



THBB AKADEMİ

TEKNİK BÜLTEN

13

ÖZEL KONU

***TS 13685 Kapsamında
Karot Numunelerinin Dayanım Hesaplaması İçin
Düzeltilme Faktörleri***

TÜRKİYE HAZIR BETON BİRLİĞİ YAYINIDIR.
Aralık, 2023

Karot Numunelerinin Basınç Dayanım Hesaplaması İçin Düzeltme Faktörleri

Giriş

“TS 13685: Basınç dayanımının yapılar ve ön-dökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini – TS EN 13791’in uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart” 2023 yılının Kasım ayında güncellenerek TSE tarafından yayımlandı. Bu standardın en önemli özelliği hem TS EN 13791’de hem de kılavuzu niteliğindeki TSE CEN/TR 17086’da yer almayan düzeltme faktörlerini içermesidir. Yeni güncellemede eşdeğer yaş kavramının düzeltme faktörlerine dahil edilmesi, TS EN 13791’de belirtilen olgunluk şartının daha net bir şekilde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

1. Fazla hava boşluğu için düzeltme işlemi

Laboratuvar ortamında uygun bir şekilde hazırlanmış numuneler gibi yeterli şekilde sıkıştırılmış beton numuneler, tipik olarak %0,5 civarında sıkışmış hava içerir. Yapıdaki betonda ise sıkıştırma oranı laboratuvar ortamındaki gibi sağlanamadığı için alınan birçok numunede daha fazla hava boşluğu bulunmaktadır. Fazla hava boşluğu oranı, betonun basınç dayanımını tam olarak sıkıştırılmış betonun dayanımına göre belirli oranlarda azaltmaktadır. Karot numunelerdeki hava boşluğunun belirlenmesi için TS EN 480-11 Standardına bakılmalıdır.

%0,5 ila %2,5 aralığındaki hava boşluğu sertleşmiş betonda normal değerler olarak dikkate alınmalıdır. Fazla hava boşluğu için yapılacak düzeltme sadece potansiyel dayanımın gerekli olduğu yerlerde yapılmalıdır.

Tam olarak sıkıştırılmış bir betonun yerindeki küp veya silindir dayanımı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanmaktadır:

$$f_{is,küp\ veya\ sil,düzeltilmiş,sıkıştırılmış} = K_v \times f_{is,küp\ veya\ sil,düzeltilmiş,sıkıştırılmış}$$

Burada; K_v düzeltme faktörü Tablo 1’de verilmiştir. Hava boşluğu içeriğinin, %2,5 değerini geçtiği aşığı durumda, yapıdaki tam sıkıştırılmış betonun küp dayanımı ve akabinde hesaplanan potansiyel dayanımı güvenli olarak kabul edilmemelidir. %2,5’den yüksek hava boşluğu, betonun uygun şekilde sıkıştırılmadığının bir göstergesidir.

Fazla hava boşluğunun etkisi bakımından iki belirsizlik ortaya çıkmaktadır. Bunlar:

1. Fazla hava boşluğunun belirlenmesidir ve ölçüm yolu ile belirlenmeyip, referans numunelerle karşılaştırarak belirlendiği takdirde öznel bir değer olarak kabul edilmektedir. Karşılaştırma yoluyla gelecek olan belirsizlik, hava boşluğunun birden fazla numune üzerinde belirlenmesi ve ortalama değer kullanılması ile en aza indirilebilmektedir.
2. Hava boşluğu ve dayanım azalması arasındaki ilişki ile ilgilidir. Tablo 1’de verilen değerler hava boşluğu için verilen ortalama değerlerdir. Bu konu ile ilgili belirsizlik henüz bilinmemektedir.

