, iv) Şartnameye uygun taze beton sevkiyatı, v) Yerde iyi işçilik (yerleştirme, koruma ve kür), ve vi) Pas payının yeterliliği için çaba.

Tablo 10.1 Çevresel etki sınıfları ve dırabiliteye göre tasarım

Çevresel etki sınıfı			Betonun dırabilite koşuluna göre tasarımı		
Sınıf	Etki	Açıklama	Maksimum su/çimento oranı	Minimum çimento dozajı	Minimum dayanım sınıfı
X0	 Zararlı etki yok	Korozyon riski veya zararlı etki yok	Sınır yok	Sınır yok	C 12/15
XC	 Karbonatlaşma	1 Kuru veya sürekli ıslak	0,65	260	C 20/25
		2 Islak, bazen kuru	0,60	280	C 25/30
		3 Orta derecede rutubet	0,55	280	C 30/37
		4 Tekrarlı ıslanma - kuruma	0,50	300	C 30/37
XD	 Klorür	1 Orta derecede nemli	0,55	300	C 30/37
		2 Islak, bazen kuru	0,55	300	C 30/37
		3 Tekrarlı ıslanma - kuruma	0,45	320	C 35/45
XS	 Klorür	1 Deniz suyu ile doğrudan temas etmeyen	0,50	300	C 30/37
		2 Sürekli su içinde	0,45	320	C 35/45
		3 Tekrarlı ıslanma - kuruma	0,45	340	C 35/45
XF	 Donma-çözülme+tuz	1 Buz çözücü madde içermeyen suya orta derecede doymun	0,55	300	C 30/37
		2 Buz çözücü madde içeren suya orta derecede doymun	0,55 ^a	300	C 25/30
		3 Buz çözücü madde içermeyen suya yüksek derecede doymun	0,50 ^a	320	C 30/37
		4 Buz çözücü madde içeren veya deniz suyuna yüksek derecede doymun	0,45 ^a	340	C 30/37
XA	 Kimyasal etki	1 Az zararlı kimyasal ortam	0,55	300 ^b	C 30/37
		2 Orta derecede zararlı ortam	0,50	320 ^b	C 30/37
		3 Çok zararlı kimyasal ortam	0,45	360 ^b	C 35/45
XM	 Aşınma	1 Orta düzeyde aşınma	0,50	320	C 30/37
		2 Ağır aşınma	0,50	320	C 30/37
		3 Çok ağır aşınma	0,45	340	C 35/45

^a Betonda sürüklenmiş hava içeriği en az % 4 olmalıdır.

^b Sülfata dayanıklı çimento.



Şekil 10.1 Aynı yapının farklı kısımlarına etkiyen çevresel etki sınıfları

10.3 ÇELİK TEL DONATILI BETONLAR

10.3.1 Performansa Göre Tasarım

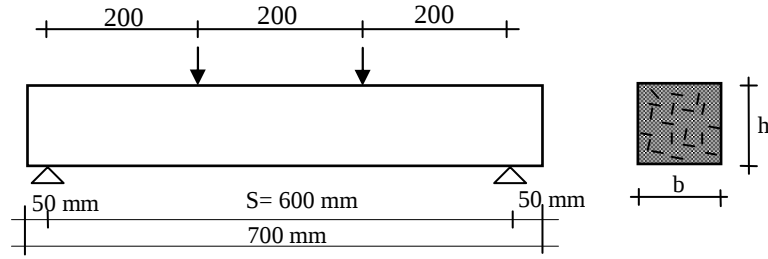
Alman Beton Birliği (ABB), çelik tel donatılı betonların sınıflandırılmasını eşdeğer eğilme-çekme dayanımına dayanarak yapmaktadır. Eşdeğer eğilme dayanımı iki duruma göre tanımlanır [1]:

- SLS (Kullanılabilirlik sınır durumu): küçük sehim durumu,
- ULS (Taşıma gücü sınır durumu): büyük sehim durumu.

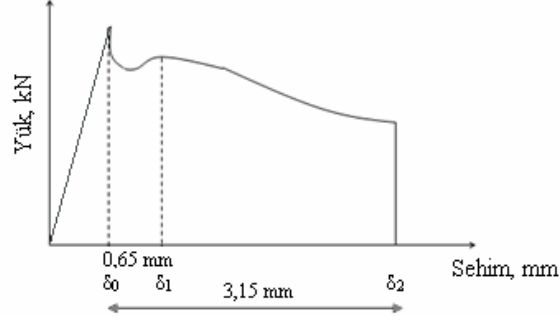
Tablo 10.2. Çelik tel donatılı betonlar için şekil değiştirme bölgeleri [1]

Şekil değiştirme bölgesi	Sınır durumu	Sehim sınır durumu
I	Kullanılabilirlik (SLS)	$\Delta_1 = \delta_0 + 0,65\text{mm}$
II	Taşıma Gücü (ULS)	$\Delta_2 = \delta_0 + 3,15\text{mm}$

Tasarım yapan mühendisler, çelik tel donatılı beton sınıflarının sadece seçiminden sorumlu olup, çelik tel tipi ve içeriği için karar verme durumunda olmayabilir. Böyle bir işlevi hazır beton üreticisi yerine getirebilir.



