

YAPILAR VE ÖNDÖKÜMLÜ BETON BİLEŞENLERDE KAROT BASINÇ DAYANIMLARININ VBA KODLAMA KULLANARAK DEĞERLENDİRİLMESİ

ASSESSMENT OF CORE COMPRESSIVE STRENGTHS IN STRUCTURES AND PRECAST CONCRETE COMPONENTS WITH VBA CODING IN SPREADSHEET PROGRAM

Aydın Sağlık*, Bülent Çağlar Özcan, Mehmet Emin Uyanık

Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi

Başkanlığı, Ankara

*aydinsaglik@dsi.gov.tr

Hasan Yıldırım

İTÜ İnşaat Fakültesi, İstanbul

Özet

Karot testi, beton ve betonarme yapılarda sertleşmiş betonun yerindeki dayanımının tayininde en çok tercih edilen tahribatlı veya doğrudan deney yöntemidir. İnşaat aşamasında veya yapımı henüz tamamlanmış bir yapının, beton veya betonarme elemanlarında yerinde basınç dayanımı bakımından tasarım gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığı hususunda şüphe edilmesi durumunda, karot alımına ve karotların basınç dayanım sonuçları bakımından uygunluk değerlendirmesinin gerçekleştirilmesine ihtiyaç duyulur. Bunun yanında, inşasından belirli bir zaman geçmiş mevcut yapıların kalite ve durabilite bakımından yapısal analizine ihtiyaç duyulduğunda yerinde karot alımına ve karot sonuçlarının değerlendirilmesine başvurulabilir. Bu çalışmada, beton yapı veya yapı elemanının yerinde basınç dayanımı hakkında şüphe duyulması durumunda alınan karot numunelere ait basınç dayanım sonuçlarının uygunluk değerlendirmesinin hızlı bir biçimde ve insan hatasını en aza indirgeyerek yapılabilmesi için VBA kodlama içeren tablolama programı tasarlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, Karot, Uygunluk Değerlendirme, VBA, Tablolama

Abstract

The core test is the most preferred destructive or direct method for determining the in-situ compressive strength of concrete and reinforced concrete structures. In case of doubt whether the concrete or reinforced concrete elements meet the design requirements in terms of in-situ compressive strength of a structure which is under construction or has just been constructed, there is a need for core taking and carrying out conformity assessment in terms of compressive strength results of cores. Besides, to evaluate the structural capacity of the existing or old structures, which have been built some time ago, based on the in-place concrete strength. conformity assessment is required in terms of

coring and compressive strength results of cores. In this study, in case of doubt about the in-situ compressive strength of the structure or structural component, a spreadsheet program with VBA coding was designed in order to make rapid conformity assessment of the compressive strength results of the concrete core samples by minimizing human error,

Keywords: Concrete, Core, Assessment of Conformity, VBA, Spreadsheet

1. GİRİŞ

Herhangi bir yapıdaki betonun, yapı tasarımına ait mukavemet gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığını tahmin etmede en etkili yöntem tahribatlı veya doğrudan uygulanan karot makinesi kullanarak beton veya betonarme yapı elemandan alınan karot numunesi üzerinde gerekli deneyleri gerçekleştirmektir. Beton yapılarda yerinde basınç dayanımının tayin edilmesine ihtiyaç duyulma nedenleri arasında bir deney bölgesinin yerinde karakteristik basınç dayanımını veya önceden belirlenen yerlerdeki yerinde dayanımını tahmin etmek; standart testlerin yetersiz kaldığı veya basınç dayanımı deney sonuçlarından şüphe edilmesi, yapım aşamasında bir yapıya tedarik edilen betonun basınç dayanımı sınıfının değerlendirilmesi ve kalitesi hakkında hüküm vermek; üretim kontrolü için alınan numunelerin uygunsuzluk beyanına yol açan yetersiz basınç mukavemeti, tanımlama testi için alınan numunelerin yetersiz basınç dayanımı vermesi veya işlerin yürütülmesi sırasındaki sorunlardan kaynaklı olabilir [1-4].

Özellikle, inşaat aşamasındaki yapıların beton ve betonarme elemanlarında beton basınç dayanımı bakımından proje veya tasarım gereksinimlerini karşılayıp karşılamadığı hususunda şüphe duyulabilir. Ayrıca, inşasından belirli bir zaman geçmiş yapı veya yapı elemanları betonlarında da basınç dayanımı bakımından değerlendirmeye ihtiyaç duyulabilir. Bu çalışmada, inşaat aşamasında alınan beton numune sonuçlarından şüphe oluşması durumu ve inşasından belirli bir zaman geçmiş mevcut yapılarda beton basınç dayanımlarının değerlendirilmesi durumu olan iki ayrı durumda; uygun karot numune alma prosedürü ve süreci işletildiği kabulü ile alınan karotların TS EN 13791 ve TS 13685'e göre değerlendirme işlemleri anlatılmaktadır. Bu makalede, karot basınç dayanım sonuçlarının değerlendirilmesi işleminin "Visual Basic for Applications" (VBA) kodlu tablolama programı ile gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Geliştirilen program TS EN 13791 standardı ile TS 13685'de ifade edilen karot ile numune alma yöntemi ile iki farklı yöntem olan genel değerlendirme ve münferit değerlendirme prosedürleri verilmiştir.