Tablo 1. Fazla hava boşluğu için düzeltme katsayısı, K_v

Belirlenen hava boşluğu	Yerindeki küp dayanımı için düzeltme katsayısı, K_v
0,0	1,00
0,5	1,03
1,0	1,06
1,5	1,09
2,0	1,12
2,5	1,15
3,0	1,18 ^{a)}
3,5	1,21 ^{a)}
4,0	1,24 ^{a)}
4,5	1,27 ^{a)}
5,0	1,30 ^{a)}

^{a)} Bu değerler dikkatli şekilde değerlendirilmelidir. Fazla hava boşluğu a olmak üzere $K_v = 0,06 \times a + 1$ eşitliği de kullanılabilir.

2. Kür işlemi için düzeltme

Bu faktör kullanılarak, betonun gözenekli yapısı ve sonunda ulaştığı dayanım üzerinde sıcaklık etkisi veya beton taze iken vibrasyon sonucu içsel su hareketleri gibi diğer faktörler ile birlikte betonun kür geçmiş dikkate alınmaktadır.

Kür işleminin etkileri karmaşık olmakla birlikte aşağıdakileri içermektedir:

- Beton sıcaklığı başlangıçtaki ilk birkaç saat boyunca düşükse nihai dayanım artar,
- Beton sıcaklığı başlangıçta ilk birkaç saat boyunca yüksek ise nihai dayanım azalır,
- Hidratasyon ısı veya hızlandırılmış kür işlemi nedeniyle betonun ulaştığı en yüksek sıcaklık çok yüksek olursa, erken dayanım artış gösterir, ancak uzun dönemdeki dayanımı düşer.
- Normal durumlar için olgunluk bağıntıları geçerli olup burada listelenen etkileri yansıtmayabilir.

Kür işlemi ile ilgili tüm etkileri kapsayan tek bir faktör bulunmamaktadır. Betonun sıcak bir günde yerleştirilmesi, kütle betonu olarak yerleştirilmesi veya hızlandırılmış kür işlemi uygulanması gibi durumlar nedeniyle kür işleminin dayanım üzerinde önemli etkisi olabilmektedir. TS 13685'de, karot numune alma konumları ile ilgili verilen öneriler takip edildiği sürece, birçok duruma ait kür etkileri düşük veya orta seviyede kalmaktadır. Bu konuda "Olgunluk için düzeltme katsayısı" bölümünde belirtilen öneriler takip edilmelidir. En az dört adet karot numunenin konumları dikkatli şekilde belirlendiğinde vibrasyon etkileri ihmal edilebilmektedir.

3. Olgunluk için düzeltme katsayısı, F_r

Betonda çimentonun hidratasyonu için yeterli miktarda su olduğu sürece, beton dayanımı zamanla artmaya veya gelişmeye uzun yıllar boyunca devam etmektedir. Dayanım kazanma oranı büyük ölçüde beton sıcaklığına bağlıdır. Belirli bir beton için basınç dayanımı, sıcaklık ve kür süresi arasındaki ilişki, uygun bir olgunluk fonksiyonu kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Olgunluk ile ilgili ayrıntılı bilgi için TS 13508'e bakılmalıdır.

Potansiyel dayanımın belirlenmesi için, 20°C kür sıcaklığında 28 günlük eşdeğer olgunluğa sahip beton numunelerin deneye tabi tutulmasıyla belirlenen dayanımlar dikkate alınarak gerekli düzeltmeler yapılmalıdır.

Kullanılan çimento veya bağlayıcı kombinasyonunun tipine bağlı olarak, uygun bir olgunluk fonksiyonu belirlenmelidir. Beton imalatçısı, incelenen beton için standart şartlar altında dayanım gelişim oranı ile ilgili bilgiyi sağlamalıdır. Bu bilgiden yola çıkılarak dayanım ve olgunluk arasındaki ilişki kurulmalı ve bu ilişki ile betonun 28 günlük potansiyel dayanımına dönüştürülmesinde kullanılacak katsayı (F_v) belirlenmelidir. Dayanım gelişim oranının bilinmediği durumlarda, olgunluk için düzeltme katsayısı 1,0 olarak alınmalıdır.