Şekil 10.2 Çelik tel donatılı betonlar için eğilme deney numunesi



Şekil 10.3 Eşdeğer eğilme-çekme dayanımının hesaplanması için belirlenen deformasyon bölgeleri

Alman Beton Birliği, çelik tel donatılı betonlar için performans sınıflarına bir örnek olmak üzere aşağıdaki kodlamayı kullanmaktadır [1]:

C 30/37 F 0,9/0,7

Burada C betonu; 30 N/mm² olarak 28 günlük silindir ve 37 ise aynı gündeki küp basınç dayanımını, F 0,9/0,7 (SLS/ULS): şekil değiştirme bölgesi I için 0,9'luk tek eksenli çekme dayanım sınıfındaki ÇTDB'u, 0,7 şekil değiştirme bölgesi II için 0,7'lik dayanım sınıfındaki ÇTDB'u göstermektedir. Söz konusu kodlamaya çevresel etki sınıfı da şu şekilde eklenebilir:

C30/37 F 0,9/0,7 XC4

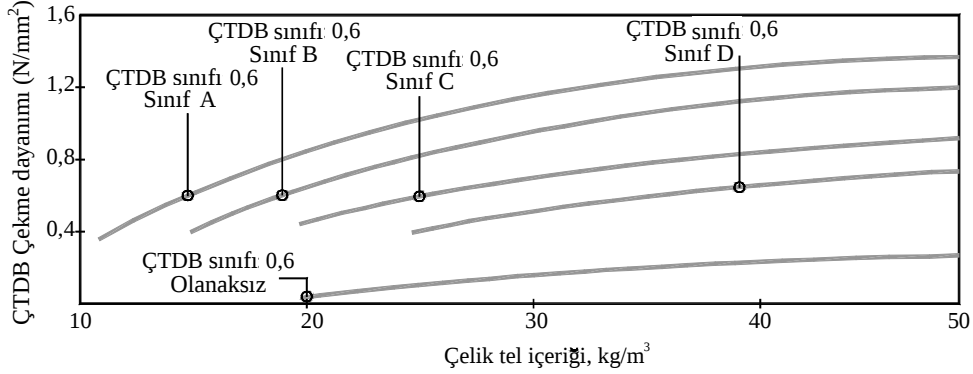
Burada, XC4 ise EN 206-1'e göre tekrarlı ıslanma kurumada, "karbonatlaşma" çevresel etki sınıfına karşı gelmektedir.

I. Bölgedeki dayanım sınıfı, normalde aynı betonun II. Bölgedeki dayanım sınıfından daha büyüktür. Hafif beton için benzer bir örnek aşağıdaki gibi verilebilir.

LC 30/33 F 0,9/0,7 XA2

Burada, XA2 orta derecede zararlı ortamda, "kimyasal etki" çevresel etki sınıfına karşı gelmektedir. II. Bölge için şekil 10.4'de görüldüğü gibi çelik tel donatılı beton performansının

0,6 olması durumunda çelik tel dayanım sınıfı A'dan 15 kg/m³, B'den yaklaşık 18 kg/m³, C'den ise 25 kg/m³ tel kullanmak gerekirken, en alttaki eğride görüldüğü gibi dayanım sınıfı düşük bir başka liftten 20 kg/m³'ün üstünde ne kadar kullanılırsa kullanılsın 0,6 N/mm²'lik eşdeğer çekme dayanımını karşılamak olanaksızdır [2].



Şekil 10.4 ÇTDB'da II. deformasyon bölgesinde tek eksenli çekme dayanımı ile çelik tel içeriği ilişkisi [3]

Karakteristik eşdeğer çekme dayanımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$f_{eq} = \frac{T_i}{\delta_i} \cdot \frac{S}{bh^2}$$

Burada, T_i Şekil 2'de gösterilen eğride kullanılabilirlik (SLS) veya taşıma gücü (ULS) sınır durumuna göre yük-sehim eğrisinin altında kalan alan, δ_i ilgili sehim durumu, $b \times h$ (150 x 150 mm): kiriş kesiti ve S de kirişin açıklığıdır (600 mm).

10.3.1.1 Performans sınıflarının belirlenmesi için çelik lif donatılı deney kirişlerinin hazırlanması

Çelik lif donatılı betonun performansı çatlama sonrası dayanıma dayanır ve sehim kontrollü kırış deneyiyle elde edilir. Güvenilir sonuçlar elde etmek için deney makinesinin yüksek rijitliğe sahip olması ve frekansı çok önemlidir. Betonun üretimi ve kırışların dökülmesi bazı temel kurallara göre yapılmaz ise en iyi deney makineleri kullanılsa bile yanlış sonuçlar elde edilebilir. Yüksek performanslı liflerin kullanıldığı betonlara özel bir dikkat gösterilmelidir. Deney kırışlarının başarılı bir şekilde üretilebilmesi için dikkat edilmesi gerekli hususlar aşağıda verilmektedir.

Koşullar

Belirlenmiş koşullara sahip iyi donanımlı bir laboratuvar kesinlikle gereklidir. Personel çelik lif donatılı betonların üretilmesi ve kalıplara yerleştirilmesi konusunda yeterli deneyime sahip olmalıdır. Laboratuvar ekipmanı dışındaki ekipmanlar kullanılmamalıdır.

Beton bileşimi

Beton bileşimi sonradan kullanılacak karışımla aynı olmalıdır. Agregâ türü, çimento, katkı, vb. değiştirilmemelidir. Nem içeriği bilinen veya önceden kurutulmuş agregâ kullanılmalıdır. Kullanılacak akışkanlaştırıcı katkı daha önceden denenmelidir.

Laboratuarda beton üretimi

- Beton mikseri gereklidir.
- Tüm malzemeler doğru tartılır.
- Malzemeler (çimento, agregâ) bir dakika kuru karıştırılır.
- Suyun eklenmesi.
- Bir dakika karıştırma.
- Karıştırma devam ederken lifler eklenir. Birbirlerine yapışık durumdaki lifler tek seferde eklenebilir, diğer lifler ise yavaş yavaş eklenmelidir. Birbirlerine yapışık haldeki lifler agregâ ile karıştırılıp ardından su eklenebilir.
- Su eklendikten sonra karıştırma süresi;
 - 15 lt'lik mikser için iki buçuk dakika,
 - 50 lt'lik mikser için dört buçuk dakika,
- Liflerin homojen bir şekilde dağıldığı kontrol edilmelidir. Homojenlik yoksa daha uzun karıştırma süresi gerekebilir.
- Akışkanlaştırıcı ilave edilecekse mikser dönerken yavaşça ilave edilmelidir.
- Mikserin sabit karıştırma paletleri varsa zaman zaman bunların kaldırılarak üzerinde liflerin toplanması önlenmelidir. Karıştırmaya devam etmeden önce mikser açılarak liflerin elle dağıtılması da gerekli olabilir. Lif dağılımının gözle incelenmesi her zaman gereklidir.

