

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETON KAROT DAYANIMLARI İLE STANDART SİLİNDİR DAYANIMLARI
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN KÜR KOŞULLARINA BAĞLI OLARAK
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Mustafa Haluk FİLİZ

**EKİM 2006
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**BETON KAROT DAYANIMLARI İLE STANDART SİLİNDİR DAYANIMLARI
ARASINDAKİ İLİŞKİNİN KÜR KOŞULLARINA BAĞLI OLARAK
BELİRLENMESİ**

İnş. Müh. Mustafa Haluk FİLİZ

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
“İnşaat Yüksek Mühendisi”
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 25.09.2006
Tezin Savunma Tarihi : 30.10.2006**

**Tez Danışmanı : Doç. Dr. Metin HÜSEM
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Selim PUL
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Hasan KOLAYLI**

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Emin Zeki BAŞKENT

Trabzon 2006

ÖNSÖZ

Bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

“Beton Karot Dayanımları İle Standart Silindir Dayanımları Arasındaki İlişkinin Kür Koşullarına Bağlı Olarak Belirlenmesi” isimli bu çalışmayı bana önererek, diğer önemli görevlerine rağmen, hiçbir zaman desteğini esirgemeyen, çalışma süresince bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım danışman hocam sayın Doç.Dr. Metin HÜSEM'e şükran ve saygılarımı sunmayı zevkli bir görev sayarım.

Her konuda yardımlarını ve zamanını esirgemeyen, görüş ve önerilerinden yararlandığım hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Selim PUL'a en içten teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenimim boyunca bana emeği geçen tüm hocalarımı saygıyla anar, kendilerine minnettar olduğumu belirtmek isterim.

Deneysel çalışmalar sırasında büyük yardımlarını gördüğüm Arş. Gör. S. Emre GÖRKEM, İnş. Müh. Alper YAMAN, İnş. Müh. Tayfun YAZICI, İnş. Müh. Yasin KORKMAZ, İnş. Müh. Amaç KULEİN ve İnş. Müh. Ömer SOLEY'e teşekkürlerimi sunarım.

Bu uzun soluklu maratonda hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen Arş. Gör. Enver AKARYALI, İnş. Müh. Adem AKPINAR, Arş. Gör. Murat KANKAL, İnş. Müh. Erşan KELEŞ, İnş. Müh. Caner ARSLANTÜRK, Mak. Müh. Anıl TANRIVERDİ ve Mimar Serap DURMUŞ'a teşekkürü bir borç bilirim.

Başta yüksek lisans eğitimim sırasında kaybettiğim babam olmak üzere bana olan inançlarını kaybetmeksizin maddi ve manevi hiçbir desteği esirgemeyen, her zaman yanımda olan ailemin tüm bireyelerine şükranlarımı sunarım.

Mustafa Haluk FİLİZ

Trabzon 2006

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET	VI
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER DİZİNİ	VIII
TABLolar DİZİNİ.....	X
SEMBOLLER DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Beton Kalite Denetimi	1
1.3. Yapıda Sertleşmiş Beton Deneylerinin Gerekçeleri.....	3
1.4. Yapıda Sertleşmiş Beton Dayanımının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	3
1.4.1. Tahribatsız Yöntemler	4
1.4.1.1. Tahribatsız Statik Yöntemler	4
1.4.1.1.1. Standart Numune Deneyleri	4
1.4.1.1.2. Sertlik Deneyleri	4
1.4.1.1.2.1. İz Ölçme Tekniği	4
1.4.1.1.2.2. Sıçrama Tekniği.....	4
1.4.1.2. Tahribatsız Dinamik Yöntemler	6
1.4.1.2.1. Rezonans Frekans Yöntemi	6
1.4.1.2.2. Mekanik Dalga Hızı Yöntemi.....	7
1.4.1.2.3. Ultrases Dalga Hızı Yöntemi.....	7
1.4.1.3. Radyoaktif Yöntem.....	9
1.4.1.4. Olgunluk Yöntemi	10
1.4.1.5. Ses Yayılımı Ölçme Yöntemi	10
1.4.1.6. Yükleme Yöntemi.....	10
1.4.2. Yarı Tahribatlı Yöntemler	11

1.4.2.1.	İç Kırılma Yöntemi.....	11
1.4.2.2.	Çekip Çıkarma Yöntemi.....	11
1.4.2.3.	Çekip Koparma Yöntemi.....	12
1.4.2.4.	Eğip Koparma Yöntemi.....	12
1.4.2.5.	Batırma Yöntemi	12
1.4.3.	İkili Yöntemler	13
1.4.4.	Tahribatlı Yöntemler	13
1.4.4.1.	Gömülü Numune Kullanma Yöntemi.....	13
1.4.4.2.	Karot Numune Alma Yöntemi	14
1.5.	Karot Numune Dayanımına Etki Eden Parametreler.....	15
1.5.1.	Karot Çapı.....	15
1.5.2.	Karot Narinliği.....	17
1.5.3.	Karot Alma Doğrultusu	20
1.5.4.	Karot Alınan Yer	20
1.5.5.	Karot Kürü.....	21
1.5.6.	Karot Nem Durumu	21
1.5.7.	Karot Yaşı.....	22
1.5.8.	Karot İçinde Kalan Donatı.....	23
1.5.9.	Karot Almada Kesme Etkisi	23
1.6.	Karot Dayanımı ile Gerçek Dayanım Arasındaki İlişki	24
1.7.	Karot Dayanımı ile Potansiyel Dayanım Arasındaki İlişki	26
1.8.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	29
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	30
2.1.	Karot Dayanımı ile Standart Silindir Dayanımının Kür Ortamına Bağlı Olarak İncelenmesi	30
2.1.1.	Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	30
2.1.1.1.	Agrega Özellikleri	30
2.1.1.2.	Çimento Özellikleri	31
2.1.2.	Çalışma Kapsamında Üretilecek Betonların Bileşimi	31
2.1.3.	Beton Numunelerin Üretimleri, Özellikleri ve Saklanması.....	31
2.1.4.	Karotların Alınması	34
2.1.5.	Beton Numunelerin Deneye Hazır Hale Getirilmesi	35

3.	BULGULAR VE İRDELEME.....	38
3.1.	Deneyler.....	38
3.1.1.	Basınç Deneyleri.....	38
3.1.2.	Beton Çekici Deneyleri	43
3.2.	Karot Dayanımı ile Standart Silindir Dayanımı Arasındaki İlişki.....	47
3.3.	Basınç Dayanımının Beton Çekici ile Belirlenmesi	56
3.3.1.	Standart Silindir Dayanımı ile Ortalama Geri Sıçratma Sayısı Arasındaki İlişki	56
3.3.2.	Karot Ortalama Dayanımı ile Ortalama Geri Sıçratma Sayısı Arasındaki İlişki	59
3.3.3.	Standart Silindir Ortalama Dayanımı ile Karot Ortalama Geri Sıçratma Sayısı Arasındaki İlişki.....	62
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	65
5.	KAYNAKLAR.....	68
	ÖZGEÇMİŞ.....	73

ÖZET

Başta yapıların depreme karşı onarım ve güçlendirme çalışmaları olmak üzere sertleşmiş beton kalitesinin denetimine birçok durumda gerek duyulmaktadır. Bu denetimde kullanılan tahribatlı yöntemlerin, yarı tahribatlı ve tahribatsız yöntemlere göre daha güvenilir sonuçlar verdiği bilinmektedir. Tahribatlı yöntemlerden en yaygın kullanılanı karot alma yöntemidir. Bu yöntemde yapının uygun yerlerinden alınan ve karot adı verilen silindirik numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneylerle beton denetiminin belirlenmesine çalışılmaktadır. Uygulamada beton sınıfı standart numune dayanımı cinsinden tanımlandığından, karot dayanımlarını söz konusu dayanıma dönüştürmek için gerekli tüm parametreler dikkate alınmalıdır.

Bu çalışmanın temel amacı, karot ve standart silindir numune basınç dayanımları arasındaki ilişkinin yukarıda belirtilen parametrelerin en önemlilerinden biri olan kür koşulu dikkate alınarak incelenmesidir. Birinci bölüm genel bilgiler bölümü olup, ikinci bölümde bu çalışmanın amacı doğrultusunda bileşimleri ve kür koşulları farklı olan beton deney numuneleri üretilmiştir. Üçüncü bölüm, numuneler üzerinde yapılan merkezi basınç ve beton çekici deneylerinden elde edilen bulguların karşılaştırılması olarak irdelenmesinden oluşmaktadır. Çalışmanın bütününden çıkartılabilecek başlıca sonuç ve öneriler dördüncü bölümde özetlenmekte ve bu son bölümü kaynaklar dizini izlemektedir.

Elde edilen sonuçlar, kür koşulu dikkate alınmadan, karot dayanımı aracılığıyla yapıdaki beton sınıfının doğru olarak belirlenmesinin mümkün olmadığını ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler: Sertleşmiş Beton, Tahribatlı Yöntem, Karot, Standart Silindir Numune, Kür Koşulu.

SUMMARY

Determination of Relation between Concrete Core Strengths and Standard Cylinder Strengths Depend on Cure Conditions

Firstly, repairment and reinforcement studies of structures, quality control of hardened concrete is essential. Though destructive, semi destructive and non destructive methods are used in the quality of hardened concrete, destructive methods are known more reliable. The method of taking core specimen among the other destructive methods is used most commonly. In this method, cylindrical core specimens are taken from appropriate locations of a structure and the specimens are tested to estimate the quality of concrete. In practice, concrete class introduced as a function of strength of standard specimen, all of the parameters must be considered in order to convert from the strength of core specimen to strength of standard specimen.

The main purpose of this study is to investigate the effect of cure condition which is one of the important parameters. The first section is one for an overview, whereas in the second section, concrete test specimens with different compositions and cure conditions are produced. In the third section, central compressive and rebound hammer tests have been made on test samples, obtaining compressive strengths and rebound hammer values of samples. Findings from testing are comparatively studied. Conclusions and recommendations from entire study are summarized in the fourth section. Finally, a reference list is given.