Karotların sıcaklık geçişinin belirlenmesi zor bir işlem olmakla birlikte karotların deneyler esnasındaki olgunluklarının belirlenmesine ihtiyaç duyulmaktadır. Döşeme betonları gibi yalıtım veya koruma yapılmamış ince kısımlar için karotların alımına kadar geçen süre içindeki olgunluk, ortalama hava sıcaklığına bağlı olmaktadır. Kalın kısımlar veya yalıtımlı veya korumalı kısımlar ile hızlandırılmış küre tabi tutulan kısımlar, hidrasyon ısı veya hızlandırılmış kür nedeniyle ortam sıcaklığından daha yüksek sıcaklık artışına maruz kalırlar ve sonuç olarak deneye tabi tutulan karotların olgunlukları daha yüksek değerlerde olur. Deneye tabi tutulan karotların olgunlukları, ısıl modelleme veya karşılıklı mutabakat ile belirlenecek bir başka yöntemle belirlenebilmektedir.

3.1. Eşdeğer yaş kavramı

TS EN 13791 Madde 9 kapsamında yapıdan deneyler esnasında, alınan karot numunelerinin deney esnasında asgari olarak (28 gün x 20°C) olgunluk değerine ulaşması gerekmektedir. Daha düşük olgunluktaki numunelerin değerlendirilmesi standarda uygun olmamaktadır. Özellikle soğuk hava koşullarının hâkim olduğu dönemlerde (hava sıcaklığının 20°C'den düşük olduğu dönemler) kütle betonu dışında kalan, döşeme ve kolon betonları gibi yalıtım veya koruma yapılmamış ince kesitler için hava sıcaklığı, betonun dayanım gelişimi için son derece önemli bir parametredir. Hava sıcaklık ortalamasının 20°C üzerinde olduğu dönemlerde olgunluk açısından bir sorun yaşanmamakta, altında olduğu dönemlerde ise yeterli olgunluğa ulaşmamış betonlardan yerinde karot alınması durumunda betonun karot değerlendirmesi hatalı olmaktadır. Bu durumu net olarak gösteren bir çizelge Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda görüleceği gibi, kür sıcaklığı 12°C iken beton, 56,4 MPa değerine yaklaşık 32 günde ulaşılırken; kür sıcaklığı 23°C olduğu durumda 57,1 MPa değerine yaklaşık 21 günde ulaşmaktadır. Aradaki fark yaklaşık 11 gündür. Bu eşdeğer yaşın hesaplanmasında aşağıdaki Arrhenius bağıntısından yararlanılmaktadır. TS 13508, Madde 4.3'de belirtilen bağıntı aşağıda belirtilmiştir:

$$t_e = \sum e^{-Q \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_s} \right) \Delta t}$$

Burada;

t_e = Betonun, belirli bir T_s sıcaklığındaki eşdeğer yaşı (gün veya saat)

Q = Üniversal gaz sabitine ($R=8,314$ J/mol/K) bölünmüş aktivasyon enerjisi (mol K)

T_a = Belirli zaman aralıklarında (Δt) betonun ortalama sıcaklığı (°C)

T_s = Seçilen sıcaklık (°C)