Beton dökümü

Beton dökümü için en iyi uygulama şu şekildedir;

- Kalıp tek seferde, deney numunesi yüksekliğinin % 110'u kadar doldurulmalıdır.
- Sıkıştırma sırasında fazla beton sıyrılır ve yüzey düzeltilir.

Sıkıştırma

- Sıkıştırma dış vibrasyonla sağlanmalı, iç vibrasyon kullanılmamalıdır.
- Titreşim masasının yüzeyinin yatay ve düzgün olması önemlidir; böylece kalıp masa yüzeyiyle sürekli temas halinde olur.
- Liflerin ayrışmasının önlenmesi için sıkıştırma süresi maksimum 30 saniye ile sınırlandırılmalıdır. Titreşim frekansı yaklaşık 50 Hz olmalıdır.
- Sıkıştırma ve yüzey düzeltmeden hemen sonra beton yüzeyi plastik bir örtüyle kapatılmalıdır.
- Kalıp içindeki numuneler klima odasında saklanmalıdır.

Numunelerin kalıplardan çıkarılması

Beton döküldükten sonraki 24 - 48 saat içinde numuneler kalıplardan çıkarılır.

Saklama

Deney numuneleri su içinde veya 20°C sıcaklık ve % 95 bağıl neme sahip klima odasında saklanır.

Deney

Deney numuneleri mümkün olduğu kadar rutubetli ortamda tutulmalıdır. Deney için beklerken numunelerin kuruması önlenmelidir.

10.3.2 Almanya, İsviçre ve Avusturya'daki Deneyimler

Almanya'da resmi tasarım kılavuzu henüz bulunmamaktadır. Ancak, ABB'nin önerileri vardır. Belirli yapı ve elemanlar için onaylar alınmış ve ABB ile uyumlu deneylere başlanmıştır. 2005'de resmi kılavuza başlama girişimleri vardır. Kalan eğilme dayanımı esasına göre performans sınıfları ile ÇTDB'lar konusunda onaylar beklenmektedir.

İsviçre'de çelik tel donatılı betonlar ile ilgili birçok deney yöntemi vardır. Fakat performans sınıfları henüz resmi olarak belirlenmemiştir. Ancak bazı firmaların özel performans sınıfları mevcuttur. Mühendis geniş özgürlüğe sahiptir, ancak yüksek sorumluluğu vardır. Hazır beton santrallerinde dürabilite ve sünekliliğe dayalı beton bileşimleri bulunmaktadır.

Avusturya'da 2000'den beri ÇTDB'lar için bir kılavuz mevcuttur. Eşdeğer eğilme dayanımı, yangın direnci, çatlamamış beton ve çatlak kontrolü için performans sınıfları belirlenmiştir. Deney prosedürleri bütün sınıflar için tanımlanmıştır. Mühendisler performans sınıflarını kullanmaktadırlar ve uygulamalarda artış vardır. Beton santrallerinde performans dayalı sınıflama için çabalar artmaktadır. İnşaat yerinden çok santrallerde ÇTDB üretimi gerçekleştirilmektedir. Tablo 10.3'de Avusturya'daki performans sınıfları verilmektedir [1].

Tablo 10.3 ÇTDB'lar için Avusturya'daki mevcut performans sınıfları

Performans sınıfı	Minimum eşdeğer eğilme dayanımı, N/mm ²	
	Taşıma gücü sınırı durumu (ULS)	Kullanılabilirlik sınırı durumu (SLS)
Temel sınıf	5,00	5,00
T5	3,50	3,75
T4	2,75	3,10
T3	2,00	2,40
T2	1,25	1,70
T1	0,50	0,75

Tek eksenli eşdeğer çekme dayanımını hesaplamak için 2. sütunu (ULS) 0,37 ile, 3. sütunu (SLS) ise 0,45 ile çarpmak gerekmektedir.

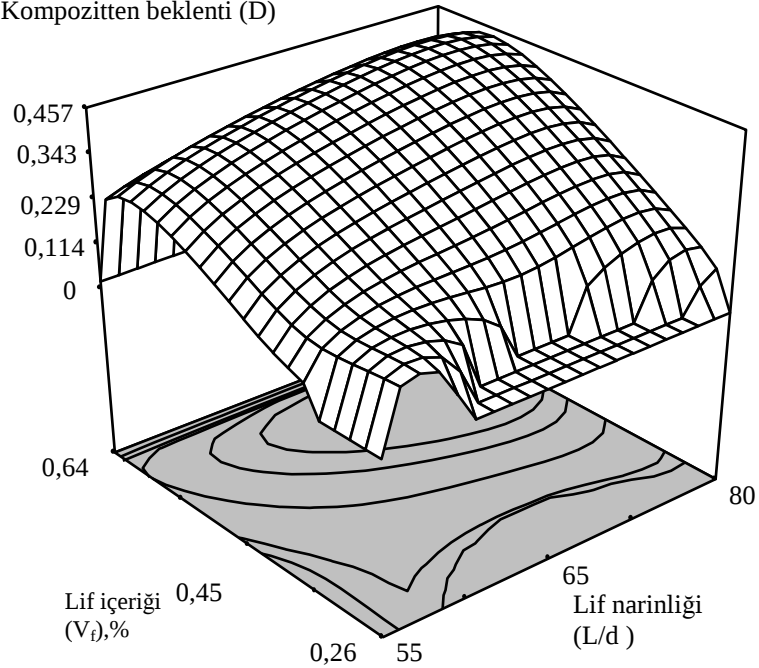
10.3.3 Çelik Tel Donatılı Betonların Optimum Tasarımı