2. VBA KODLU TABLOLAMA PROGRAMI İLE KAROT SONUÇLARININ UYGUNLUK DEĞERLENDİRMESİ

2.1 Geliştirilen Programa Ait Genel Bilgiler

Geliştirilen program kullanım klavuzu, karot veri giriş sayfası, değerlendirme kısmı ve sonuç dağılımının gösterildiği sayfa olmak üzere 4 kısımdan oluşmaktadır. Bütün veriler Karot Veri Girişi sayfasından yapılmaktadır. Tüm girdi değerleri eksiksiz olarak girilip, verileri aktar tuşuna basılarak değerlendirme sayfasına veri aktarımı yapıldığında karot veri girişi ile değerlendirme sayfası arasında geçişler yapılabilmektedir. Verilerin başarılı şekilde aktarılması halinde program uyarı metni olarak verilerin aktarıldığını bildirmekte,

Beton 2023 Kongresi Bildirileri – 8/10 Kasım 2023

karot veri girişi sayfasında satır ekleme, çıkarma işlemleri yapılabilmekte ve programda en fazla 10.000 satıra müsaade edilmektedir.

Karot veri giriş sayfası; işin hangi kurum, kuruluşu ait olduğu bilgisi, müşteri/yüklenici bilgisi, ait olduğu proje adı, ortalama karot anma çapı, laboratuvar numarası, beton yapı elemanının tipi, en büyük agrega tane büyüklüğü ve değerlendirmeye tabi beton sınıfı gibi bilgilerin programa girildiği kısımdır. Beton sınıfı seçildikten sonra karakteristik dayanım (fck) değeri program ilgili alanında görülür. Agrega en büyük tane boyutu bilgisi girildikten sonra minimum karot çapı otomatik hesaplanmaktadır. Karar kuralının uygulanması için % 95 güven aralığında ölçüm belirsizliği % cinsinden ilgili alana girilir, program ölçüm belirsizliğinin negatif veya %10'dan büyük girilmesine izin vermemektedir. Ölçüm belirsizliğinin sıfır olarak girilmesi, karar kuralının uygulanmadığı durumdur. Program, karar kuralı kriterlerine göre yaptığı değerlendirme sonunda Durum 1, 2..5 gibi detaylar içermektedir. Ölçüm Belirsizliği girilmemişse değerlendirme sayfasına veri aktarımı yapılamamaktadır. Karar kuralının uygulanması için karar kuralı kabul yüzdesi girilir, karar kuralı kabul yüzdesi durum 2 için sınır değer yüzdesidir. Program % 49'dan büyük ve negatif değer girilmesine müsaade etmemektedir. Her bir satırda karot kodu, projedeki karot yeri, imalat türü, beton döküm tarihi, beton kırım tarihi, karot çapı, başlıklı karot boyu, başlıklama öncesi karot kütlesi, karotta donatı çapı, karotta donatı boyu, donatı eksenine olan mesafe, karota ait kırılma yükü, beton yaşı düzeltme faktörü, karot rutubet durumu faktörü ve karot alınma yönü faktörü, grubbs testi ile ön eleme, % 15'e göre eleme gibi birçok detaya program içerisinde yer verilmiştir. Tüm girdi değerleri eksiksiz olarak girildikten sonra verileri aktar tuşuna basılarak veri aktarımı yapılmaktadır.