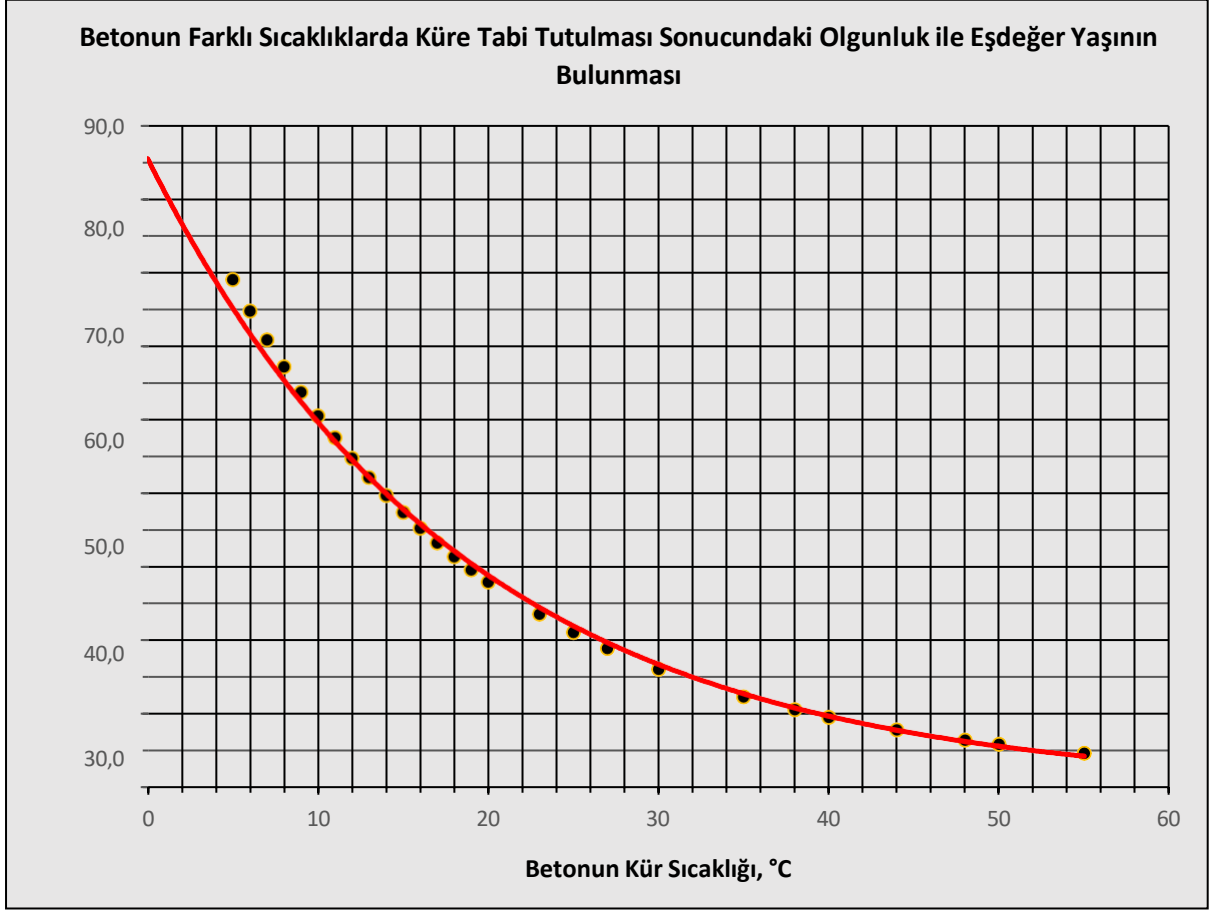
Δt = Zaman aralığı (gün veya saat)

Farklı sıcaklıklara maruz kalan özellikle ince kesitli betonların, normal şartlarda (20°C'de 28 gün) ulaştığı olgunluğa erişmesi için geçmesi gerekli süreler, yukarıda verilen bağıntı yardımı ile hesaplanmış ve aşağıdaki Tablo 2'de verilmiştir. Özellikle 20°C'den daha düşük sıcaklıklarda bulunan betonların, normal şartlarda ulaştığı olgunluk değerine daha uzun sürelerde ulaştığı görülmektedir.

Tablo 2. Farklı sıcaklıklara maruz kalan betonların aynı olgunluğa erişmeleri için gerekli eşdeğer yaşları.