The conclusions show that it is impossible to estimate the concrete class truly without considering the effect of cure conditions.

Key Words: Hardened Concrete, Destructive Method, Core, Standard Cylinder Specimen, Cure Condition.

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. MaTest marka ultrases dalga hızı makinesi	8
Şekil 2. Agreganın granülometrisi ve sınır eğrileri	30
Şekil 3. Mettler marka PM 30 tipi tartı aleti.....	32
Şekil 4. 80 litre kapasiteli eğik eksenli betoniyer.....	33
Şekil 5. 2800 devir/dakikalık sarsma tablası	33
Şekil 6. Dış kür ortamında saklanan standart silindir ve prizmatik numuneler	34
Şekil 7. Prizmatik numunelerden karot alma işlemi	35
Şekil 8. Karotların kesilme işlemi	36
Şekil 9. Karotların erimiş kükürtle başlıklanması	36
Şekil 10. Deneye hazır hale getirilmiş 75 mm çaplı karotlar	37
Şekil 11. 300 tonluk WP 300 tipi merkezi basınç aleti	38
Şekil 12. 60 tonluk Losenheimwerk marka UHP 60 tipi universal deney aleti	39
Şekil 13. Merkezi basınç deneyi uygulanmış karot numuneler	39
Şekil 14. 75 mm çaplı numuneler üzerinde beton çekici okuması yapılması	44
Şekil 15. Standart silindir ile 50 mm çaplı karotlarının dayanımları arasındaki ilişki (standart kür ortamı).....	47
Şekil 16. Standart silindir ile 50 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (dış kür ortamı).....	48
Şekil 17. Standart silindir ile 50 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (toplam numune)	49
Şekil 18. Standart silindir ile 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (standart kür ortamı).....	50
Şekil 19. Standart silindir ile 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (dış kür ortamı).....	51
Şekil 20. Standart silindir ile 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (toplam numune)	52
Şekil 21. Standart silindir (standart kür ortamı) ile 75 mm çaplı karotların (dış kür ortamı) dayanımları arasındaki ilişki.....	53
Şekil 22. Standart silindir dayanımları (gerçek dayanım) ile karot dayanımları arasındaki ilişkiler	54

Şekil 23. Standart silindir dayanımları (potansiyel dayanım) ile karot dayanımları arasındaki ilişkiler	55
Şekil 24. Standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (standart kür ortamı)	56
Şekil 25. Standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (dış kür ortamı)	57
Şekil 26. Standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (toplam numune).....	58
Şekil 27. 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (standart kür ortamı)	59
Şekil 28. 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (dış kür ortamı)	60
Şekil 29. 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (toplam numune).....	61
Şekil 30. Standart silindir ortalama dayanımı ile 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı arasındaki ilişki (standart kür ortamı)	62
Şekil 31. Standart silindir ortalama dayanımı ile 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı arasındaki ilişki (dış kür ortamı)	63
Şekil 32. Standart silindir ortalama dayanımı ile 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı arasındaki ilişki (toplam numune).....	64

TABLULAR DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Beton kalitesi-Ultrases dalga hızı arasındaki ilişki.....	8
Tablo 2. Karot çapı, en büyük agrega tane çapı ve beton sınıfına göre sertleşmiş betondan alınması gereken karot sayısı (n).....	14
Tablo 3. Bazı standart ve araştırmalarda narinliği 1,00 ve 1,50 olan karot dayanımlarının 2 narinlikli karot dayanımına oranı.....	19
Tablo 4. Bazı araştırmacılara göre gerçek dayanımla karot dayanımı arasındaki bağıntılar	26
Tablo 5. Bazı araştırmacılara göre potansiyel dayanımla karot dayanımı arasındaki bağıntılar	28
Tablo 6. Agrega fiziksel özellikleri.....	30
Tablo 7. Beton üretimlerinde kullanılan bileşim hesapları	31
Tablo 8. Saklama koşulları farklı olan 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir numunelerin ortalama basınç dayanımları ve standart sapmaları.....	40
Tablo 9. Saklama koşulları farklı olan 75 mm x 150 mm boyutlu karot numunelerin ortalama basınç dayanımları ve standart sapmaları	41
Tablo 10. Saklama koşulları farklı olan 50 mm x 100 mm boyutlu karot numunelerin ortalama basınç dayanımları ve standart sapmaları	42
Tablo 11. Standart silindir numunelerin ortalama geri sıçratma sayıları ve standart sapmaları	45
Tablo 12. Karot numunelerin (75 mm x 150 mm) ortalama geri sıçratma sayıları ve standart sapmaları.....	46

SEMBOLLER DİZİNİ

- A_{so} : A üretimi standart silindir standart kür ortamı
- A_{do} : A üretimi standart silindir dış kür ortamı
- A_{kso} : A üretimi 75 mm çaplı karot standart kür ortamı
- A_{kdo} : A üretimi 75 mm çaplı karot dış kür ortamı
- A_{5kso} : A üretimi 50 mm çaplı karot standart kür ortamı
- A_{5dso} : A üretimi 50 mm çaplı karot dış kür ortamı
- f_{ck} : Numunelerin ortalama karakteristik dayanımı
- f_{cm} : Numunelerin ortalama basınç dayanımı
- $f_{gküp}$: Küp dayanımı cinsinden tanımlanan gerçek dayanım
- f_{gs} : Standart silindir dayanımı cinsinden tanımlanan gerçek dayanım
- f_k : Karot dayanımı
- f_{krk} : Kür ortamındaki 75 mm çaplı karot dayanımı
- f_{krd} : Dış ortamdaki 75 mm çaplı karot dayanımı
- f_{krt} : 75 mm çaplı karot dayanımı(toplam numune)
- $f_{küp}$: Küp dayanımı
- $f_{pküp}$: Küp dayanımı cinsinden tanımlanan potansiyel dayanım
- f_{ps} : Standart silindir dayanımı cinsinden tanımlanan potansiyel dayanım
- f_s : Standart silindir dayanımı
- f_{sd} : Dış ortamdaki standart silindir dayanımı
- f_{sk} : Kür ortamındaki standart silindir dayanımı
- f_{sok} : Kür ortamındaki standart silindir ortalama dayanımı
- f_{sod} : Dış ortamdaki standart silindir ortalama dayanımı
- f_{sot} : Standart silindir ortalama dayanımı(toplam numune)
- f_{st} : Standart silindir dayanımı(toplam numune)
- f_{5krk} : Kür ortamındaki 50 mm çaplı karot dayanımı

- f_{5krd} : Dış ortamdaki 50 mm çaplı karot dayanımı
- f_{5krt} : 50 mm çaplı karot dayanımı (toplam numune)
- N_{krk} : Kür ortamındaki 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı
- N_{krd} : Dış ortamdaki 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı
- N_{krt} : 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı (toplam numune)
- N_{sk} : Kür ortamındaki standart silindir ortalama geri sıçratma sayısı
- N_{sd} : Dış ortamdaki standart silindir ortalama geri sıçratma sayısı
- N_{st} : Standart silindir ortalama geri sıçratma sayısı (toplam numune)
- ϕ : Karot çapı
- T_i : Ortam sıcaklığı olarak alınabilen beton sıcaklığı
- λ : Karot narinliği

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton bulunuşundan bu yana uzun yıllar geçmesine rağmen zamanımızda bile inşaat mühendisliği uygulamalarında kullanımı gittikçe yaygınlaşan bir malzemedir. Bu konudaki en büyük etkenler; ekonomikliği, üretim kolaylığı ve çeşitli özellikleri nedeniyle yerine geçebilecek herhangi bir malzemenin henüz bulunamamış olmasıdır. Bunun yanında, betonun bu özelliklerinden tam olarak yararlanabilmek için üretiminin ve kullanımının iyi bir denetim altında yapılması gerekmektedir.

Sertleşmiş betonun kalitesinin denetimi, tahribatlı ve tahribatsız birçok yöntemle yapılabilmektedir. Tahribatlı yöntemlerden biri olan ve beton kalitesi hakkında en doğru sonucu verdiği kabul edilen karot alma yönteminde, yapının uygun elemanlarının belirli yerlerinden betonu oluşturan agregaların granülometrik dağılımına uygun çapta ve belirli sayıda numuneler alınmaktadır. Bu numuneler daha sonra basınç deneyine tabi tutularak elde edilen sonuçlar istatistiksel olarak değerlendirilerek yapıda kullanılan beton sınıfı tahmin edilebilmektedir. Bununla beraber tahminlerin isabetli olabilmesi için karot dayanımına etki eden ve birçok araştırmaya konu olan bütün parametrelerin bilinmesi gerekmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı; kür koşullarına bağlı olarak, değişik çaptaki karot dayanımlarının standart silindir dayanımlarını hangi oranda temsil ettiğini ve kalibre edilen beton çekici okumalarının karot numune ve standart silindir dayanımları ile olan ilişkilerini araştırmaktan ibarettir.

1.2. Beton Kalite Denetimi

Yapının projelendirilmesinde öngörülen betonun karakteristik basınç dayanımı, sertleşmiş betonun basınç dayanımına eşit olmalıdır. Beton üretiminin istenilen dayanıma ulaşılabilirliğini denetlemek için, en az 3 adet standart küp (20cm*20cm*20cm) veya standart silindir ($\phi=15$ cm, $h=30$ cm) numune kalıplarına yönetmeliklere uygun [1, 2] beton dökülmekte ve bu betonlar 24 saat 15°C-22°C sıcaklıkta dış etkenlerden uzak

tutulduktan sonra kalıptan çıkarılıp, $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde saklanarak kür koşulları sağlanmakta ve genellikle 28 gün olmak üzere istenen yaşta merkezi basınç deneyine tabi tutulmaktadır.