Numune boy (D) düzeltilmesi		Numune boy (L) / Çap (D) düzeltilmesi		Karot numune rutubet durumu			Karot numune donatı durumu			Karot numune alma yönü		Karot ölçüm								
D çapı 50 mm'den daha az olarak numune değerlendirilmeye alınmaz; reddedilir. $F_{D>50} = 0.41327 \cdot (3.1692 - e^{-0.00202 \cdot D})$		Numune başlangıcından sonra ölçümler yapılmalıdır. L/D oranı 1.5:2.0 arasında (veya numune etrafında uygunluk ve L/D için düzeltme yapılır. Aksi durumda numune değerlendirilmeye alınmaz; reddedilir. $F_{L/D} = 1.0182 \cdot (1 - e^{-1.94114 \cdot L/D})$		1- Yaptan alındığı gibi durum ($F_{r=1.00}$) 2- En az 48 saat suya beletilmiş durum ($F_{r=1.09}$) 3- Hava kurusu (DKY durumundaki data kurusu) ($F_{r=0.96}$)			Karot numune donatı varsa ve donatı hacmi karot hacmine %50'i aşıyorsa, numune deneye ve değerlendirilmeye alınmaz; reddedilir. $F_{Don} = 1.0 + 1.5 \cdot \left(\frac{A}{D} \cdot \frac{h}{L}\right)$			1- Beton döküm yönüne dik ($F_{r=1.00}$) 2- Beton döküm yönüne paralel ($F_{r=1.00}$)		Beton karot numune maksimum kabul edilebilir belirsizliği (F_r)								
DAİRE BAŞKANLIĞI / BÖLGE MÜDÜRLÜĞÜ (seçiniz) DSİ 4. Bölge Müdürlüğü - Konya - ŞUBE MÜDÜRLÜĞÜ (seçiniz) Kalite Kontrol ve Laboratuvarı																				
MÜŞTERİ / YÜKLENCİ ADI (girişiniz) LABORATUVAR NUMARASI 2-...																				
Proje Adı (girişiniz) Beton Yapı Elemanının Tipi (seçiniz) Diğer																				
Proje Bilgileri Beton sınıfı (seçiniz) C20/25 - Beton sınıfı karakteristik dayanım f_{ck} (MPa) 20																				
SATIR EKLE SATIR KALDIR TEMİZLE VERİLERİ AKTAR																				
Sıra No	Karot Kodu	Projedeki Karot Yeri (Deney Bölgesi)	İmalat Türü	Beton Döküm Tarihi	Beton Kırım Tarihi	Beton Yaşı (Gün)	Karot Çapı, D (mm)	Başlıklama Karot Boyu, L (mm)	Boy/Çap Oranı	Başlıklama Sonrası Karot Kütleli (kg)	Beton Birim Hacim Kütlesi, ρ_{bet} (kg/m ³)	Karotta Donatı Çapı, ϕ (mm)	Karotta Donatı Boyu (mm)	Donatı Eksenine Olan Mesafe, h (mm)	Karotta Donatı Hacmi (cm ²)	Donatı Hacmi Oranı (%)	Karotta Ait Kırılma Yükü (kN)	Beton Yaşı Düzeltme Faktörü, F_{ya}	Beton Tipi Düzeltme Faktörü, F_{bt}	Karot E Düzeltme Faktörü, F_{ed}
1	1.1	Km-0-474.14 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.90	105.87	1.119	1743.00	2395.51	14.00	65.24	34.88	10.84	1.38	147.70	21.3	1.000	0.90
2	1.2	Km-0-474.14 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.63	106.17	1.134	1737.00	2376.17	14.00	61.95	14.90	9.54	1.30	120.60	17.5	1.000	0.90
3	1.3	Km-0-474.14 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	94.21	104.77	1.112	1678.00	2297.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	127.00	18.2	1.000	0.89
4	2.1	Km-0-755.06 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	94.83	103.83	1.095	1674.00	2282.71	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	145.20	26.6	1.000	0.89
5	2.2	Km-0-755.06 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.90	104.84	1.117	1680.00	2313.99	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	150.20	21.7	1.000	0.90
6	2-3	Km-0-755.06 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	94.06	103.12	1.096	1724.00	2405.99	14.00	88.10	12.36	13.56	1.89	139.80	20.1	1.000	0.89
7	4.1	Km-0-324.82 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.90	101.90	1.085	1657.00	2348.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	111.20	16.1	1.000	0.89
8	4.2	Km-0-324.82 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.71	98.70	1.053	1588.00	2332.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	152.70	22.1	1.000	0.88
9	4.3	Km-0-324.82 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.90	101.21	1.078	1640.00	2339.91	14.00	49.38	6.20	7.69	1.08	129.20	18.7	1.000	0.88
10	4.4	Km-0-324.82 Menfez	Menfez Betonu	22.07.2022	27.10.2022	97	93.62	103.08	1.088	1731.00	2493.68	14.00	87.36	9.26	47.48	4.08	145.60	16.4	1.000	0.88
Kullanım Klavuzu Karot Veri Girişi Değerlendirme Numune Dağılımı																				