T_a	T_s	Δt	Q (K)	t_e
Betonun Δt zaman aralığında maruz kaldığı sıcaklık, (°C)	Referans Sıcaklık, (°C)	T_a sıcaklığında zaman aralıkları, (gün)	Çimentonun Aktivasyon Enerjisi/Gaz Sabiti	Betonun T_s sıcaklığındaki eşdeğer yaşı, (gün)
55	20	1	4900	4,7
50	20	1	4900	5,9
48	20	1	4900	6,5
44	20	1	4900	7,9
40	20	1	4900	9,6
38	20	1	4900	10,6
35	20	1	4900	12,4
30	20	1	4900	16,1
27	20	1	4900	19,0
25	20	1	4900	21,1
23	20	1	4900	23,6
20	20	1	4900	28,0
19	20	1	4900	29,7
18	20	1	4900	31,4
17	20	1	4900	33,3
16	20	1	4900	35,3
15	20	1	4900	37,4
14	20	1	4900	39,7
13	20	1	4900	42,2
12	20	1	4900	44,8
11	20	1	4900	47,6
10	20	1	4900	50,6
9	20	1	4900	53,8
8	20	1	4900	57,2
7	20	1	4900	60,9
6	20	1	4900	64,8
5	20	1	4900	69,0

Burada hesaplamalarda kullanılan çimentonun aktivasyon enerjisi, ortalama bir değer olarak 40,74 kJ/mol olarak dikkate alınmış olup, bu değer, katkı çimentolar için de yaklaşık bir değer olarak kullanılabilir. Bu nedenle, yapılardan karot alınması esnasında betonun normal şartlar altında (20°C'de 28 gün) ulaştığı olgunluğa erişmesi için maruz kaldığı sıcaklıktaki eşdeğer yaşta karot alınması önemli olmaktadır. Beton yapı elemanı 15°C'de uzun süre kür şartlarına maruz kaldığında en az 37,4 gün sonunda karot alınması ile gerçek 28 günlük dayanıma ulaşabilecektir. Beton yapı elemanı 10°C'de kür edildiyse bu durumda 50,6 gün sonunda normal şartlarda kür edilmiş betonun mukavemet değerine ulaşabilecektir.



Şekil 1. Tablo 2’de verilen düzeltme katsayısı verileri grafiği

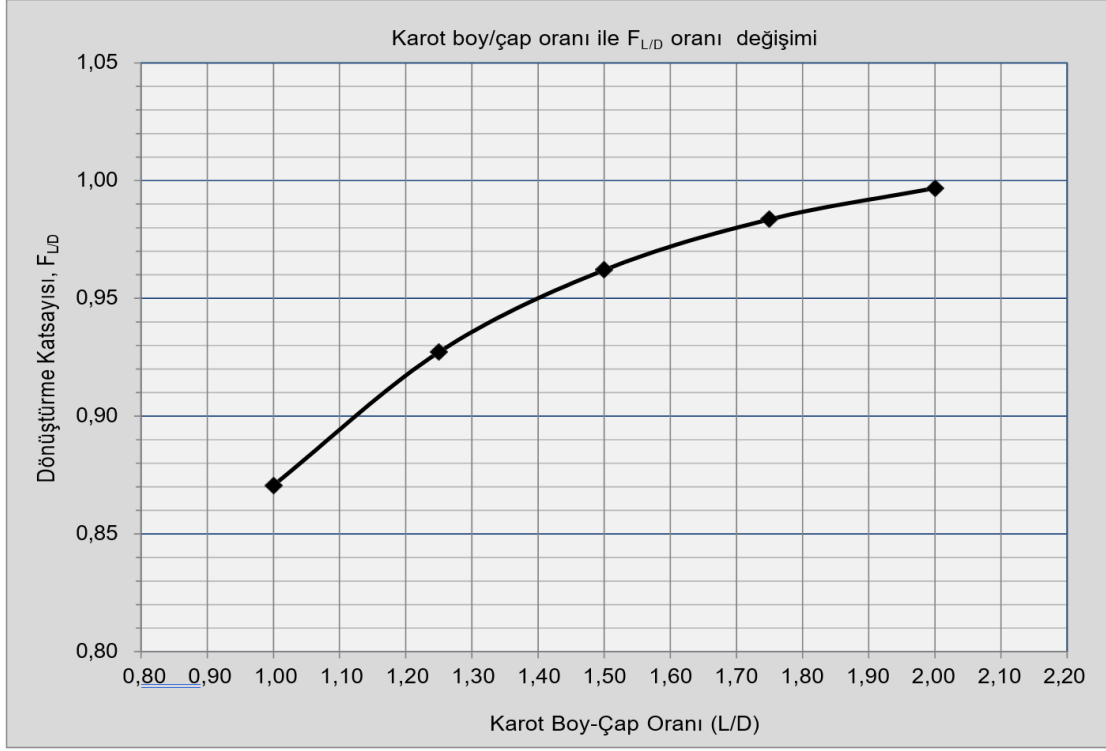
4. Karotun boy/çap oranına bağlı düzeltme katsayısı, $F_{L/D}$