Merkezi basınç deneyine tabi tutulan standart numune dayanımları proje dayanımı olarak kabul edilen dayanıma eşit veya bundan büyükse istenen noktaya ulaşılmış denilmektedir [3]. Ancak standart numune dayanımlarının proje dayanımları olarak kabul edilmesi nedeniyle üretiminin, taşınmasının ve yerleştirmesinin doğru bir şekilde yapıldığı kabul edilmektedir. Bununla beraber standart numune kalıplarının mikserden döküm yerinde doldurularak laboratuvar ortamına alındığı, deneye tabi tutuluncaya kadar su küründe tutulduğu ve numunenin özenle korunduğu bilinmektedir. Oysaki şantiyelerde betonun üretim, taşıma, yerleştirme ve bakımına gerekli itinanın çoğunlukla gösterilmediği de gerçektir.

Şantiyelerde üretilen betonun özelliklerini standart numune özelliklerinden farklı kılan bazı noktalar aşağıda verilmiştir:

- Gerçek bir hesap yapılmadan ve ölçü aletleri kullanılmadan beton bileşiminin hacim prensibine göre ya da rasgele tespit edilmesi.
- Harmanın karışım süresinin iyi ayarlanmamış olması gibi etkenler nedeniyle homojenliğin sağlanamamış olması.
- Modern yöntemlerle taşınmayan betonda iri malzemenin ayrışması, beton santrali ile şantiye arasındaki mesafede trafik nedeniyle gecikmenin olması ve betonda erken priz oluşumu gibi istenmeyen olayların meydana gelmesi.
- Özellikle kalifiye olmayan işçilik nedeniyle kalıba yerleştirilen betonun iyi sıkıştırılmaması, yerleştirme işleminde vibrasyon uygulamasının tekniğine uygun olarak yapılamaması, vibrasyon süresinin uzatılması ya da kalıp işleminde yeterli özen gösterilmediğinden çimento şerbetinin ayrışarak kalıp dışına çıkması nedeniyle beton dayanımının azalması.
- Metal kalıplar geçirimsizlik için uygun olmalarının yanında olumsuz hava koşullarında beton dökümü için elverişli değildir. Sıcak hava koşullarında metal kalıp çabuk ısındığından betonun hidrasyon suyunu da buharlaştırabilmekte, bu nedenle yeterli miktarda su verilmediğinde beton yanabilmekte başka bir deyişle ufalanabilmektedir. Soğuk hava koşullarında ise metal kalıp çok çabuk soğumakta dolayısıyla da beton donabilmektedir. Bu nedenle kalıp tipi seçimine ve kullanımına dikkat edilmelidir.

- Pompadan kolaylıkla akışın sağlanması, yerine koyma gibi nedenlerle betonun çok yüksek su/çimento oranı ile üretilmesi bunun sonucunda rötrenin artmasıyla dayanımın düşmesi.
- Standart numunelerde donatının bulunmaması.
- Standart numunelerin deneyden önce hiçbir yük etkisine maruz kalmamış olması.

1.3. Yapıda Sertleşmiş Beton Deneylerinin Gerekçeleri

Yapıda sertleşmiş beton deneylerini zorunlu kılan nedenlerden en önemlileri aşağıda verilmiştir:

- Beton dökümü sırasında kalite denetiminin yapılmamış olması.
- Taze betondan alınan deney numunesi sonuçlarının, istenen proje dayanımından daha küçük olması.
- Beton dökümü sırasında alınan standart numunelerin deney sonuçları ile yapıda kullanılan beton dayanımı arasında uygulama hataları ya da ortam şartları sebebiyle fark bulunabileceği endişesi.
- Yapının kullanım amacının zamanla değiştirilmesi durumunda projede kabul edilen yüklerden daha fazla yük gelmesi ve/veya ilave kat atılması.
- Beton dayanımının; yangın, kimyasal tahribat, deprem gibi nedenlerle azalabileceği endişesi.
- Can ve mal güvenliğini tehlikeye düşürecek seviyede yapı da hasar oluşması.
- Onarım ve güçlendirme projelerinde referans olarak alınması gereken basınç dayanımının belirlenmesi.

1.4. Yapıda Sertleşmiş Beton Dayanımının Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Sertleşmiş betonunun dayanımının tespit edilmesi için kullanılan yöntemler tahribatsız, yarı tahribatlı ve tahribatlı yöntemler başlıkları altında incelenmiştir.

1.4.1. Tahribatsız Yöntemler

Yapıda herhangi bir tahribata neden olmayan ve iz bırakmayan yöntemler tahribatsız yöntemler olarak isimlendirilirler.

1.4.1.1. Tahribatsız Statik Yöntemler

1.4.1.1.1. Standart Numune Deneyleleri

Yönetmelikler, üretim sırasında taze betondan alınan küp ya da silindir şeklinde standart numunelerin belirli şartlarda 28 gün saklandıktan sonra merkezi basınç deneyine tabi tutulmasını ve bu şekilde belirlenen dayanımları standart numune dayanımı olarak tanımlamayı öngörmektedir.

1.4.1.1.2. Sertlik Deneyleleri

Esas olarak metal sertliklerinin belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin beton üzerine geliştirilmesi sonucu ortaya çıkan deneylelerdir. Bu deneyleleri iz ölçme ve sıçrama tekniği olmak üzere ikiye ayırabiliriz.

1.4.1.1.2.1. İz Ölçme Tekniği

Darbe nedeniyle çelik bir bilyenin beton yüzeyine bıraktığı izin çapı ölçülmekte ve beton dayanımı, dayanım-iz çapı arasındaki ampirik bağıntı yardımı ile belirlenmektedir [4].

1.4.1.1.2.2. Sıçrama Tekniği

Uygulamada beton kalite denetiminde, farklı nedenlerden dolayı çoğu zaman güçlüklerle karşılaşır. Gerek taze betondan deney numunelerinin iyi bir örneklenme ile alınamaması ve standart koşullarda saklanması ile ilgili yönetmeliklere uygun bir şekilde uygulama zorluğu, gerekse sertleşmiş betondan karot alma işleminin güçlüğü ve yapıya

zarar verme olasılığı uzmanları yapıyı tahribata uğratmayacak ve en kısa zamanda sonuç verebilecek yöntemlerin arayışına itmiştir [5].

İsveç’li mühendis Ernst SCHMIDT tarafından geliştirilen Schmidt çekici (beton tabancası) bu arayışın bir ürünüdür. Metallerin malzeme kalitesinin ölçülmesinde kullanılan Shore Sıçrama İlkesinin betona uyarlanmış halinde ibaret olan bu teknikte beton yüzeyine çarpan elastik bir kütlenin yüzeyin sertliğine bağlı olarak geri sıçramasının ölçülmesi ilkesine dayanmaktadır. Bu deneyde gerçekten aletin içinde bir yaya bağlı elastik bir kütlenin deney yapılacak yüzeye çarptırılması sonucu yayda biriken enerji ile geri sıçrama olayı oluşmakta ve bu sıçrama miktarı aletin göstergesinden okunmaktadır. Görüldüğü üzere yayda biriken enerjiye ve kütlenin hacmine bağlı olan bu sıçrama kullanılan alet tipine göre de değişmektedir.

Geri sıçrama miktarıyla beton dayanımı arasındaki ilişki üretici firma tarafından aletle verilen kalibrasyon eğrileri ile belirlenir. Ancak bu kalibrasyon eğrileri en az 14, en fazla 56 günlük kaliteli agrega portland çimentosuyla üretilen iyi sıkıştırılan, düzgün yüzeyli, kuru betonlar için geçerli olduğu firma tarafından belirtilmekte, aksi takdirde bu eğrilerden sapmalar olabileceği ifade edilmektedir. Bu nokta, ilk bakışta bu aletin çok sınırlı koşullarda kullanılabileceğini düşündürülebilir. Bununla beraber kalibrasyon eğrilerine bağlı kalınmayabilir. İstenen malzeme ve deney koşulları için bu ilişkiler yeniden belirlenerek daha sağlıklı dayanım tahminleri yapılmaktadır [6].

Schmidt çekici yardımıyla elde edilen dayanımın daha güvenilir olması için aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir:

- Deney, beton yüzeyinin düzgün olduğu yerde yapılmalı, aksi halde beton yüzeyi aşındırma taşı ile pürüzsüz hale getirilmelidir [7].
- Üzerilerindeki karbonasyon tabakasının kaldırılması için yaşlı betonların yüzeyi yüksek devirli bir spiralle ya da başka bir yolla kazınmalıdır.
- Betonun homojen bir malzeme olmamasından dolayı dayanım noktadan noktaya değişmekte bu nedenle beton test çekiciyle bir nokta civarında en az 9 okuma yapılmalı ve bu değerlerin ortalaması ölçüm yapılan noktadaki geri sıçrama sayısı olarak alınmalıdır [7].
- Bütün okumaların % 20’sinden daha fazlasının ortalama değerden sapması 6 birimden daha fazla ise, okumaların tümü iptal edilmelidir [7].
- Yapı elemanının kenarlarına yaklaşıldığında düşük okumalar elde edilebileceğinden okumalar kenarlardan en az 25 mm uzaklıkta yapılmalıdır [7].

- Deneysel okumanın yapıldığı noktada tekrarlanırsa düşük okumalar elde edilebileceğinden aynı noktada birden fazla okuma yapılmamalıdır.
- Beton test çekici yatay, düşey ve eğimli olarak kullanılabilir. Bu nedenle her durum için ayrı ayrı kalibre edilmelidir.
- Beton yüzeyi ile içyapısı arasındaki fark büyük olmamalıdır.
- Betonun yapısında hafif ve dayanıksız agrega bulunmamalıdır.
- Eleman tipine uygun, (örneğin; normal kolon, kiriş, perde, döşeme gibi elemanlarda N ve NR tipi, yol ve temel gibi kütle betonlarda M tipi, düşük dayanımlı ve ince elemanlarda P tipi), beton test çekici kullanılmalıdır.
- Donatı ve yüzeyde kalmış agreganın hemen üstünde ya da boşluklu bölgelerde deney yapılmamalıdır.
- Beton yaşının 28 günden farklı olması halinde, deney sonuçları bu yaşa dönüştürülmelidir.
- Beton test çekici hassasiyet ve kalibrasyonu devamlı olarak denetlenmelidir.