Şekil 1. Program karot veri girişi sayfasının bir kısmına ait görsel

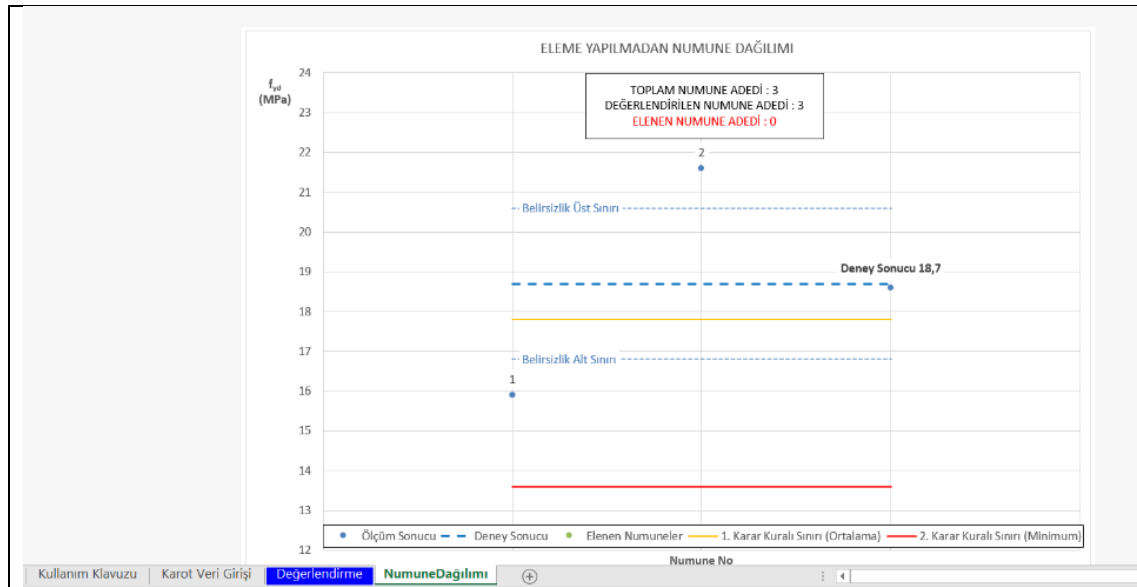
DSİ Laboratuvarları DOKÜMANIN ADI																								
Betonada Alınan Karot Numunelere Ait Basınç Dayanımı Uygunluk Değerlendirme Formu																								
Daire Başkanlığı / Bölge Müdürlüğü - Şube Adı		Proje Adı																						
Müşteri / Yüklenici Adı		Nigde Merkez Azatlı Kasabası Kulluçe Deresi 2. Kısım İmalatı																						
Beton Sınıfı		C20/25		Beton Tipi		Diğer		1. ve 2. Kriterler İçin Karar Karar Durumları		20		DEĞERLENDİRME DAĞILIMI		Adet		L ₅₀ (MPa)		L ₁₀₀ (MPa)						
% 95 Güven Seviyesinde Ölçüm Belirsizliği (%)		1.10		Agrega Max. Tane Büyüklüğü (mm)		25		Durum 1 (KARUL)		Durum 2 (1-5/30) (RET)		Durum 4 (RET)		Değerlendirme Oranları		3		18,7		15,9				
Karar Kuralına Göre Kabul Yüzdesi (%)		30		Ortalama Karot Anma Çapı (mm)		94		Durum 2 (1-5/30) (KARUL)		Durum 3 (RET)		Durum 5 (RET)		Değerlendirme Sonuçları		3		18,7		15,9				
HAYİR EVET																								
1 Karot numuneler deneyden önce herhangi bir kür işlemine tabi tutulmuştur.																								
2 Karot numunelerin donatı içermektedir.																								
3 Karot numuneler içerisinde kusurlu numune bulunmamaktadır.																								
4 Tahribatsız müzayene teknikleri kullanılmıştır.																								
5 Standart yöntemden herhangi bir sapma mevcuttur.																								
6 Basınç dayanım sonuçları DSİ TARK Dairesi Başkanlığı T 0 16 05 52 No'lu talimatına göre değerlendirilmiştir. Bu talimat ve değerlendirme TS EN 13791, TS 13885 ve ACI 214.4R esas alınarak hazırlanmıştır.																								
Sıra No	Karot No	İmalat Türü	Karot Yeri (Deney Bölgesi)	Beton Döküm Tarihi	Karot Kırılma Tarihi	Beton Yaşı (Gün)	Karot Çapı (mm)	Başlıklama Karot Boyu (mm)	Karot Boy/Çap Oranı	Karot Numune Durumu	Beton Birim Hacim Kütlesi (kg/m ³)	Karot Kırılma Yükü (kN)	Numune Kesit Alanı (mm ²)	Karot Basınç Dayanımı (MPa)	Beton Yaşı Düzeltme Faktörü	Boy/Çap	Çap	Donatı	Rutubet	Karot Yönü	Oranlaşma	Dizellenmiş Karot Basınç Dayanımı (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	1. Kriter Karar Kuralı
1	4-1	Menfez Betonu	Km-0-324.82 Menfez	22.07.2022	27.10.2022	97	93.9	101.9	1.085	Uygun	2348.2	111.20	6925	16.1	1.00	0.89	0.96	1.00	1.00	1.00	1.06	15.9	18.7	Durum 2 (%26) ✓
2	4-2	Menfez Betonu	Km-0-324.82 Menfez	22.07.2022	27.10.2022	97	93.7	98.7	1.053	Uygun	2332.8	152.70	6887	22.1	1.00	0.89	0.96	1.00	1.00	1.00	1.06	21.6	18.7	Durum 2 (%26) ✓
3	4-3	Menfez Betonu	Km-0-324.82 Menfez	22.07.2022	27.10.2022	97	93.9	101.2	1.078	Uygun	2339.9	129.20	6925	18.7	1.00	0.89	0.96	1.01	1.00	1.00	1.06	18.6	18.7	Durum 2 (%26) ✓

Şekil 2. Programın değerlendirme sayfasının bir kısmına ait görsel

Değerlendirme formu veya kısmı; karar kuralının uygulanması için betondan alınan karot numunelere ait basınç dayanımı uygunluk değerlendirme formunda 1. kriter ve 2. kriter sütunları bulunmaktadır. Bu kriterlere ait bilgiler bildirinin devam eden kısmında belirtilmiştir. Numuneleri her bir yapı elemanında ayrı ayrı değerlendirmek için münferit değerlendirme seçeneği, tüm yapıyı veya birden fazla yapı elemanını genel olarak değerlendirmek için genel değerlendirme seçeneği bulunmaktadır. Genel değerlendirme yöntemi, bildirinin devamında anlatıldığı üzere beton sınıfının bilinip bilinmediği duruma göre yerinde karakteristik basınç dayanımının tayini bakımından farklılık göstermektedir. Değerlendirme kriterleri TS EN 13791 ve TS 13685 Standartlarına uygun biçimde oluşturulmuştur.