Çimento esaslı kompozitlerde kullanılan çelik tellerin narinliğine ve türüne bağlı olarak maliyeti uygulama açısından önemlidir. Bu yüzden, ekonomik bir karışım elde etmek için önce çelik lif hacmi minimize edilmelidir. Sayısal optimizasyon yöntemiyle bu gibi faktör veya tepkiler kombinasyonu optimize edilebilir. Burada, yarma-çekme dayanımı (f_{st}), karakteristik uzunluk (l_{ch}), eğilme dayanımı (f_{flex}) ve çelik lif hacmi (V_f) eşit önemde kabul edilerek aynı anda optimize edilmiştir. f_{st} , l_{ch} ve f_{flex} maksimize edilirken V_f minimize edilmektedir. Gevrekliği gösteren malzemenin karakteristik boyu, $l_{ch} = EG_F / f_{st}^2$ şeklinde hesaplanmaktadır. Burada E betonun elastisite modülünü, G_F ise betonun kırılma enerjisini göstermektedir. Çok amaçlı optimizasyon çözümü Şekil 10.5’de gösterilmiştir. Bu şekil, tasarım değişkenlerinin optimal değerlerinin $V_f = \% 0,558$ ve $L/d=75,87$ ($L=60$ mm, $d=0,791$ mm, ve $V_f = \%0,558$) olduğunu yansıtmaktadır. Tahmin edilen tepki değerleri ve ilgili belirsizlikler (% 95 güvenlik düzeyinde) Tablo 10.4’de verilmiştir [3].

Tablo 10.4 Tasarım değişkenlerinin optimal değerleri

V_f , %	L/d	l_{ch} , mm	f_{st} , MPa	f_{flex} , MPa	G_F , N/m	E, GPa	f'_c , MPa
0,558	75,87	3359 ± 310	$6,8 \pm 0,1$	$9,4 \pm 0,5$	3125 ± 165	$48,6 \pm 0,3$	$65 \pm 3,8$

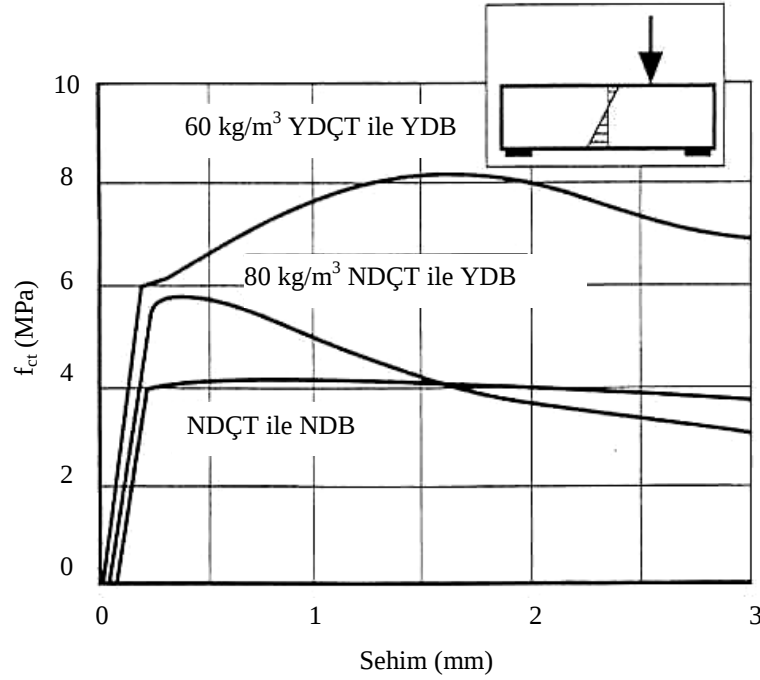
Kompozitten beklenti (D)



Şekil 10.5 f_{st} , l_{ch} ve f_{flex} ’nin maksimum, çelik lif hacminin (V_f) ise aynı anda minimum yapılması halinde kompozitten beklentiye (D) ait tepki yüzeyi [3]

10.4.4 Çelik Tel Dayanımının ve İçeriğinin Betonun Performansına Etkisi

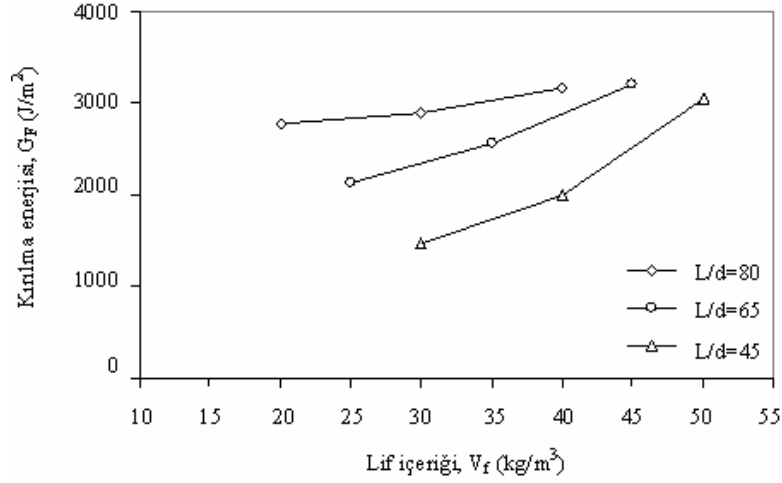
YDB'nun Mekanik Davranışına Çelik Lif Dayanımının etkisi Şekil 10.6'da gösterilmiştir. Alttaki eğri normal dayanımlı çelik lif (çekme-kopma dayanımı 1200 MPa) ile üretilen Normal Dayanımlı Betonun (NDB) mekanik davranışını göstermektedir. Ortadaki eğri 80 kg/m³ normal dayanımlı çelik lif içeren YDB kirişinin davranışını göstermektedir. Üstteki eğri ise 60 kg/m³ yüksek dayanımlı lif (çekme-kopma dayanımı 2000 MPa) içeren YDB kirişinin davranışını göstermektedir. Buradan, yüksek dayanımlı çelik telli YDB kirişinin belirgin bir biçimde yüksek performans ve sünek davranış gösterdiği sonucuna varılabilir [4].