Bu aşamada, betonun sertliği ile basınç dayanımı arasında kesin bir bağıntının mevcut olmadığını sadece deneysel çalışmalar neticesinde elde edilen ampirik bağıntılar olduğunu, bu nedenle de Schmidt çekici ile beton dayanımını hakkında ancak tahmin yürütülebileceğini ifade etmek uygun olacaktır [5].

1.4.1.2. Tahribatsız Dinamik Yöntemler

Bu yöntemlerde prensip, deney numunesinin rezonans frekansı ile malzemeden geçen ses hızı arasında bir bağıntı kurulmasıdır. Bu prensibe dayalı birbirinden farklı üç tahribatsız dinamik deney tekniği geliştirilmiştir [8].

1.4.1.2.1. Rezonans Frekans Yöntemi

Bu yöntem, deney numunesinin rezonans frekansının belirlenmesi ilkesine dayanmaktadır. Sürekli bir şekilde ve elektronik olarak oluşturulan yapay titreşimler aracılığıyla malzemenin rezonans frekansı saptanmakta ve ölçülen rezonans frekansına bağlı olarak ASTM C215–60 [9]'da verilen bağıntılar aracılığıyla betonun Poisson oranı ve dinamik elastisite modülü hesaplanabilmektedir. Bu veriler ışığında bazı araştırmacılar

tarafından geliştirilmiş olan dinamik elastisite modülü-dayanım ilişkisiyle beton dayanımı tahmin edilebilmektedir [10].

1.4.1.2.2. Mekanik Dalga Hızı Yöntemi

Bu yöntemde prensip, tek bir çekiç darbesi veya tekrarlı darbeler ile oluşturulan ses dalgalarının beton içinden geçiş süresinin hesaplanmasıdır. Ölçülen bu geçiş süresi yolun uzunluğuna, başka bir deyişle alıcı ve verici arasındaki mesafeye bağlı olarak geçiş hızına çevrilmekte, dayanım ile bu hız arasında kurulan korelasyon yardımıyla elde edilen ampririk bağıntıdan beton dayanımı tahmin edilmeye çalışılmaktadır [10].

1.4.1.2.3. Ultrases Dalga Hızı Yöntemi

Beton içinden geçirilen, yapay olarak oluşturulmuş, yüksek frekanslı ses dalgalarının geçiş süresinin ölçülmesi ilkesine dayanan bu teknik aşağıda açıklanmaktadır.

Deney aletine kablolarla bağlı alıcı ve verici başlıklar (Şekil1), dayanımı belirlenecek olan beton elemanın karşılıklı iki yüzüne, beton yüzeyinde boşluk kalmayacak şekilde yerleştirilir. Deney aletinin ürettiği bir elektrik sinyali verici başlığın kristaline iletilmekte ve burada sinyaller ses dalgalarına dönüştürülmektedir. Verici başlık alıcı başlığa, deneye tabi tutulan beton eleman boyunca geçen bir ses dalgası iletmekte, burada ses dalgası elektriksel akıma dönüşmekte ve bu akım, deney aletinin katot ışın tüpünden izlenmektedir. Bunun yanında ses dalgasının vericiden alıcıya geçmesi için geçen süre, deney aleti tarafından $1\mu s$ ya da $0,1\mu s$ hassasiyetle ölçülmektedir. Ultrases hızı olarak tanımlanan sesin beton içinden geçiş hızı; alıcı ve verici arasındaki geçiş uzunluğunun geçiş süresine bölünerek, m/s cinsinden bulunmaktadır. Beton içindeki boşluklar ultrases hızını etkileyen en önemli faktördür. Zira boşluklu malzemede ses dalgalarının beton içinden geçişi yavaş olmaktadır. Ultrases hızlarının yüksek olması beton kalitesinin yüksekliğini, ultrases hızlarının düşük olması kalitenin düşük olduğunu göstermektedir. Beton kalitesi ile ultrases hızı arasındaki ilişki Tablo 1’de verilmektedir [11, 12].



Şekil 1. MaTest marka ultrases dalga hızı makinesi

Tablo 1. Beton kalitesi-Ultrases dalga hızı arasındaki ilişki

Çok İyi	>4500 m/s
İyi	3500–4500 m/s
Şüpheli	3000–3500 m/s
Zayıf	2000–3000 m/s
Çok Zayıf	<2000 m/s

Ultrases dalga hızı tekniği ile elde edilen sonuçların birçok faktörden etkilenmesi nedeniyle deney sonuçlarının beton dayanım tahmininde kullanımını sınırlandırmaktadır. Bazı araştırmacılar, basınç dayanımı tahmininde kullanılmamasını önermektedirler [4]. Bunun yanında başka araştırmacılar ise beton kalitesinin belirlenmesinin yanında, dayanım tahmininde de bu tekniğin kullanılabileceğini ve ultrases dalga hızı ile beton dayanımı arasında iyi bir bağıntı olduğunu öne sürmektedirler [13, 14, 15, 16]. Bu teknik ile yapılan beton dayanım tahminlerinde, Schmidt çekicinde olduğu gibi, daha önceden ultrases dalga hızı – dayanım ilişkilerinin bilinmesi gerekmektedir. Yapılan araştırmalar, bu tür ilişkilerle beton dayanımının \pm % 15-20'lik hata ile tahmin edilebileceğini göstermiştir [16, 17]. Ultrases dalga hızı ile beton dayanımı arasında kurulan bu ilişkileri daha iyi anlayabilmek için betonun özelliklerini etkileyen birim kütle, yaş, su/çimento oranı, agrega/çimento oranı, agrega cinsi, nem yüzdesi ve donatı etkilerini iyi bilmek gerekmektedir. Araştırmacılar ultrases dalga hızı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi beton yaşının,

çimento cinsinin ve su/çimento oranının etkilemediğini, buna karşın beton birim kütlelerinin, agrega cinsinin, donatının ve nem oranının ise söz konusu ilişkiyi, kayda değer derecede etkilediğini göstermişlerdir [8, 18].

1.4.1.3. Radyoaktif Yöntem

Bu yöntemde X ve γ olmak üzere iki ışın türü kullanılmaktadır [6, 4, 18]. X ışınları ile yapılan deneylerde malzemenin içinden geçen ışınların şiddetindeki azalmanın ölçülmesi prensibinden yararlanılmaktadır. Böylece malzemenin içindeki boşlukların varlığı, buldukları yerler hakkında bilgi edinilmektedir. Bu prensibe dayanarak malzemenin denetimi radyoskopi ve radyografi denilen iki ayrı teknikle yapılmaktadır.

Radyoskopi yönteminde, X ışınları flüoresanlı bir maddeye etkiyerek bu madde üzerinde şiddeti ile orantılı bir takım lekeler meydana getirmektedir. Lekelerin koyu olması X ışınlarının malzeme tarafından az emildiğini göstermektedir. Bu durum malzeme içinde X ışınlarının yolu üzerinde bazı boşlukların bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Bunun yanında lekelerin açık olması halinde ise boşlukların hiç olmadığı ya da az miktarda olduğu kanısına varılmaktadır. Bu yöntem ile malzeme denetiminin oldukça iyi yapıldığı belirtilmektedir [18].

Radyografi yönteminde ise, X ışınları fotoğraf plakalarını etkilemektedir. Filmler ışığı geçirmeyen fakat röntgen ışıklarını geçiren kasetler içine konulmakta ve film kısa bir süre içinde malzemedan geçen X ışınlarına maruz kaldıktan sonra banyo edilmektedir [18].

γ ışınlarının kullanımında da X ışınlarında olduğu gibi radyografi tekniği uygulanmaktadır. Malzemeyi geçen ışınlar fotoğraf filmlerini etkileyerek meydana gelen lekelerin koyuluğuna ya da açıklığına göre malzemelerin içindeki durum açıklanmaktadır. Bu yöntem ile betonun içinde yabancı cisimlerin bulunup bulunmadığı, beton kalitesi, boşluk ve çatlakların varlığı anlaşılabilirdiği gibi betonarme yapılarda donatının durumu, adeti çapı ve kıvrılma yerlerinin belirlenebildiği öne sürülmektedir [18]. Sonuç olarak bu yöntemlerin uygulanmalarının diğer yöntemlerden daha pahalı ve daha çok uzmanlık istediklerini belirtmek doğru olacaktır.

1.4.1.4. Olgunluk Yöntemi

Yönetmelikler, standart kür gören numunelerin 18°C-20°C'lik sabit bir sıcaklıkta saklanmasını öngörmektedir. Deneyler ortam sıcaklığı azaldıkça beton dayanım artış hızının azaldığını, hatta -10°C'de çimento hidrasyonunun tamamen durduğunu, ortam sıcaklığının artması halinde ise dayanım artış hızının arttığını göstermektedir [19].

T_i , ortam sıcaklığı olarak alınabilen beton sıcaklığını, t_i, T_i sıcaklığında geçen gün (ya da saat) cinsinden zamanı göstermek üzere, olgunluk derecesi;

$$O.D. = \sum t_i * (T_i + 10) \quad (1)$$

bağıntısı ile ifade edilmektedir. Her bir olgunluk derecesine karşılık gelen dayanım değerleri deneysel olarak saptanmakta ve olgunluk derecesi-dayanım ilişkisi elde edilmektedir. Literatürde mevcut bu tür ilişkilerden yararlanılarak belli olgunluk derecesine sahip betonların basınç dayanımının güvenilir bir şekilde tahmin edilebileceği öne sürülmektedir [16, 20, 21].

1.4.1.5. Ses Yayılımı Ölçme Yöntemi

Metallerin yorulma çatlaklarının varlığı, gelişimi ve ilerleme hızının belirlenmesinde bu yöntem uzun zamandan beri kullanılmaktadır [4]. Artan gerilme ya da şekil değiştirme esnasında uygulanan bu yöntem yapı üzerinde de uygulanabilmektedir. Çatlama ile birlikte çıkan sesler kaydedilerek çatlama başlangıç yeri ve sayısı belirlenebildiğinden oluşan çatlakların durumuna göre yapı güvenliğinin tehlikeye düşüp düşmediğine karar verilebilmektedir [6].