Programda değerlendirme öncesi, ortalama karot deney sonuçlarından %15'ten fazla sapan deney sonuçlarının elenmesi veya önceden tayin edilebilir bir yüzdeye göre eleme işlemi otomatik olarak yapılabilmektedir. Eleme yapılmadan da değerlendirme yapma özelliği de bulunmaktadır. Elenen sonuçlar, programda mesaj bildirimi ile birlikte kırmızı renkte gösterilmektedir.

Elenen numuneler için değerlendirme sonrası, 1. ve 2. kriter sütunlarına "değerlendirme dışı" ve değerlendirme sütununa "elendi" ifadeleri görülür. Birinci kriter, ortalama basınç dayanımı (fcm) ve deney sonucu sayısına bağlı olarak karakteristik dayanım (fck) değeri ile hesaplanan sınır değerden büyük veya eşit olması, ikinci kriter ise minimum basınç dayanımının (fc,min) TS EN 13791 standardında ve bildirinin devamında da verilen formüllere göre karakteristik dayanım (fck) değeri kullanılarak hesaplanan sınır değerden büyük veya eşit olmasıdır. Bu iki kriterden biri sağlanmıyorsa, ilgili beton yerine ait numuneler 'uygun değil' biçiminde değerlendirilir. 1. ve 2. kriterde karar kuralı kullanılır. Ortalama ve minimum dayanımlar hesaplanan uygunluk durumuna (durum 1, 2, 3, 4 ve 5) göre renklendirilir. Durum 1 (%0), durum 2 (%0-49), durum 3 (%50), durum 4 (%51-100) ve durum 5 (%100) olarak gösterilir. Durum 1 ve durum 2 (%0-5) kabul edilir (uygun) ve 1. ve 2. kriter sağlansa bile durum 2 (%6-49), durum 3, durum 4 ve durum 5 ret edilir (uygun değil). Sonuçlar sorumlu mühendisin değerlendirmesine göre münferit veya genel olarak değerlendirildikten sonra çıktısı alınarak, rapor edilebilmektedir.



Şekil 3. Program numune sonuç dağılımı sayfasının bir kısmına ait görsel

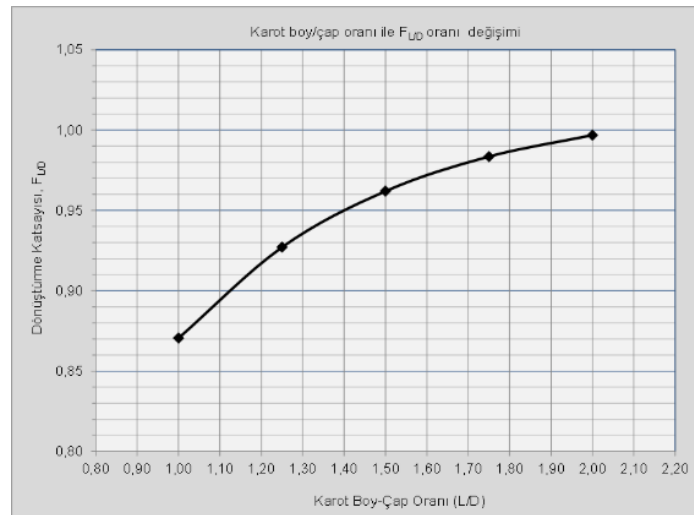
2.2. Değerlendirme İşleminde Programa İşlenen Karot Düzeltme Faktörleri

TS EN 13791 standardının tamamlayıcı standardı olan TS 13685’de de belirtildiği üzere beton karot dayanımı bazı düzeltme faktörlerine tabi tutulmaktadır [2]. Beton karotun ölçülen dayanımı, betonun olgunluğu, numunenin boy/çap oranı, çapı, deney esnasındaki rutubet durumu, içinde donatı bulunup bulunmadığı, donatının konumu ve karot alma yönü gibi unsurlara bağlı olarak değişkenlik göstermektedir [2,3,5,6].

Olgunluk veya yaş düzeltme katsayısı; betonun kür ve yaş geçmişine göre bir düzeltme katsayısı hesaplanması olasılığı düşünülerek programa katsayı değerinin girilebileceği bir hücre oluşturulmuştur. Boyut düzeltme katsayısı; boy/çap oranı 1,0 ile 2,0 arasında olan numune dayanımını boy/çap oranı 2 olana dönüştürme katsayıları Tablo 1’de, farklı çaplardaki karot numunelerin aynı boy/çap oranında ancak 150 mm çapında silindirik numune dayanımına dönüştürülmesi için düzeltme katsayıları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 1. Boy/çap oranı düzeltme katsayısı, $F_{L/D}$

Boy/çap oranı	Karot Boy Çap Oranı Düzeltme Faktörü, $F_{L/D}$
1,00	0,87
1,25	0,93
1,50	0,96
1,75	0,98
2,00	1,0



Şekil 4. Tablo 1’de verilen düzeltme katsayısı verilerinin grafiğe aktarılması

Boy/çap oranı düzeltmesinde daha farklı L/D oranları için kullanılmasına ihtiyaç duyulması durumunda gerekli matematiksel fonksiyon aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

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

Tablo 2. Numune çapı düzeltme katsayıları, F_C

Silindir Çapı, mm	Farklı çaplara sahip karotlar arasında dönüşüm katsayısı
D	F_D
50	0,94
75	0,96
100	1,00
150	1,02