Boy/çap oranı 1,0 ile 2,0 arasında olan karot numune dayanımının, boy/çap oranı 2 olan karot numune dayanımına dönüştürme katsayıları Tablo 3’te verilmiştir. Şekil 2’de gösterilen bu değerler üzerinde yapılan değerlendirilme sonucunda aşağıdaki bağıntı elde edilmektedir.

Boy/çap oranı 1,0 olan numunenin dayanımı 2,0 olana göre daha yüksek çıkmaktadır. Bunun nedeni narinlik etkisidir. Boy/çap > 1 olan karotlarda dayanım azalmakta ve boy/çap < 1 olan karotlarda ise yükselmektedir. Bu durum, narinlikten ve esas olarak basınç deney makinesi yükleme plakalarındaki sürtünme sebebiyle oluşan kısıtlamadan kaynaklanmaktadır.

Tablo 3. Karotun boy/çap oranına göre düzeltme katsayısı, $F_{L/D}$

Boy/çap oranı	$F_{L/D}$
1,00	0,85
1,25	0,90
1,50	0,94
1,75	0,97
2,00	1,00



Şekil 2. Tablo 3'te verilen düzeltme katsayısı verileri grafiği

Boy/çap oranına göre düzeltmede daha farklı L/D oranları için kullanılması gerekli matematiksel bağıntı aşağıdaki gibi elde edilmektedir:

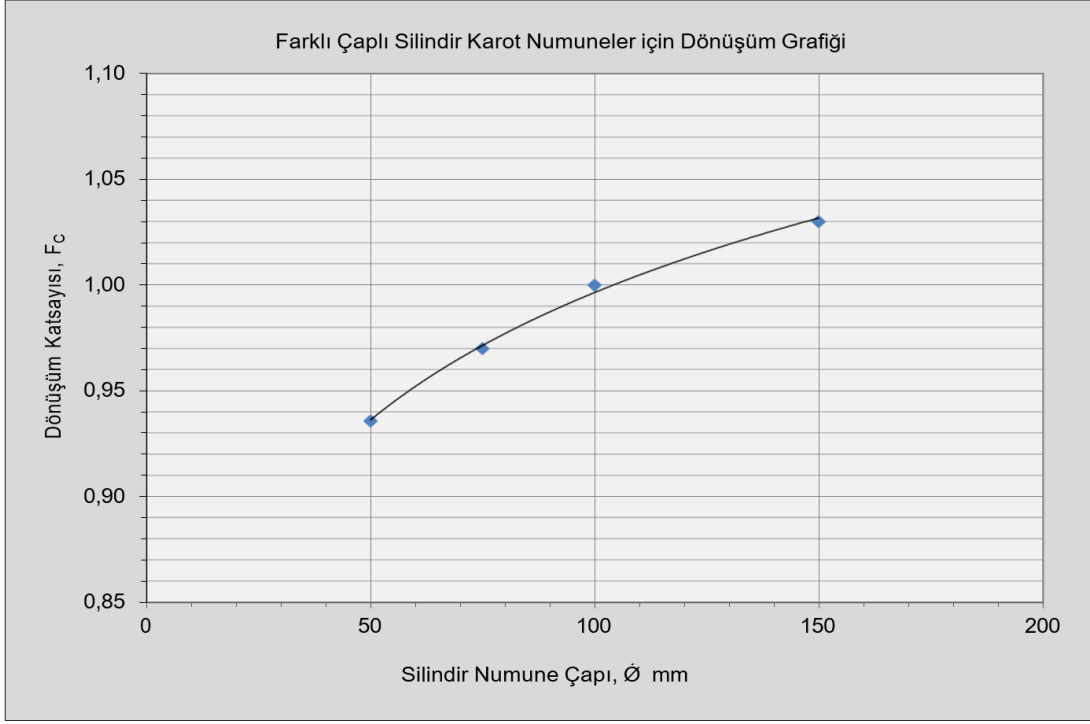
$$F_{L/D} = 1,0182 \times [1,0 - e^{-1,93114 \times (\frac{L}{D})}]$$