1.4.1.6. Yükleme Deneyi

Bu yöntemde yükler yapıda gerekli görülen yerlere yerleştirilmekte ve belli bir süre sonra kaldırılarak elamanın çökmeleri ölçülmektedir. Yükleme sırasında elemanda oluşabilecek değişikliklere ve yükleme sonunda ölçülen şekil değiştirmelere bağlı gerekli önlemler alınabilmektedir [19, 22].

1.4.2. Yarı Tahribatlı Yöntemler

Bu gruptaki yöntemler yapı elemanını çok az ya da hiç tahrip etmemektedir. Bu yöntemlerin bazılarında deney sırasında ölçülen büyüklüğün belirli bir sınır değere ulaşip ulaşmayacağı incelenmekte ve ulaşılması durumunda betonda parçalanma, kırılma olmadan deneye son verilebilmektedir. Bu durumda yapıda herhangi bir tahribat olmamakta, yalnızca deney neticesinde oluşan bazı izler görülebilmektedir. Ancak, bazen ölçülen büyüklük bu belirli sınıra varmadan kopma olabilmektedir [22]. Batırma yöntemi hariç diğer yöntemler aynı ilkeye göre çalışmaktadır. Sadece kullanılan aletler bakımından farklı olan yöntemlerde, çeşitli şekillerde betona sokulan ya da yapıştırılan parçaların betondan çekilip çıkarılması ya da koparılması için gerekli kuvvet ölçülmekte ve buradan daha önce kurulan ilişkiler yardımıyla betonun bazı mekanik özelliklerine geçilebilmektedir [6]. Aşağıda bu yöntemlerden bazıları anlatılmaktadır.

1.4.2.1. İç Kırılma Yöntemi

Bu yöntem, ucu genişleyebilen bir vidanın betonda açılan 6 mm çaplı deliğe yerleştirilmesinden ibarettir. Vida çıkarken, betondan bir kısmını kopararak beraberinde götürmektedir. Koparmak için gerekli kuvvet aletten okunmakta ve deney en az 6 kez tekrarlanıp, kalibrasyon eğrileri kullanılarak basınç dayanımına geçilebilmektedir [6, 17].

1.4.2.2. Çekip Çıkarma Yöntemi

Döküm sırasında yaklaşık 75 mm derinliğe kadar taze betona sokulan ucu yuvarlatılmış özel biçimli çelik çubuğun belli bir süre sonra betondan çekip çıkarılması için gerekli kuvvetin ölçülmesi ilkesine dayanır. Burada ölçülen değer betonun kayma dayanımı olup, bu değer daha sonra basınç dayanımına dönüştürülebilmektedir. Bu yöntemle elde edilen değerler beton test çekicinden ve Windsor sondasından elde edilenlerden daha değerlidir [6].

Malhotra [23] çekip çıkarma yöntemiyle elde edilen basınç dayanımının betonun basınç dayanımına oranını araştırmış, bu oranının doğrudan basınç dayanımıyla değiştiğini

bulmuş ve herhangi bir dayanım düzeyinde bu oranın doğrudan beton yaşıyla önemli miktarda değişmediğini de belirlemiştir [8].

Yüksek performanslı betonlarda bu yöntem güvenilir sonuçlar vermekle beraber deney alanı etrafındaki anormal çatlaklar nedeniyle bazı sonuçların dikkate alınmaması gerekmektedir [24].

1.4.2.3. Çekip Koparma Yöntemi

Bu yöntemde, beton yüzeyine kuvvetli bir yapıştırıcı ile yapıştırılan dairesel çelik bir levhaya, yapışık olduğu betondan bir parça koparıncaya kadar çekme kuvveti uygulanmakta ve ölçülen kopma kuvveti yardımıyla kullanılan alet için verilen kalibrasyon eğrileri yardımıyla basınç dayanımı tahmin edilmektedir [25].

1.4.2.4. Eğip Koparma Yöntemi

Bu yöntemde, belirli boyutlarda silindirik kalıplar döküm sırasında taze betona konulmakta ve belli bir süre sonra betondan çıkarılmaktadır. Daha sonra sadece diplerinden ana kütleyle bağlı olan silindirik numunelerin üst kısımlarından kuvvet uygulanarak dip kısımlarından kırılması sağlanmaktadır. Benzer işlem sertleşmiş betondan, karot almak için de yapılmaktadır. Burada, betonu dip kısımdan kırmak için gereken kuvvetten eğilme dayanımına, bundan da basınç dayanımına geçilebilmektedir [6].

1.4.2.5. Batırma Yöntemi

Esas olarak, bir yüzey sertlik deneyi ilkesine dayanan bu yöntem için bir çok ülkede kullanılan alet Windsor sondasıdır. Bu yöntemde, sert bir alaşımdan yapılmış sonda, özel tabancasının ateşlenmesi sonucu oluşturulan basınç kuvveti altında betona batırılmakta ve batma derinliği ölçülmektedir. Bulunan değerler yardımıyla kalibrasyon eğrilerinden basınç dayanımına geçilebilmektedir [6].

Pascale vd. [24] yüksek performanslı betonla yaptıkları deneysel çalışmalarında, bu yöntemin agregaları ve çimento hamurunu sıkıştırarak bu iki faz arasındaki aderansı bozduğunu belirterek 100 MPa'dan fazla dayanımlarda sondanın doğru bir şekilde

batırılmadığını ve genellikle eğilmesi veya kırılması neticesinde güvenilir sonuçların alınmadığını ifade etmişlerdir.

1.4.3. İkili Yöntemler

Beton dayanımının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin bir kaçının bir arada kullanılması halinde, beton dayanımının daha sağlıklı bir şekilde belirlenebileceği bir çok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır. Bu konuda Malhotra [20], Samarin ve Maykink'in beton çekici yöntemi ile ultrases dalga hızı yönteminin, Boundy ve Hondros'un ise hızlandırılmış kür yöntemi ile beton çekici yönteminin birlikte kullanımı önerdiğini belirtmektedir. Aynı makalede Tomsett'in ultrases dalga hızı ve çekip çıkarma yöntemlerinin birlikte kullanımı halinde daha güvenilir sonuçlar elde edilebileceğini ifade ettiği belirtilmektedir.

Çeşitli seçenekler içerisinde Avrupa'da SONREB yöntemi olarak bilinen beton test çekici ile ultrases dalga hızı yönteminin bir arada kullanıldığı ikili yöntem son yıllarda öne çıkmaktadır [24, 26].

1.4.4. Tahribatlı Yöntemler

Beton dayanımını doğrudan veren ve elde edilen sonuçların çeşitli parametreler göz önüne alınarak standart numune dayanımlarına dönüştürülebilen tahribatlı yöntemlerin çok büyük hatalar içermeleri mümkün olabilen yarı tahribatlı ve tahribatsız yöntemlere oranla beton kalitesinin belirlenmesinde daha güvenilir sonuçlar vermesi beklenir. Bu nedenle yarı tahribatlı ve tahribatsız yöntemler kullanılırken yapıdan özellikle karot numuneler alınması ve kalibrasyonun bu karotlara göre yapılması gerekmektedir [27].

Yapıda yerel tahribatlara yol açan bu yöntemler her zaman uygulanmamakta, uygulandıkları takdirde ise dikkatlice planlanmamaları halinde yapı güvenliğini de tehlikeye sokabilmektedirler [6, 10].

1.4.4.1. Gömülü Numune Kullanma Yöntemi

Yapıdan karot alma işlemine benzeyen yöntemde, kalıba içi boş silindirik kalıplar yerleştirilmekte ve beton dökülmektedir. Beton sertleştikten sonra yerinden çıkarılan numunelerin merkezi basınç dayanımları belirlenmektedir. Bu yöntemin karot alma yönteminden farkı, delme veya kesme etkisinin dayanıma etkime ihtimalinin ortadan kalmış olmasıdır.

1.4.4.2. Karot Numune Alma Yöntemi

Bu yöntemde, basınç dayanımının bulunması istenen yapı elemanından, yapıyı emniyet bakımından en az zarar verecek şekilde belirli boyutlardaki karot adı verilen silindirik numuneler kesilmek suretiyle alınmakta ve bu numuneler üzerinde çeşitli deneyler yapılarak beton kalitesi belirlenmektedir.

Yapıdaki sertleşmiş betondan alınması gereken karot sayısı (n), TS 500 [22]'de belirtilen şekilde kalite denetimi için yeterli olan numune sayısına (N) bağlıdır. (N) dökülen betonun her 50 m³ ünden alınması gereken numune sayısını ifade etmektedir. Bu sayı normal dayanımlı betonlarda en az 3, yüksek dayanımlı betonlarda ise 6 olmalıdır. Sertleşmiş betondan alınacak karot sayısına, karot çapı ve karot alınan betonda kullanılan en büyük agrega tane çapı ile karakteristik beton basınç dayanımına bağlı olarak Tablo 2 yardımıyla karar verilmelidir [28].

Tablo 2. Karot çapı, en büyük agrega tane çapı ve beton sınıfına göre sertleşmiş betondan alınması gereken karot sayısı (n)

Alınan Karot Çapı (d)	En Büyük Agrega Tane Çapı D_{max}	Alınması Gereken En Az Karot Sayısı (n)	
		Normal Beton (C 16, C 20, C 25)	Yüksek Dayanımlı Beton (C 30, C 35, C 40, C 45, C 50)
$d \geq 100$ mm	$D_{max} > 32$ mm	$n \geq 3$ ($n > N$)	$n \geq 6$
$d < 100$ mm	$D_{max} \leq 16$ mm	$n \geq 6$ ($n > 2N$)	$n \geq 12$
$d < 100$ mm	$D_{max} > 16$ mm	$n \geq 9$ ($n > 3N$)	$n \geq 18$

Karot alma yöntemiyle betonun basınç ve eğilme dayanımı gibi mekanik özellikleri yanında çimento dozajı, karışım oranı, boşluk oranı gibi özellikler de belirlenebilmektedir.