Karot numune çapı 150 mm'den küçük veya büyük olduğunda 150 mm çaplı standard numune çapına dönüştürülmesi için kullanılan Tablo 2'nin matematiksel bağıntıya dönüştürülmüş hali (yaklaşım) aşağıda verilmiştir;

$$F_C=0,087 \times \ln(\Phi)+0,5958$$

Numune rutubet düzeltme katsayısı; farklı durumlarda deneye tabi tutulan karotlarla ilgili rutubet düzeltme katsayıları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. Rutubet düzeltme katsayısı, F_R

Karot Numune Rutubet Durumu	F_R
Yapıdan alındığı gibi durum	1,00
En az 48 saat suda bekletilmiş durum	1,10
Hava kurusu durum	0,96

Karot donatı durumu düzeltme katsayısı; karot numuneler içinde mümkünse donatı olmamalıdır. Karot numune içindeki donatı karot dayanımını etkilemektedir. Zaruri durumlarda karot içinde donatı olması halinde donatı hacmi karot hacminin %5'ini geçmemelidir. Karot içindeki donatıyı kaldırmak için gerektiğinde karot boyu boy/çap oranı en az 1,0 olacak şekilde kesilerek düzeltilmeli ve bu durum mümkün olmadığında donatı karot hacminin %5'ini geçtiğinde numune iptal edilerek deneye alınmamalıdır. Karotun eksenine göre dikey konumda bulunan bir demir donatı ile birlikte deneye tabi tutulan karotlarda potansiyel dayanım için aşağıdaki düzeltme katsayısı (çarpan) uygulanabilir;

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

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

Karot alma yönü düzeltme katsayısı ve karot alma esnasında oluşacak örselenme düzeltme katsayısı bilgilerinin girileceği kısımlar da programda tanımlanmıştır.

Tablo 4. Karot alma yönü düzeltme katsayısı, F_Y

Döküm yönü	F_Y
Beton döküm yönüne göre dikey alınan karot	1,08
Beton döküm yönüne paralel alınan karot	1,0

Tablo 5. Örseleme düzeltme katsayısı, F_H

Örseleme durumu	F_H
Karot Makinesi Tahribatı (Örseleme)	1,06

Düzeltilme faktörlerinin belirlenmesi akabinde; karot dayanım sonuçlarının yerindeki dayanım değerine dönüştürülmesi karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerden elde edilen basınç dayanımlarının yapıdaki gerçek dayanıma dönüştürülmesi işlemi program tarafından aşağıda verilen eşitliğe göre yapılır.

$$f_{is,sil,düzeltilmiş} = F_Y \times F_{l/d} \times F_c \times F_R \times F_D \times F_H \times f_{is}$$

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 örseleme nedeniyle düzeltme katsayısıdır.

Programda bu formüle ilave olarak karot alma yönüne göre düzeltme faktörü için de hücre ayrılmıştır.

2.3. Münferit Değerlendirme İşlemi

Münferit değerlendirme aynı beton tasarımına sahip beton elemanlarında, yapı inşaat aşamasında basınç dayanımı bakımından şüphe edilmesi durumunda TS EN 13791 Madde 9.2, TS 13685 Madde 7.1'e göre sadece karot verileri ile kendi içerisindeki değerlendirilmesi işlemidir. TS EN 13791 standardı karot alımı ve değerlendirilmesi hususunda birçok önemli aşama ve detay içermektedir. Örneğin; incelenecek beton yapı elemanı deney bölgelerine bölünmesi, bu test bölgeleri tanımlama testi için kullanılan anolarla, farklı beton tasarımı içeren beton elemanla sınırlı olabilmesi, deney bölüm sayısı, hangi kritere göre karot sonuçlarının değerlendirileceği, karot çap uzunluğu ve L/D oranı gibi kriterlere bağlı olarak alınacak karotların sayısı ve konumları değişikliklerinin neler olduğu, her bir test bölgesi, yaklaşık 30 m³'lük hacimlere bölünebileceği bilgi ve detaylarıdır. Her hacim için asgari test yeri sayısı Tablo 1'de belirtilmiştir.

Bu bildiri kapsamında üzerinde durulacak kısım ise; TS EN 13791'e uygun işlem, adet ve konumda karot alındığı varsayımında bulunulmasının akabinde geliştirilen programın

gerçekleştirebildiği işlemlerdir. Program Tablo 6’da gösterildiği gibi münferit değerlendirme için karot basınç dayanım sonuçlarını 2 farklı kritere göre değerlendirmektedir. İki kriterin tamamına göre sonuçların uygun çıkması durumunda karot sonuçları uygun, bir veya ikisine göre uygun çıkmadığı durumda uygunsuz karot sonucu anlamına gelmektedir.