Şekil 10.6 Farklı tipteki çelik tellerle üretilmiş beton kirişlerin yük-sehim eğrileri [4]

Şekil 10.7, üç farklı narinlik için lif içeriğinin kırılma enerjisine etkisini göstermektedir. Uçları kancalı çelik tellerin belirli bir hacmi için, narinlik arttıkça kırılma enerjisi belirgin biçimde artmaktadır. Bu deneysel sonuçların normal dayanımlı matris ve çekme-kopma dayanımı 1100 N/m² olan düşük karbonlu çelik teller için geçerli olduğu göz önünde bulundurulmalıdır [5,6]. Şekilde görüldüğü gibi, lif içeriği ve narinlik ana değişkenler olarak alınmıştır. Deneyi sonlama noktasının 5 mm sehime karşılık gelen nokta olarak alınmasına karşın, kirişin enerjiyi yutma yeteneğinin yüksek olduğu sonucuna varılabilir.

Şekil 10.7'te narinliği 80 ve içeriği 20 kg/m³ tel ile yaklaşık 2700 J/m²'lik bir kırılma enerjisi elde edilmektedir. Buna karşın, aynı miktar enerjiyi elde edebilmek için narinliği 65 olan telden yaklaşık 37 kg/m³, narinliği 45 olan telden ise yaklaşık 47 kg/m³ tel kullanmak gerekmektedir. Böylece, mühendisin yutulan enerjiye göre tasarım yapması halinde üretici çelik tel içeriğini, narinliğini ve fiyatlarını göz önüne alarak performansa dayalı bir karışım hazırlayacaktır.



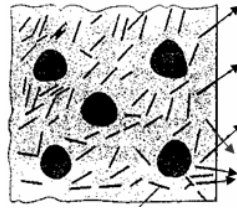
Şekil 10.7 Geleneksel ÇTDB'lar için Lif içeriği-kırılma enerjisi ilişkisi (Falkner ve diğ. [5]'nin deney sonuçları Bayramov [6] tarafından değerlendirilmiştir)

10.4 DİĞER PERFORMANS ÖLÇÜTLERİ

Yüksek dayanımlı betonların en önemli sakıncalarından biri yangına karşı dirençlerinin düşük oluşu, diğeri ise erken yaşta oluşan deformasyonların fazla olmasıdır. Bundan dolayı söz konusu betonların performanslarını arttırmak için yangına karşı önlem almak ve otojen rötreyi azaltmak gerekmektedir.

10.4.1 Yangına Karşı Polipropilen Lif Donatılı Yüksek Dayanımlı Beton

Yüksek dayanımlı betonların çok az boşluklu, diğeri bir deyişle fazla yoğun bir yapıda olması yangına karşı direnci düşürür. Yüksek sıcaklıklarda serbest su ve çimento hamurundaki kimyasal olarak bağlanmış su buharlaşır. Ancak, bu su malzemenin yoğun yapısından dolayı uzaklaşamaz. Sonuç olarak beton yüzeyinde dökülmeler olur, donatı çeliğini yüksek sıcaklıktan koruyamaz hale gelir ve sonuçta betonarme elemanların taşıma kapasiteleri azalır. Frankfurt'ta yakın zamanda inşa edilen bir yapıda bu problemi çözmek için polipropilen lif donatılı bir beton kullanılmıştır. Bunun için betona 1 m³ başına 2 kg polipropilen lif katılmıştır. Yangın olduğunda yüksek sıcaklıkta bu lifler eriyerek su buharının sınır bölgelerden çıkabileceği kanallar oluşturmaktadır (Şekil 10.8). Böylece, yüzeylerdeki dökülmelerin engellenebileceği beklenmektedir.

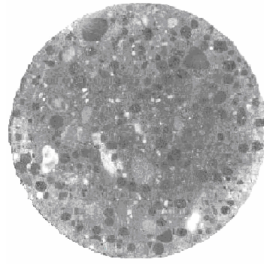


Şekil 10.8 Yüksek sıcaklıklarda eriyen polipropilen lifler buharın boşluklar yardımıyla dışarı çıkmasını sağlar [4]

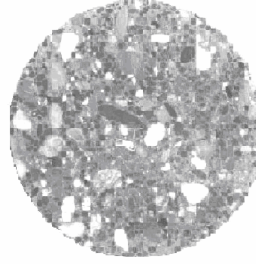
10.4.2 Erken Rötreye Karşı Yarı Hafif Betonlar

Yüksek dayanımlı betonlar, düşük su/çimento oranı, yüksek çimento dozajı kullanarak ve silis dumanı gibi ultra incelikte yüksek reaktiviteye sahip puzolanların eklenmesiyle üretilir. Sertleştikten sonra malzeme oldukça yoğun bir hale gelir. Ancak, bağlayıcı maddelerin hidrasyonunun tamamlanması için gereken su yetersiz kalır. Çünkü, beton elemanın dış bölgesinden iç bölgesine yeteri kadar su girişi olmamaktadır. Bundan dolayı yüksek dayanımlı betonlarda ilk sertleşme sürecinde önemli ölçüde erken rötreye (otojen deformasyon) oluşur.