Beton kalitesinin basınç dayanımı ile karakterize edildiği ve alınan karot numunelerin merkezi basınç dayanımlarının da karot dayanımı olarak adlandırıldığı bilinmektedir. Uygulamada ise beton dayanımı standart numune dayanımı cinsinden belirtilmektedir. Bu nedenle karot dayanımlarının, yapının basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılabilmesi için standart numune dayanımına dönüştürülmesi gerekmekte ve bu dönüşüm sırasında karot dayanımlarını etkileyen parametreler dikkatlice incelenmesi gerekmektedir.

1.5. Karot Numune Dayanımına Etki Eden Parametreler

Karot dayanımına etki eden parametreler teknik literatürde;

- Karot Çapı,
- Karot Narinliği,
- Karot Alma Doğrultusu,
- Karot Alınan Yer,
- Karot Kürü,
- Karot Nem Durumu,
- Karot Yaşı,
- Karot İçinde Kalan Donatı,
- Karot Almada Kesme Etkisi,
- Karot Alınan Beton Dayanımı olarak bilinmektedir [6, 10].

Bu parametrelerden çap, narinlik, kür, nem durumu ve yaşın standart numune dayanımını da etkilediğini belirtmek gerekmektedir.

1.5.1. Karot Çapı

Teknik literatürde bu konu hakkında farklı görüşler ileri sürülmektedir. Kimi araştırmacılar standart numuneler için geçerli olan narinlik sabit kalmak koşuluyla çap büyüdükçe dayanım azalmasının karotlar içinde geçerli olduğunu savunurken, kimileri de

bunun aksini savunmaktadır. Ayrıca karot çapının dayanıma etkisi olmadığını ileri süren araştırmacılar da vardır [6].

Bhargava [29], Kesler [30] ve Lewandowski [31] standart silindirde olduğu gibi, karotlarda da çap küçüldükçe dayanımın arttığını iddia etmektedirler. Bhargava aynı kaynakta Blanks'ın bu görüşü desteklediğini belirtmektedir. Goncalves [32]'de 140 mm., 110 mm., 90 mm. ve 50 mm. çaplı karotlarla yaptığı deneyler sonucunda 28 günlük dayanımlarının maksimum agrega boyutunun artması ve karot çapının azalmasıyla arttığını savunmuştur. Bunun yanında çapın gerçek karot dayanımını etkilemediği aynı makalede belirtilmiştir. Bowman [33] yakın yerlerden alınan karotlardan 50 mm. çaplı numunelerin 150 mm. çaplı numunelere oranla daha yüksek dayanım ve daha fazla değişkenlik gösterdiğini ifade etmektedir.

Bunun yanında Lewis [34], Campbell ve Tobin [35] Durmuş [27] ise karot çapı büyüdükçe dayanımında arttığı görüşünü savunmaktadırlar. Bartlett ve MacGregor [36] yaptıkları istatistiksel analizler sonucunda 50 mm. çaplı karotların 100 mm. çaplı karotların dayanımının %94'üne ve 150 mm. çaplı karotlarınkinin ise %92'sine ulaşabildiklerini ileri sürmüşlerdir. Bartlett başka bir makalesinde [37] 100 mm veya 150 mm çaplı karotlar kullanıldığında betonun gerçek dayanımının \pm %4-%5.5 aralığında, 50 mm çaplı karotlarda ise \pm %12.5'luk bir tolerans payıyla hesaplanabildiğini ifade etmiştir. TSE EN 12504-1 [38]'de yapılan deneylerde maksimum tane çapı 20 mm. olan betonlarda 100 mm. çaplı karot numune dayanımının 50 mm. çaplı karot numunesinden % 7 fazla ve 50 mm. çaplı karot numune dayanımının 25 mm. çaplı karot numunesinden % 20 daha yüksek olduğu ifade edilmektedir. Aynı kaynakta maksimum tane çapı 40 mm. olan betonlarda ise 100 mm. çaplı karot numune dayanımının 50 mm. çaplı karot numunesinden % 17 fazla ve 50 mm. çaplı karot numunenin dayanımının 25 mm. çaplı numunelerden % 19 daha yüksek olduğu belirtilmiştir.

Ayrıca Petersons [39] ve Meininger [40] karot çapının dayanıma etkisi olmadığını ifade etmektedirler. Akça [10] da 100 mm. ve 55 mm. çaplı, eşit narinlikli karot numuneler ile yaptığı çalışmalarının sonucu da bu düşüncüyü desteklemektedir. Yip ve Tam [41] aynı koşul ve kaliteye sahip olan 50 mm ve 100 mm çaplı karotların dayanımları arasında önemli bir fark olmadığını ifade etmektedirler.

Petersons [39], karot numunelerin standart silindir numunelerin davranışını göstermeyişini, diğer bir deyişle çap ile birlikte karot dayanımının değişmemesini küçük çaplı karotlarda numune hacminin daha büyük bir kısmının yanıl yüzeye açık olmasına

bağlanmakta ve küçük çaplı karot dayanımının delme etkisinden daha fazla etkilendiğini ve bunlarda hacim etkisinden doğan dayanım artışının dengelendiğini savunmaktadır. Bhargava [29] ve Bungey [42] de bu görüşü desteklemektedirler.

Karot numune almada genellikle iç çapı 35 mm - 100mm arasında değişen çeşitli karot bıçakları kullanılmakla beraber en yaygın kullanılanlar 100 mm ve 150 mm'lik bıçaklardır [43].

ASTM C42 – 84a [44]'da ise karot çapının belli bir değer yerine maksimum agrega boyutuna bağlı olarak seçilmesi öngörülmektedir. Avrupa Beton Komitesinin 11 numaralı teknik raporunda [45] aynı önerinin Avustralya Standartlarında da yapıldığı belirtilmektedir. Bu standartlarda minimum karot çapının, betonda kullanılan maksimum agrega boyutunun en az 3 katı olması önerilmekte ve hiçbir zaman 2 katından daha az olmaması gerektiği ifade edilmektedir. Uluslararası Standartlar Organizasyonu [46] ve Amerikan Beton Enstitüsü [47] karot çapının maksimum agrega boyutundan en az 3 kat fazla olması durumunda 50 mm'den küçük karotların da kullanılmasına izin vermektedir. TS EN 12504–1 [38]'de maksimum tane boyutunun karot çapına oranının 1/3'ten daha büyük olması halinde dayanımın gerçekçi bir şekilde ölçülemeyeceği belirtilmektedir. TS 10465 [28]'te de karot çapının betonda kullanılan maksimum agrega boyutunun en az 3 katı olması gerektiği, özel durumlarda narin yapı bileşenlerinde ya da donatının fazla olduğu yapı elemanlarında ise 50 mm'den az olmamak kaydı ile küçük çaplı karotların kullanılmasına izin verilmektedir.

Mohiuddin [48], 75 mm çaplı karotlarda maksimum agrega boyutunun 25 mm'den düşük olduğu durumlarda basınç dayanımının iyi bir şekilde tahmin edilebileceğini, 50 mm çaplı karotların ise maksimum agrega çapının 19 mm'yi aştığı durumlarda kullanılmaması önerilmektedir.

1.5.2. Karot Narinliği

Genellikle bu konuda numune narinliği ($\lambda = h/\phi$) arttıkça dayanımın azaldığı belirtilmektedir [6, 9].

Chung [49] narinliğin karot dayanımı üzerindeki etkilerini araştırmış ve elde ettiği sonuçları ASTM C 42 [44], BS 1881 [50]'de var olan verilerle karşılaştırmıştır. Böylece, λ , karotun h/ϕ oranını(narinliğini) göstermek üzere, dayanım düzeltme katsayısı k ;

$$k = \frac{2}{1,5 + (1/\lambda)} \quad (2)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.

Chung [49] basınç deney aletini çelik plaklarının numunenin iki yüzeyi üzerinde basınç deneyi boyunca oluşturduğu sıkıştırmanın karotun yanal genişlemesini sınırlandırdığını ve numunede üç eksenli bir gerilme durumu yarattığını ifade etmektedir. Böylece narinlik oranı azaldıkça karot dayanımının arttığı belirtilmektedir.

Yip ve Tam [41] narinliğin 50 mm. çaplı ve 100 mm. çaplı karotlar üzerindeki etkilerinin Chung'ın ifadesi doğrultusunda olduğunu savunmakta ve düzeltme katsayısının BS 1881 [49]'e göre ASTM C 42 [44]'deki değerlere daha yakın olduğunu ifade etmektedirler.

Barlett ve MacGregor [51] yüksek performanslı beton numunelerde düzeltme katsayılarının önemli ölçüde azaldığını, dolayısıyla beton dayanımı arttıkça düzeltme katsayılarının bire yaklaştığını belirtmekte ve narinliği 2 olan numunelerin düzeltme katsayılarının, narinliği 1 olan numunelerinkinden dikkate değer bir miktarda fazla olmadığı savunmaktadırlar (Tablo 3).

Ayrıca Barlett ve MacGregor [36] farklı bir makalelerinde karot dayanımında narinlik oranının 50 mm. çaplı numunelerde 100 mm. çaplı numunelere oranla daha etkin olduğu ifade edilmektedir.

Petersons [52], narinlik ile dayanım arasındaki ilişkinin, standart silindirler için verilen ilişki ile uyum içinde olduğunu ifade etmektedir. Narinliğin dayanıma etkisine ilişkin en önemli çalışma 1950'li yıllarda Kesler [30] tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada narinlik oranının 0,5 ile 2,5 arasında değişimine karşılık, dayanımların 14 MPa ile 49 MPa arasında değiştiği belirlenmiştir.

Lewis [53], Kesler'in sonuçlarından yararlanarak, narinliği 2'den farklı karot numune dayanımının, narinliği 2 olanlarınkine dönüştürülmesi için bir takım katsayıların çıkarılabileceğini ifade etmektedir.

Arıoğlu vd. [54], karot basınç dayanımlarının 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir numune cinsinden ifade edilecekse karotların narinlik oranlarının ikiye oldukça yakın alınması gerektiğini, 150 mm x 150 mm boyutlu küp numuneler cinsinden istendiği takdirde ise karot narinliğinin 1 olması gerektiğini belirtmişlerdir.