5. Karot Numune çapına bağlı düzeltme katsayısı, F_c

Farklı çaplardaki karot numunelerin aynı boy/çap oranında, ancak 150 mm çapında silindir numune dayanımına dönüştürülmesi için düzeltme katsayıları Tablo 4'te verilmiştir.

Tablo 4. Numune çapı düzeltme katsayıları, F_c

Numune çapı, mm \emptyset	150 mm çapındaki silindir numune dayanımına dönüştürme katsayısı, F_c
50	0,93
75	0,95
100	1,00
150	1,02



Şekil 3. Tablo 4'te verilen düzeltme katsayısı verileri grafiği

Karot numune çapı 150 mm'den küçük veya büyük olduğunda 150 mm çaplı standart numune çapına dönüştürülmesi için kullanılacak matematiksel bağıntı aşağıda verilmiştir:

$$F_c = 0,087 \times \ln(Q) + 0,5958$$

6. Karot numune rutubetine bağlı düzeltme katsayısı, F_R

Karotlar alındıktan hemen sonra kuru bir bezle silinmeli ve yüzeyinin kuruması için bir süre beklenmelidir. Yüzeyi kurutulan karotlar, alınmalarından yaklaşık 1 saat sonra, bir plastik poşet veya rutubet almayan kutu içine konularak rutubetlerini tamamen kaybetmeleri önlenmelidir.

Karotlar çevre ortamı sıcaklığında bekletilmeli ve doğrudan güneş ışığından korunmalıdır. Karotlar, çok fazla süre geçirilmeden bir an önce deney laboratuvarına gönderilmelidir. Karot numuneler, sadece deneye hazırlama ve başlıklama işlemi için toplam olarak 2 saati geçmemek üzere veya deney süresi hariç olmak üzere, diğer zamanlarda sürekli olarak plastik poşetler içinde veya kutular içinde bekletilmelidir. Karot numuneler herhangi bir işlem nedeniyle ıslatıldığında, rutubet değişimlerinin kararlı hale getirilmesi amacıyla plastik poşetler içerisinde veya kutularda, deneyden önce en az 5 gün süreyle bekletilmelidir.

Karot numuneler deneye alınmadan önce laboratuvarda en fazla 48 saat su içinde bekletilmeli ve doymuş kuru yüzey (DKY) durumunda deneye tabi tutulmalıdır.