Agrega hacminin yaklaşık %25'inin önceden su emdirilmiş hafif agrega ile yer değiştirmesi betonun içinde sürekli su kürü sağlayan bir kaynak oluşturur. Önceden ıslatılmış agreganın katılması sonucunda daha az otojen rötreye yapan bir beton elde edilebilir. Şekil 10.9'da Taşdemir ve diğ., [7] tarafından incelenen yarı hafif betonlarda siyah yuvarlak taneler bu amaç için de kullanılan Liapor hafif agregalarını göstermektedir. Yapılan bu çalışmanın diğer bir amacı ise sürekli bir granülometriye sahip betonda agrega fraksiyonunun betonun kırılma parametrelerine olan etkisini araştırmaktır. Bunun için A16 ve B16 granülometrilere sahip betonlarda en büyük agrega boyutu, su/çimento oranı, çimento içeriği ve mineral katkı olarak silis dumanı miktarı aynı tutulmuştur. Böylece, granülometri eğrisi A16'ya uygun A grubu betonlarda normal agreganın 2-4 mm veya 8-12 mm arası Liapor hafif agregası ile değiştirilmiştir. Betonda normal agreganın 2-4 mm arasındaki bölümünü hafif agrega ile değiştirmenin otojen rötreye, dayanım ve kırılma parametreleri bakımından, 4-8 mm aralığını hafif agrega ile değiştirmeye kıyasla daha yararlı olduğu görülmüştür. Bu konudaki ileri çalışmalar Akçay ve Taşdemir [8-10] tarafından yapılmıştır.



(a) 4-8 mm arası hafif agrega



(b) 2-4 mm arası hafif agrega

Şekil 10.9 Yüksek dayanımlı yarı hafif betonların kesitleri [7]

10.5 SONUÇLAR

Günümüzde betonun sadece dayanımına değil, dürabilitesine ve sünekliğine göre tasarım yapmak gerekir. Dürabilitenin artırılması için betonda çevresel etki sınıfına bağlı olarak, su/çimento oranı düşürülüp kılcal boşluk miktarı azaltılacağından ve yeteri kadar da çimento kullanılacağından dayanım da otomatik olarak sağlanacaktır. Böylece, projelendirmede önce dürabilite sonra dayanım göz önüne alınmalıdır.

Yüksek dayanımlı betonların en önemli üç sakıncası otojen rötre, yangına karşı düşük direnç ve kırılma sırasında gevrek davranış sergilemeleridir. Günümüzde yukarıdaki açıklamalardan da görüldüğü üzere bu sorunlar aşılabilmekte, istenen performans özellikleri bu betonlara kazandırılmakta ve beklenen optimum çözümler elde edilebilmektedir. Betonun gevrekliğini azaltmak diğer bir deyişle sünekliğini arttırmak için kullanılacak çelik telin içeriğinin, narinliğinin ve dayanımının betonun performansı üzerinde önemli etkilerinin olduğunu bilmek ve performansa dayalı tasarımları gerçekleştirmek gerekmektedir.

Yakın gelecekte proje müelliflerinin; zemin betonu sahibinin, tüm ilgili tarafların ve kullanıcıların gereksinimlerine yanıt verebilecek biçimde yapının sadece yük taşıma kapasitesini değil, sünekliğini, dürabilitesini, yangına dayanıklılığını arttırarak, otojen deformasyonu azaltarak performansa dayalı projeler geliştirmeleri beklenmektedir. Böylece, gelecekte beton alıcısı sadece basınç dayanımını değil, kırılma enerjisini, sünekliğini, şekil değiştirme kapasitesini, en büyük agrega boyutunu, agrega hacim oranını ve söz konusu yapı için çevresel etki gibi birçok parametreyi bildirerek hazır beton üreticisinden beton talebinde bulunacaktır.

Kaynaklar

1. Vitt, G., Performance classes of steel fibre reinforced concretes, Seminar Notes, Bekaert, 2003.
2. Bekaert, Tel donatılı betonların performans sınıfları, (Almanca), 2003.
3. Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., "Optimisation of steel fibre reinforced concretes by means of statistical response surface method", Cement and Concrete Composites, (26), 2004, 665-675.
4. Walraven, J., Structural concrete, Journal of fib, Vol.P1, No.1, 1999, pp.3-11.
5. Falkner, H., Teutsch, N., and Klinkert, H., Leistungsklassen von stablfaserbeton, Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz, TU Braunschweig, 1999, pp 36.
6. Bayramov, F., Tasdemir, C., and Tasdemir, M.A., Optimum design of cement-based composite materials using statistical response surface method, 5th International Congress on Advances in Civil Engineering, Istanbul, Turkey, Vol.2, 2002, pp 725-734.
7. Tasdemir, M. A., Tasdemir, C., Grimm, R. ve König, G., Role of aggregate fraction in the fracture of semi-lightweight high strength concrete, Proceedings of the 6th International Symposium on Utilization of High Strength/High Performance Concrete, Leipzig, Germany, 2002, pp 1453-1466.
8. Akcay B., Pekmezci B. ve Tasdemir M.A., "Utilization of artificial lightweight aggregates in hardened cement paste for internal water curing", Proc. of fib, Keep Concrete Attractive, Budapest, 23-25 May, Eds., Balazs and Borosnyoi, Vol 1, 2005, pp 374-380.
9. Akcay B., Pekmezci B.Y. ve Tasdemir M.A., "Yüksek performanslı betonlarda otojen rötrein önlenmesi" IV. Ulusal Mekanik Kongresi, Hatay, 2005.
10. Akcay B., Tasdemir M.A., "Effects of lightweight aggregates on autogenous deformation in concrete", 16th European Conference of Fracture Failure Analysis of Nano and Engineering Materials and Structures, Alexandroupolis, MMMCP S.P. Shah - Sessions Greece, July 3-7 2006, invited paper.