Orchard [8], İngiliz Standartlarında dönüşüm katsayısı için narinliğin;

$$1 \leq \lambda \leq 2 \text{ aralığında ve } r = (\lambda - 1) \text{ olmak üzere, } 0,92 + 0,08r \quad (3)$$

olarak hesaplanabileceğinin önerildiğini belirtmektedir. $\lambda = 1$ ve $\lambda = 2$ için dönüşüm katsayısı sırasıyla 0,92 ve 1,00 değerlerini almaktadır.

Bloem [55] çapı 102 mm olan ve narinliği 1,00 ile 2,00 arasında değişen karotlarla yaptığı çalışmada narinliği 1,00 olan karot dayanımlarını, narinliği 2,00 olanlarınkine dönüştürmek için ASTM C42 – 84a [44] tarafından önerilen 0,91 dönüşüm katsayısının kullanılmasının yeterli olduğunu belirtmektedir.

Bazı standart ve araştırmalarda narinliği 1,00 ve 1,50 olan karot dayanımlarının narinliği 2,00 olanlarınkine oranları Tablo 3’de verilmektedir.

Tablo 3. Bazı standart ve araştırmalarda narinliği 1,00 ve 1,50 olan karot dayanımlarının 2 narinlikli karot dayanımına oranı.

Standart veya Araştırma	Narinliği 1,00 Olan Karotların Dayanım Oranı	Narinliği 1,50 Olan Karotların Dayanım Oranı
Meininger, Wagner ve Hall [40]	1,15	1,14
Kesler[45]	1,19	0,99
Hofsay[45]	1,33	1,09
Lewandowski [45]	1,23	1,08
Sangha ve Dhir [45]	1,22	1,02
Tam, Ooi ve Ooi [57]	1,29	1,15
Yip [58]	1,25	1,09
Yip ve Tam [41]	1,13	1,04
Akça [10]	1,29	1,08
BS 1881: Part 120 [59]	1,25	1,08
ASTM C42- 84a [44]	1,15	1,04
Bungey [42]	1,26	1,12

Malhotra [56], Kuzey Amerika standartlarında merkezi basınç dayanımının, narinliği 2, çapı 152 mm olan numuneler üzerinde belirlendiğini, dolayısıyla karotların da bu

boyutlarda olması gerektiğini, ancak bu durumda karot boyunun 304 mm olması gerekeceğini, yapılarda ise bu kalınlıkta elemanlara nadiren rastlanacağını belirtmektedir. Bu noktada yapıda bu boyutlarda karot alınacak elemanların bulunması halinde bile yapı tahribatının büyük olmaması için mümkün mertebe bundan kaçınmanın daha uygun olacağını belirtmek gerekmektedir. Bu durum dönüşüm bağıntılarının ve katsayılarının önemini ortaya koymaktadır.

Narinlikle ilgili olarak TS 10465 [28]'de yapıdan alınan karotların düzgün olmayan yüzeylerinin laboratuarda yüksekliği çapına eşit olacak şekilde düzeltilmesi ve toleransın \pm % 10 olması öngörülmektedir.

1.5.3. Karot Alma Doğrultusu

Bazı araştırmacılar yapı elemanından beton döküm yönüne dik doğrultuda alınan karotların merkezi basınç dayanımlarının döküm yönünde alınanlarınkinden daha yüksek olduğunu belirtmektedir. Petersons'a [39] göre bunun % 10, Meininger'e [40] göre ise % 6 olduğu iddia edilmektedir. Yip ve Tam [41] yaptıkları deneysel çalışmada, yaş ve narinlik sabit kalmak üzere döküm yönüne dik doğrultuda alınan karot dayanımlarının, döküm yönünden alınankilerden; 50 mm çaplı karotlarda % 8, 100 mm çaplı karotlarda ise % 4 daha yüksek olduğunu, bunun aksine Bungey [42] döküm yönüne dik doğrultuda alınan karot dayanımlarının daha düşük olduğunu belirtmektedir.

Bloem [55] ise, her iki görüşün aksine karot alma doğrultusunun karot dayanımını etkilemediğini savunmaktadır.

1.5.4. Karot Alınan Yer

Beton dayanımının eleman yüksekliği boyunca değiştiği ve alt yüze yakın beton dayanımının üste yakın olanınkinden daha büyük olduğu ve aradaki farkın % 20'ye vardığı belirtilmektedir [10, 30, 55].

Yip ve Tam [41]'ın, karot alınan yerin dayanımına etkisi konusunda yaptıkları deneysel çalışmadan elde etmiş oldukları sonuçlar;

- İç çapı 100 mm. olan bıçaklarla döküm yönüne dik doğrultuda alttan alınan karot numune dayanımlarının üstten alınanlardan % 10 daha büyük olduğu,

- İç çapı 50 mm. olan bıçaklarla döküm yönüne dik doğrultuda alttan alınan karot numune dayanımlarının üstten alınanlardan % 8 daha büyük olduğu, döküm yönünde alttan alınanlarınkinin ise üstten alınanlarınkinden % 9 daha büyük olduğu şeklindedir.

Kabay [26], özellikle eğilme gerilmesine maruz kalan taşıyıcı yapı elemanlarının çekme bölgelerinden karot alınmaması gerektiğini, zira bu bölgede çekme gerilmelerinden dolayı kılcal çatlaklar oluştuğunu ve bu çatlakların kesme etkisi ile oluşanlarla birleştiğinde karot dayanımının gerçek dayanımdan oldukça düşük değerler vereceğini ifade etmiştir.

1.5.5. Karot Kürü

Saklama koşullarının beton dayanımı üzerindeki etkisinin ihmal edilemeyecek düzeyde olduğu bilinmektedir. Bu konuda araştırmacıların vardıkları ortak kanı, ideal kür koşulunun $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 'deki su ortamı olduğu suda saklanmayan numunelerin, suda saklanan numunelere oranla daha düşük dayanım verdiği şeklindedir [8, 19, 55].

Yip ve Tam [41], su dışında ve suda saklanan elemanlardan alınan karotlar üzerinde yaptıkları deneylere göre farkın:

- Döküm yönüne dik doğrultuda alınan 100 mm. çaplı karotlarda % 4,
- Döküm yönüne dik doğrultuda alınan 50 mm. çaplı karotlarda % 11,
- Döküm yönünde alınan 100 mm. çaplı karotlarda % 4,
- Döküm yönünde alınan 50 mm. çaplı karotlarda % 22 olduğunu belirtmektedir.

1.5.6. Karot Nem Durumu

Deney anında, numunedeki nem miktarının basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için yapılan çalışmalar; kuru numune dayanımlarının ıslak numunelerinkinden daha yüksek olduğunu göstermektedir [43, 57, 27].

Neville [43]'in Mills'den aktardığına göre; ıslak numunelerin düşük dayanım vermesi; emilen suyun çimento jelini şişirmesi ve bu suretle katı parçacıkların kohezyon kuvvetinin azalması, kuru numunelerde ise suyun katı parçacıklar arasındaki hareket

etkisinin kalktığı şeklinde açıklanmaktadır. Arıoğlu vd. [54] ve Kabay [26]'da çalışmalarında bu görüşü savunmuşlardır.

Burada numunelerin kuru olmasından 28 günlük standart kürden sonra yapılan kurutma anlaşılmaktadır. Zira dökümden sonra katılaşmaya ve sertleşmeye kurumaya bırakılan numunelerin kür yetersizliği nedeniyle standart kür gören numunelerden daha düşük dayanım verdiği bilinmektedir.

İngiliz Standardında BS 1881: Part 120 [59] deneylerin 48 saat su içinde saklanan karotlar üzerinde yapılmasını öngörmektedir.

1.5.7. Karot Yaşı

Kemirici olmayan ortamlarda beton dayanımının zamanla arttığı, projelendirmelerde ise genellikle ideal koşullarda saklanan 28 günlük standart silindir küp numune dayanımlarının dikkate alındığı bilinen bir gerçektir. Karot alınan yapı betonunun daha yaşlı olması durumunda, beton sınıfının tahmininde bu durumun hesaba katılması gerekli olmaktadır.

Bloem [60], 91 günlük beton dayanımının 28 günlük beton dayanımından % 11 daha büyük olduğunu, Campbell ve Tobin [35] ise iyi koşullarda saklanan ve 84 günlükken alınan karot dayanımının 21 günlükken alınandan % 3–13 kadar daha büyük olduğu belirtilmektedir.

Yip ve Tam [41] yaptıkları deneysel çalışma sonuçlarına dayanarak 84 günlük karot dayanımının 28 günlük karot ve 28 günlük standart küp dayanımlarına oranlarını;

- Döküm yönüne dik doğrultuda alınan 100 mm. çaplı karotlarda 0.92,
- Döküm yönünde alınan 100 mm. çaplı karotlarda 0.91,
- Döküm yönüne dik doğrultuda alınan 50 mm. çaplı karotlarda 0.92,
- Döküm yönünde alınan 50 mm. çaplı karotlarda 0.85 şeklinde, 84 günlük karot dayanımlarının 28 günlüklerden;
- Döküm yönüne dik doğrultuda alınan 50 mm. çaplı karotlarda % 20,
- Döküm yönüne dik doğrultuda alınan 100 mm. çaplı karotlarda % 12,
- Döküm yönünde alınan 50 mm. çaplı karotlarda % 20,
- Döküm yönünde alınan 100 mm. çaplı karotlarda % 17 daha büyük olduğu şeklinde vermektedirler.

1.5.8. Karot İçinde Kalan Donatı

Yapıdan karot alırken emniyetini tehlikeye sokmamak için donatının kesilmemesine azami özenin gösterilmesi gerekmektedir. Bunun için donatı çubuklarının yerini belirlemeye imkân veren (microcovermeter gibi) çeşitli tip aletler mevcuttur. Buna rağmen alınan karotlarda donatı parçasının bulunmasının dayanımları düşürdüğü genel bir kanı olmakla beraber bu kanıyı desteklemeyen yayınlarda bulunmaktadır [6, 10].