Tablo 6. Münferit değerlendirmeye göre numune alınması ve değerlendirme kriterleri

Deney bölgesindeki yaklaşık 30 m ³ hacimlerin sayısı	Her bir 30 m ³ hacim için en az deney lokasyonu sayısı ^{a)}	Her deney lokasyonundan alınacak en az karot sayısı (D≥75mm için)	Deney bölgesinden alınacak toplam karot sayısı (D≥75mm için)	Kriter 1: Deney bölgesi için karot deney sonuçlarının ortalaması ^{b)}	Kriter 2: İzin verilen en düşük deney sonucu ^{b) c)}
1 ^{d)}	3	2	6	Uygulanmaz	≥ 0,85 (f _{ck} -4)
2 ila 4	2	2	8 – 16	≥ 0,85 (f _{ck} +1)	≥ 0,85 (f _{ck} -4)
5 ila 6	2	2	20 – 24	≥ 0,85 (f _{ck} +2)	≥ 0,85 (f _{ck} -4)

a) Çapı 50 mm ila 75 mm arasında karotların alındığı yerlerde, karotların eşdeğer sayısı TS EN 13791’de belirtildiği gibi olacaktır.
b) Karot mukavemeti seçilen f_{ck} değerine bağlı olarak f_c, 1:1 veya f_c, 2: 1 olarak ifade edilebilir.
c) Basınç dayanım sınıfı C20/25 veya üstü için M = 4 N / mm² alınırken C16/20, C12/15 ve C8 /10 için M değeri sırasıyla 4’den 3, 2 ve 1’e düşürülür. Sonuçların dağılımı, ortalama değer % 15’inden fazla olmadığı durumlarda, bir inceleme ile karot sonuçlardan birini reddetmek için haklı bir neden sağlıyorsa, test sonucu kalan geçerli değerlerin ortalaması olarak alınabilir.
d) Tek bir günde sağlanır.

Düzeltilmiş Karot Basınç Dayanımı, f _{yd} (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	1. Kriter Karar Kuralı f _{yd} ≥ 0,85*(f _{ck} +1)	En Küçük Basınç Dayanımı (MPa)	2. Kriter Karar Kuralı f _{yd} ≥ 0,85*(f _{ck} -4)	Münferit Değerlendirme
34,4	36,4	Durum 1 (%0) ✓	34,4	Durum 1 (%0) ✓	UYGUN
38,2	36,4	Durum 1 (%0) ✓	34,4	Durum 1 (%0) ✓	UYGUN
36,7	36,4	Durum 1 (%0) ✓	34,4	Durum 1 (%0) ✓	UYGUN

Şekil 5. Programdan elde edilen örnek bir münferit değerlendirme sonucu

2.4. Genel değerlendirme işlemi

Genel değerlendirme işlemi ve karakteristik basınç dayanımı tayin işlemi, incelenen yapının beton sınıfının bilinip bilinmemesine bağlı olarak belirlenen iki farklı yöntem ile gerçekleştirilmektedir.

2.4.1. Beton sınıfı bilinen ve tek bir beton sınıfına ait yapı veya yapı elemanlarında genel değerlendirme işlemi

Genel değerlendirme yöntemlerinden ilki, TS 13685 standardı Madde A.13.1’de belirtilen tek bir beton sınıfına ait olduğu önceden bilinen ve inşaat sürecinden belirli bir zaman geçmiş bir yapıda yapının tamamı veya birden çok beton veya betonarme yapı elemanının beton karot sonuçları ile genel değerlendirmesi yaklaşımıdır.

Hesaplanarak elde edilen f_{yd} değerleri program tarafından aşağıdaki standard kriterler dikkate alınarak değerlendirilmektedir.

$$\text{Ortalama dayanım} = f_{yd} \geq 0,85 \times (f_{ck} + 1,48 \times \sigma)$$

$$\text{En küçük dayanım} = f_{yd} \geq 0,85 \times (f_{ck} - 4)$$

Burada,

f_{yd} = Karot dayanımının standart numune dayanımına dönüştürülmüş hali,

f_{ck} = betonun karakteristik basınç dayanımı (önceden bilinen beton sınıfı örneğin C 30/37 ise f_{ck} (silindir) 30 MPa'dır.

σ = Karot numunelere ait standard sapma değeri.

Düzeltilmiş Karot Basınç Dayanımı, f_{yd} (MPa)	Ortalama Basınç Dayanımı (MPa)	1. Kriter Karar Kuralı $f_{yd} \geq 0,85 \cdot (f_{ck} + 1,48 \cdot \sigma)$	En Küçük Basınç Dayanımı (MPa)	2. Kriter Karar Kuralı $f_{yd} \geq 0,85 \cdot (f_{ck} - 4)$	Genel Değerlendirme
	---	Değerlendirme Dışı	---	Değerlendirme Dışı	ELENDİ
53,0	47,0	Durum 1 (%0) ✓	40,1	Durum 1 (%0) ✓	UYGUN
49,6	47,0	Durum 1 (%0) ✓	40,1	Durum 1 (%0) ✓	UYGUN
51,4	47,0	Durum 1 (%0) ✓	40,1	Durum 1 (%0) ✓	UYGUN

Şekil 6. Programdan elde edilen örnek bir genel değerlendirme sonucu

2.4.2. Beton sınıfı bilinmeyen mevcut yapı veya yapı elemanlarında karakteristik basınç dayanımı tayini ve genel değerlendirme işlemi