DKY durumunda ve farklı durumlarda deneye tabi tutulan karotlarla ilgili rutubet düzeltme katsayıları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Karot numunede rutubet düzeltme katsayısı, F_R

Karot numune rutubet durumu	F_R
Yapıdan alındığı haldeki durum	1,00
En az 48 saat suda bekletilmiş durum	1,10
Hava kurusu durum	0,96

Karot numunelerin farklı kür şartlarına tabi tutulmaları ve deney anındaki rutubette oluşan farkların, dayanımlarda kayda değer oranda değişmeye sebep olduğu gösterilmiştir. Hava kurusu olarak deneye tabi tutulan karot numunelerin dayanımları su içerisinde bekletilerek ıslak halde deneye tabi tutulanlara göre %10 ile %14 arasında daha yüksek çıkmıştır. Islak halde deneye tabi tutulan karot dayanımlarının düşük çıkması karotun özelliklerine bağlıdır. Numune geçirimsiz olduğunda dayanım düşüşü daha az gerçekleşmektedir. Su içinde bekletme süresi 48 saati aştığında dayanımdaki düşme daha fazla olmaktadır.

7. Karot numune içerisinde donatı bulunmasına bağlı düzeltme katsayısı, F_D

Mümkün olduğu sürece, karot numuneler içerisinde donatı bulunmaması sağlanmalıdır. Karot numune içindeki donatı, karot dayanımını etkilemektedir. Karot içerisinde donatı bulunmasından kaçınılamadığı durumlarda, donatı hacmi karot hacminin %5'ini geçmemelidir. Bu durumda herhangi bir düzeltme yapılmasına gerek yoktur.

Karot içindeki donatıyı kaldırmak için gerektiğinde karot boyu boy/çap oranı en az 1,0 olacak şekilde kesilerek düzeltilmeli ve bunun mümkün olmadığı durumlarda, donatı karot hacminin %5'ini geçtiğinde numune iptal edilerek deneye alınmamalıdır. Karot boyuna eksenine dik konumda bulunan bir demir donatı ile birlikte deneye tabi tutulan karotlarda, potansiyel dayanım için aşağıdaki bağıntı ile hesaplanan düzeltme katsayısı (çarpan) uygulanmalıdır:

$$F_D = 1,0 + 1,5 \times \left(\frac{\varphi_r}{\varphi_c} \times \frac{h}{L} \right)$$

Burada,

φ_r = Demir donatının çapı, mm

φ_c = Karotun çapı, mm

h = Karotun en yakın ucundan çubuğun eksenine olan uzaklık, mm

L = Karotun uzunluğu, mm

8. Karot alma esnasında oluşacak örselenmeye bağlı düzeltme katsayısı, F_H

Karot alınırken numunede oluşacak hasar tespit edilebiliyorsa düzeltme katsayısı Tablo 6'da verilen değer olarak alınabilir.

Tablo 6. Karot numunede, örselenme veya hasar nedeniyle düzeltme katsayısı, F_H

	F_H
Karot alma makinesinin tahribatı (örselenme veya hasar)	1,06

9. Karot dayanım sonuçlarının yerindeki dayanım değerine dönüştürülmesi

Karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen basınç dayanımlarının yapıdaki standart numunenin gerçek dayanıma dönüştürülmesi işlemi aşağıda verilen eşitliğe göre yapılmaktadır:

$$f_{is,sil,düzeltilmiş} = F_Y \times F_{L/D} \times F_C \times F_R \times F_D \times F_H \times f_{is}$$

Burada,

$f_{is, sil, düzeltilmiş}$	betonun yerindeki potansiyel dayanımı, (150x300 mm silindir numune)
f_{is}	karota ait düzeltilmemiş dayanım
F_Y	karota ait olgunluktan kaynaklanan yaş düzeltme katsayısı
$F_{L/D}$	boy/çap oranı düzeltme katsayısı
F_C	numune çapı düzeltme katsayısı
F_R	numunenin rutubet durumu düzeltme katsayısı
F_D	numune içerisinde donatı bulunması durumundaki düzeltme katsayısı
F_H	numune alınması sırasında örselenme nedeniyle düzeltme katsayısı

Bu faktörlerden bazılarının belirlenmesinin zor olması veya mümkün olmaması durumunda (örneğin yaş düzeltme faktörü) veya karşılıklı mutabakat sağlandığında kullanılması istenmeyen faktörler dikkate alınmayabilir.



www.thbb.org

www.thbbakademi.org