İndeks

A

ard germe, 41
agregalar, 249, 253, 316
aşınma dayanımına etkisi, 254, 316
ince agrega, 249, 253, 316
iri agrega, 254
işlenebilmeye etkisi, 283, 284
yüzey düzeltilebilmeye etkisi, 249, 253
agrega kemerlenmesi, 283,
agrega kenetlenmesi, 349
alt temel, 33, 38, 66-73
alt temel özellikleri, 66-83
alt zemin, 66-83
alt zemin basıncı, 94
alt zemin ve plak arasındaki sürtünme, 358
akma çizgileri teorisi, 90
anahtar derzleri, 348
araba parkları, 29
araç aks yükleri, 62
ard germe, 41
asma döşeme, 42
tasarım süreçleri, 48
Tipleri, 42
iki doğrultuda çalışan kirişli, 45
iki doğrultuda çalışan kirişsiz, 45
kompozit, 46
seçilmesi, 47
tek doğrultuda çalışan kirişli, 43
tek yönde çalışan, 43
tek yönde çalışan prekast, 44
asma kat, 18
aşınma direnci, 310
belirlenmesi, 314
deneysel olarak bulunması, 313
etkileyen faktörler, 315
geliştirilmesi, 319
ince agreganın etkisi, 316
sınıflandırma, 311
aşınma tabakası, 295
çimento – kum şapları, 298
monolitik, 296
yapıştırılmış, 297
yapıştırılmamış, 298
Ayrışma, 263

B

bağlı rijitlik yarıçapı, 79
bağlantı çubukları, 182, 348
Bakım, 243, 396, 407
beton
ayırışmaya karşı önlemler, 263, 264
basınç dayanımı, 40, 51, 245, 315

bileşenleri, 250
çekme şekil değiştirme kapasitesi, 419
çökme, 248
döküm şekilleri, 264-267
eğilme dayanımı, 245
işlenebilme, 116, 247, 248, 271, 279, 281
karışım hesabı, 257, 259
kendiliğinden yerleşen, 278
kendiliğinden yerleşen çelik tel donatılı, 284
kırılma enerjisi, 418,425
kuruma tahmini için isveç yöntemi, 323
nominal karışım, 257
pompanabilme, 271
priz süresi, 241, 244, 256
sıkıştırma, 268, 269, 272
su/çimento oranı, 237
taşınması, 261
üretim, 258
hazır beton, 260
şantiyede, 261
yüksek dayanımlı/ performanslı, 417-431
beton katkıları, 255
akışkanlaştırıcı, 256,257
hava sürükleyici, 256
priz geciktirici, 256
priz hızlandırıcı, 256
viskozite katkıları, 279
blok istifleme, 16
buhar geçişini önleyiciler, 327-329

C

CBR (kalifornia taşıma oranı), 38, 74

Ç

Çatlaklar, 330, 396
ağ şeklinde, 335
kuruma rötresi, 336
plastik oturma, 335
plastik rötre, 330,398
rastgele, 401
sıcaklık değişimine bağlı, 336
tamir edilmesi, 409-412
tamir yöntemleri, 339, 409
aktif, 412
aktif olmayan, 412
kısmi veya tüm derinlik boyunca, 412
taze betonda, 333
türleri, 330
yapısal , 337
asma döşemelerde, 337
zemine oturan döşemelerde, 337

çatlak kontrolü, 354
donatılı derzli zemin betonları, 357
donatısız derzli döşemeler, 354
sürekli donatılı derzsiz zemin betonları, 355
çelik tel, 114
aderans, 117
beton işlenebilirliğine etkisi, 116, 271
çatlak genişliğine etkisi, 189
eğilme dayanımına etkisi, 121
köprüleme etkisi, 116
türleri, 270
çelik tel donatılı beton, 114, 269, 426, 437,
karma lifli, 428
performansa göre tasarım, 437
pompanması, 271
sentetik lifli, 430
sıkıştırılması, 272
yerleştirilmesi, 271
yüksek performanslı, 424, 425
yüzey düzeltilmesi, 272
çevresel etki sınıfları, 239, 435, 436
çiçeklenme, 404
çimento, 250
katkılı çimento, 252
portland çimento, 252
sınıflandırılması, 251
çimento esaslı kompozitler, 421
çizgisel yük, 36, 108
çoklu tekil yük, 107
çökme, 248

D
dar koridor araçları, 22
dar şerit dökümü, 264
dayanım , 245
aşınma, 310
basınç, 40, 51, 245, 315
darbe, 246
eğilme, 48, 136, 245
kayma, 49, 246
depolardaki zemin betonları, 15
depolama sistemleri, 15
Derz, 341-347, 354, 357
aralıkları, 357
dolguları, 352
genişlikleri, 355
görevleri, 341
hasarı, 409
kesimi, 350-351
onarımı, 409
türleri, 341, 342
yük aktarımı, 340, 348, 349
derzsiz döşemeler, 355
doğrudan yere oturan zemin betonları, 31

donatı, 51
dürabilite, 435-437

E
eğilme dayanımı, 48
el arabaları, 262
elastik zemin, 378, 381
elastik teori, 84, 380
endüstriyel olmayan zemin betonları, 7

F
fabrika zeminleri, 27, 28
forklift, 21

G
geç kür, 319
geniş alan dökümü, 267
geniş şerit dökümü, 266
genleşme derzi, 347
güvenlik katsayıları, 135

H
hareketli yükler, 11
hareketli raflar, 19
harita şeklinde çatlaklar, 399
hasar, 408
hasarların belirlenmesi, 408
havalı taşıma sistemleri, 29
helikopter uygulaması, 289, 290

I
ıslak şaplar, 268

İ
iki doğrultuda çalışan döşemeler
kirişli, 45
kirişsiz, 45
ince agrega, 249, 253, 316
iri agrega, 316
istifleyici kreynler, 23
işlenebilme, 116, 247, 248, 280, 281
izolasyon derzleri, 342