İkinci genel değerlendirme yöntemindeki en önemli unsur, karot sonuçları ile değerlendirilecek yapı veya yapı elemanlarının tek bir basınç dayanımına sahip betondan oluşup oluşmadığının bilinmemesidir. Bu durumda, geliştirilen program TS EN 13791 Madde 8.1'e göre mevcut bir yapının yapısal değerlendirilmesi için alınan karot sonuçlarına göre yerinde karakteristik beton basınç dayanımının hesaplanması yöntemini uygulamaktadır. TS EN 13791 Madde 7.1 Not 3'de de ifade edildiği gibi; Madde 8, yerindeki karakteristik beton basınç dayanımı tayinini kapsamakta ve bu tayinde ortalama beton dayanımı ve standart sapma esas alınmaktadır. Programın bu kısmında, beton sınıfı bilinmeyen yapının veya yapı elemanlarının yerindeki karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck, is}$) tayin edilmektedir. Programda bu kısmın devamında ise TS EN 13791 standardı Madde 8.1'e göre hesaplanan bu karakteristik basınç dayanımı tayini sonucunda TS 13685 standardı ve bu bildiri 2.3.1'de verilen hesap yöntemi ile değerlendirme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Küçük deney bölgeleri hariç olmak üzere, yerindeki karakteristik basınç dayanımının hesaplanmasında, çapı (D) ≥ 75 mm olan karotlar kullanılmakta, geçerli sekiz adet yerindeki beton basınç dayanımı deney sonucu hesaba dahil edilmektedir.

Öncelikle yerindeki karakteristik dayanım hesaplanır. Burada iki farklı yaklaşımdan en küçük sonucun elde edildiği değer, yerindeki karakteristik basınç dayanımı ($f_{ck,is}$) olarak kabul edilir. Bu yaklaşımlar;

$$f_{ck,is} = f_{c,m(n)is} - k_n s$$

(1)

Burada;

$f_{c,m(n)is}$ = İncelenmekte olan yapıdaki deney bölgesine ait yerindeki ortalama basınç dayanımı,

k_n = 8 adet geçerli karot için 2'dir (TS EN 13791, Çizelge 6),

s = $f_{c,m(n)is}$ değerinin hesaplanmasında kullanılan karot değerlerinin örneklem standart sapmasıdır.

$$f_{ck,is} = f_{c,is, lowest} + M \quad (2)$$

İkinci hesap yönteminde;

$f_{c,is, lowest}$ = 8 adet geçerli karot sonucunun en düşük olanı

M = $f_{c,is, lowest}$ değerine bağlı olarak TS EN 13791 Çizelge 7'den elde edilir.

Geliştirilen programda iki farklı f_{ck} hesabından elde edilen düşük değer yerinde karakteristik basınç dayanımı olarak tayin edilir. Ardından, tayin edilen bu karakteristik dayanımı bu bildiriye 2.3.1'de anlatılan TS 13685'e göre değerlendirme kriteri formülünde işleme dahil edilerek genel yapı veya yapı elemanı değerlendirilmesi işlemi gerçekleştirilerek değerlendirme işlemi tamamlanır.

3. SONUÇ

Geliştirilen program, inşaat aşamasındaki yapı veya yapı elemanının yerinde basınç dayanımı hakkında şüphe duyulması durumunda alınan karot numunelere ait basınç dayanım sonuçlarının uygunluk değerlendirmesinin hızlı bir biçimde ve insan hatasını en aza indirgeyerek yapılabilmesi, geliştirilen program ile mümkün hale getirilmiştir.

İnşaat aşamasında veya henüz bitmiş yapıya ait bir veya birden fazla yapı elemanı münferit değerlendirmeye tabi tutulabilmekte ve ortak beton kümelerinden alınan numune grupları kendi içerisinde toplu bir biçimde değerlendirilebilmektedir. Yapımı üzerinden belirli bir zaman geçmiş mevcut yapılara ait genel değerlendirme işlemi de program üzerinden yapılabilir hale getirilmiştir. İnşasından belirli bir zaman geçen, yerinde karakteristik basınç dayanımı bilinen veya bilinmeyen bir yapıda veya yapı elemanlarında beton basınç dayanımı bakımından genel değerlendirmeye ihtiyaç durumu da TS EN 13791 ve TS 13685 standartlarına uygun olarak yapılabilir.

Sadece karot ile numune alma yöntemi ile genel değerlendirme ve münferit değerlendirme prosedürlerinin uygulanması amacı ile hazırlanan program ile yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde karot basınç dayanımlarının karot değerlendirme süreci, hesap işlemleri ve kontrolünün kolaylaştırılması amaçlanmıştır. Ayrıca karot numuneler üzerinde şekil, boyut, fiziksel durumu ve diğer düzeltme faktörleri kullanılarak programın güncelliğini koruyabilmek ve olası mevcut hataları giderebilmek amaçları ile program, gelişime açık halde üzerinde iyileştirmeler uygulanmaktadır.

Kaynaklar

1. TS EN 13791, Beton basınç dayanımının, yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini
2. TS 13685, Basınç dayanımının, yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini-TS EN 13791'in uygulanmasına yönelik tamamlayıcı standart
3. American Concrete Institute, Guide for Obtaining Cores and Interpreting Compressive Strength Results, ACI 214.4R
4. American Concrete Institute, Building Code Requirements for Structural Concrete, ACI 318, Chapter 12 and 19.
5. Further guidance on the application of EN 13791:2019 and background to the provision, CEN/TR 17086.
6. Eurocode - Yapı tasarımının temelleri, TS EN 1990/A1