K
kablo yönlendirmeli araçlar, 24
kalıp, 53, 268, 309
kalite denetimi, 360
çelik tel donatılı betonda, 368
alman yöntemi, 373
astm c 1018, 369
japon yöntemi, 372
iskandinav yöntemi, 375
İstatistiksel 361

kontrol kartları, 366
yalın betonda, 360
 ACI 318, 365
 TS EN 206, 364
 TS 500, 364
kamu yapıları, 10
kaplamalar, 325, 326, 414
 aderanslı,, 297
 aderanssız, 298
 kaplamalar için hazırlık, 322
karbonatlaşma, 318
kendiliğinden yerleşen beton, 278
 ayırışma direnci, 279, 283
 çelik tel donatılı, 284
 doldurma etkisi, 282
 geçiş yeteneği, 283
 işlenebilirlik, 281
 reoloji, 280
kesme derz, 350
kısıtlanmış rötre, 246
kırılma, 162, 308, 339, 400
 derz yerleşimi, 340
 tamir edilmesi, 341
kimyasal etkilere dayanıklılık, 320, 321
kompozit döşemeler, 46
konut zeminleri, 7
konveyörler, 20
korozyon, 415
kuruma rötresi, 246, 336
kür, 273, 318
 aşınmaya etkisi, 318
 geç kür, 319
 ıslak kür, 273
 kür malzemeleri, 275
 zamanlama, 276

M
malzeme taşıma sistemleri, 19
master, 287
 motorlu, 289, 292
masterlama, 287 – 289

N
nem, 323, 324, 326
 kaynakları, 326,
 kontrolü, 327,
 yükselmesi, 327

O
ofis zeminleri, 9
onarım, 409
onarım malzemeleri, 404
onarımda uyum özeliği, 405

Ö
öngerme, 52, 358
özel zeminler, 28

P
palet
 rafları, 16-18
 taşıyıcıları, 20, 21
 yerleşimi, 16, 17
parçalı ano dökümü, 264
perakende ticareti yapılan yerler 10
perdah yüzey düzeltmesi, 292
plak kalınlığı, 40, 41
plaka yükleme deneyi, 75
plastik oturma, 244, 335
plastik rötre çatlakları, 152, 330, 398
plastik tasarım, 84, 127, 129
pompalar, 262
priz
 süresi, 241, 243, 256, 397
 gecikmesi, 397

R
raflama, 18
reçine kaplaması, 318
renk farklılıkları, 402, 403
rötre, 152, 246
S
sehim, 49
serpme uygulaması, 320
sıcak havada beton dökümü, 242, 243
sıcaklık etkisi, 151, 152, 160, 161, 241, 336
sıkıştırma, 81, 272
soğuk hava depoları, 30
soğuk havada beton dökümü, 242
son yüzey düzeltme, 287
soyulma, 397
su, 255
su buharlaşma hızı, 332
su/çimento oranı, 237, 240
su geçirimsiz örtü malzemeleri, 274
su muhtevası, 71
sünme, 157, 161
süpürge uygulaması, 292

Ş
şap rayları, 268

T
tasarım, 33-38, 48, 114, 127, 144
tek tabakalı zeminler, 4-6
tek yönde çalışan plaklar, 43
tek yönde çalışan kirişli döşemeler, 43
tek yönde çalışan prekast , 44

temel altı zemini, 66-69
terleme, 240, 397
tırmık uygulaması, 292
tozlanma, 400
tv stüdyoları 30
trafik,
 belirlenmiş, 299
 rastgele, 299
transmikserler , 262

U
uzatma araçları ve kamyonları, 21

V
vakum uygulaması, 294

Y
yapım derzleri, 346
yalancı derzler, 349
yan kalıplar, 268
yatak katsayısı, 38, 65, 66, 75, 77, 385
yük aktarma araçları, 20-25
yük aktarma çubuğu, 173, 178
 ezilme gerilmesi, 178
 tanımı, 173
 tasarımı, 173
 taşıma kapasitesi, 173, 179
yük emniyet katsayısı, 36, 37
yükleme alanı, 37
yükleme konumu, ,37
yükler, 55
 ağır tekil, 36
 araç, 62
 çizgisel, 36, 108
 çoklu, 107
 düzgün yayılı, 36, 63, 109
 ikiz, 97
 noktasal, 56
 birleştirilmesi, 56-61
 rafların oluşturduğu, 63, 64
 tekil, 36, 84, 92, 107
yük – sınıf sistemi, 25, 26, 35
yüzen master, 268
yüzey bitirme, 287
 sırası, 290
 yöntemleri, 291, 293
yüzeyde kabarma, 397
yüzeyden parça kopması, 401
yüzey düzeltililebilirliği, 248-250, 272
yüzey düzeltme ekipmanları,288
 masterlama, 288

perdahlama, 289
 malalama, 289
yüzey düzgünlüğü, 298, 309, 322
 belirlenmesi, 299, 310
 alman sistemi, 307
 düz kenarlı çubuk, 306
 F sayı sistemi, 299
 TR 34 sistemi, 305
etkileyen faktörler, 308
ölçülmesi, 307
yüzey onarımı, 418
yüzey sertleştiricileri, 317, 415
yüzey yataylığı, 298-310

Z
zemin, 65
 eşdeğer elastisite modülü, 69
 sınıflandırılması, 75-78
 taşıma gücü, 38-40, 65-84
zemin betonları, 1
 işlevleri, 1
 performans kriterleri, 2
 sınıflandırma, 5,6
 tasarım, 54
 tasarımda temel ilkeler, 1
zemin desteğinin kaybı, 413
zemin iyileştirilmesi, 81-83
zemine oturan plakların davranışı, 378-395
 deneysel ve teorik sonuçların karşılaştırılması,
 380-384, 390-393
zımbalama, 166-172, 187
zımparalama, 293, 319