Petersons [39], uygulamada karot alınırken içinde donatı parçasının kalabileceğini, ancak bu parçalar genellikle yüklemeye doğrultusuna dik olduğundan dayanımı etkilemediğini, Lewandowski [61] ise karotlardaki donatı miktarı arttıkça dayanımın azaldığını ancak bu azalmanın ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu belirtmektedir.

Malhotra [56]'nın, Gaynor'dan aktardığına göre, karotlarda donatının bulunması dayanımda % 8–13 bir azalmaya neden olmaktadır.

1.5.9. Karot Almada Kesme Etkisi

Dayanımın azalmasının nedeni olarak, karot alma işlemi sırasında kesilen agreganın çimento hamurundan ayrılma olasılığının çok fazla olması gösterilmekte, elde edilen karot basınç dayanımlarının aynı narinlikte ve çapta dökülmüş silindir numune basınç dayanımlarından daha düşük olacağı ifade edilmektedir [26].

Araştırmacılar genellikle karot almada kesme etkisinin dayanımı azalttığı ortak görüşündedirler [27, 38, 53, 61, 62]. Bloem [60], kesme etkisini araştırmak amacıyla karot ve gömülü numune dayanımlarını karşılaştırmasında kesme işleminin dayanımı % 7 azalttığı sonucuna varmıştır.

Durmuş [27] yaptığı deneysel çalışmada kesme etkisinin saklama koşullarına bağlı olarak değiştiğini belirterek dışarıda saklanan deney numunelerindeki kesme etkisinin kür ortamında saklananlardan % 15 daha fazla olduğunu belirtmiştir.

1.6. Karot Dayanımı ile Gerçek Dayanım Arasındaki İlişki

Yapı elemanından alınan karotlar üzerinde merkezi basınç deneyi yapılarak, yapıdaki betonun, o andaki aynı koşullarda saklanmış aynı yaştaki standart numune dayanımı cinsinden dayanımı belirlenmektedir. Bu dayanıma “Gerçek Dayanım” adı verilmektedir.

Araştırmacılar çalışmalarında aynı koşullarda üretilen, yerine konan, kür gören ve aynı yaşta denenen karot ve standart boyutlu numunelerin dayanımlarını karşılaştırıp aralarında bir ilişki bulmaya çalışılmıştır.

Lewis [53], Bloem ve Hofsoy’un çalışma sonuçları üzerinde yaptığı incelemelerde, karot dayanımlarının standart silindir dayanımlarından daha düşük olduğu ve gerçek dayanım arttıkça karot dayanımının giderek azaldığı sonucuna varmıştır. Ayrıca 14 MPa dayanım düzeyinde karot dayanımının standart silindir dayanımına oranının 0,90, 42 MPa dayanım düzeyinde ise bu oranın 0,66 olduğunu ifade etmiştir.

Campbell ve Tobin [35], 152 mm x 304 mm boyutlu karot dayanımının standart silindir dayanımının % 88’i, 102 mm x 204 mm boyutlu karot dayanımının ise % 65-70’i dayanımının standart silindir dayanımından düşük olduğunu öne sürmüştür.

Bahadır [6] deneysel çalışmasında aynı koşullarda üretilen, sakladığı ve aynı yaşta denediği standart silindir numune dayanımları ile 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındaki küp numunelerden aldığı 75 mm x 150 mm boyutlu karot dayanımları arasında, f_k karot dayanımını göstermek üzere, standart silindir dayanımı f_{gs} ;

$$f_{gs} = 1,27f_k - 1,536 \quad (4)$$

şeklinde bir bağıntı elde etmiştir. Bu bağıntıda korelasyon katsayısı 0.988’dir.

Ayrıca, bu bağıntının 5,0 MPa – 30,0 MPa arasında standart silindir dayanım düzeyinde geçerli olduğu ifade edilmiştir. Bu bağıntıya göre 75 mm * 150 mm boyutlu karot dayanımının 15,0 MPa olması halinde yapıdaki betonun o günkü gerçek dayanımı 17,5 MPa olmaktadır. Ancak bu bağıntının korelasyon katsayısı 1,00 olmadığından bu bağıntının yaklaşık sonuç vereceği, ayrıca şantiyelerde üretilen beton dayanımları laboratuarda üretilenlerden daha çok dağılım gösterdiğinden korelasyon katsayısının daha küçük olacağı, dolayısıyla da karot dayanımlarından gerçek dayanımların belirlenmesindeki hata payının yükseleceği açıktır.

Smutter [66], şantiye koşullarında saklanan elemanlardan aldığı 75 mm çaplı, 150 mm yüksekliğindeki karotların, aynı koşullarda saklanan 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindirlerden daha düşük dayanım verdiğini ve bu iki numune dayanım oranının 13,7 MPa standart silindir dayanımı için 0,97, 34,2 MPa standart silindir dayanımı için ise 0,82 olduğunu belirtmektedir. Genelde karot dayanımlarının standart numune dayanımlarından daha düşük olduğu yönündeki bu görüşlerin yanında, Petersons [39] 25,0-15,0 MPa'lık 150 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındaki standart küp dayanımı aralığında, 70 mm x 70 mm ve 100 mm x 100 mm boyutlarındaki karot numunelerin merkezi basınç dayanımlarıyla standart küp dayanımları arasında dikkate değer bir fark olmadığını öne sürmektedir.

Poineau [67] ise karot dayanımının gerçek dayanıma oranının;

$$\frac{f_k}{f_{gs}} = 0,64 + \frac{1}{\frac{h}{\phi} + \frac{\phi}{20}}$$

bağıntısıyla hesaplanabileceğini belirtmektedir.

Poijarvi [68], 35 mm * 70 mm, 50 mm * 100 mm, 75 mm * 150 mm ve 100 mm * 200 mm boyutlu karotlarla elde edilen basınç dayanımının, 200 mm * 200 mm * 200 mm boyutlarındaki standart küplerin dayanımına oranının 0,8 ila 1,14 aralığında değiştiğini ve bunun ortalama değerinin 1,0 olduğunu ifade etmektedir.

Bahadır [6] literatürde var olan araştırma sonuçlarını kendi sonuçları ile karşılaştırarak dayanım düzeyi 5,0 MPa – 15 MPa olan betonlardan alınan karot dayanımının gerçek dayanıma oranının 0,95 olduğunu 15,0 MPa'dan büyük dayanım düzeyleri için bu oranın dayanım arttıkça azalabileceğini belirtmektedir.

Bazı araştırmacılara göre karot dayanımları ile gerçek dayanım arasındaki ilişki, f_k karot dayanımını, f_s standart silindir dayanımını, f_{gs} standart silindir dayanımı cinsinden tanımlanan gerçek dayanımı, $f_{gküp}$ küp dayanımı cinsinden tanımlanan gerçek dayanımı göstermek üzere, Tablo 4'de verilmektedir.

Tablo 4. Bazı araştırmacılara göre gerçek dayanımla karot dayanımı arasındaki bağıntılar

Kaynak	Bağıntı	Koşullar	
		Dayanım Seviyesi (MPa)	Karot Boyutları (mm x mm)
Lewis [53]	$f_{gs} = 1,11 f_k$	$f_s = 14,0$	
	$f_{gs} = 1,52 f_k$	$f_s = 42,0$	
Campbell, Tobin [35]	$f_{gs} = 1,14 f_k$	$f_s = 25,5-37,5$	152 x 304
	$f_{gs} = 1,42 f_k$	$f_s = 19,5$	102 x 204
	$f_{gs} = 1,5 f_k$	$f_s = 22,0-29,7$	102 x 204
Smutter [66]	$f_{gs} = 1,03 f_k$	$f_s = 13,7$	75 x 150
	$f_{gs} = 1,30 f_k$	$f_s = 19,0$	75 x 150
	$f_{gs} = 1,15 f_k$	$f_s = 23,2$	75 x 150
	$f_{gs} = 1,22 f_k$	$f_s = 34,2$	75 x 150
Bahadır [6]	$f_{gs} = 1,27 f_k - 1,536$	$f_s = 5,0 - 25,0$	75 x 150
		$f_k = 5,0-30,0$	75 x 150
Mohiuddin [48]	$f_{gs} = 1,051 f_k$	$f_s = 15,0-55,0$	75 x 150
	$f_{gs} = f_k + 2,845$	$f_s = 15,0 - 65,0$	50 x 100
Poineau [67]	$\frac{f_k}{f_{gs}} = 0,64 + \frac{1}{\frac{h}{\phi} + \frac{\phi}{20}}$	-	-
Petersons [39]	$f_{gküp} = 1,03 f_k$	$f_k = 25,0 - 60,0$	70 x 70
			100 x 100

1.7. Karot Dayanım ile Potansiyel Dayanım Arasındaki İlişki

Yapıda kullanılan beton sınıfına, projelendirme esnasında karar verilmekte ve yapı elemanları bu değere göre boyutlandırılmaktadır. Beton dökümü sırasında alınan ve standart koşullarda saklanarak potansiyel dayanımı ifade eden standart numune dayanımları yardımıyla, dökülen betonun projedeki beton dayanım sınıfına uygun olup olmadığı kontrol edilmektedir. Ancak ilerleyen yıllarda herhangi bir nedenden dolayı yapılarda potansiyel dayanımın belirlenmesi gerekebilir. Yapıda kullanılan betonun potansiyel dayanımı genellikle gerçek dayanımından büyük olduğundan beton sınıfının belirlenmesi için gerçek dayanımın potansiyel dayanıma çevrilmesi gerekmektedir. Bu

çevrilmeyi yapabilmek için genel olarak beton numunelere etki eden parametrelerin bilinmesi gerekmektedir.

Her sınıf beton için karot dayanımı ile potansiyel dayanım arasında sabit bir bağıntı bulunmamakla birlikte ortak kanı karot dayanımının potansiyel dayanımdan daha düşük olduğudur (Tablo 5).

Bu ilişkiyi belirlemek için yapılan deneylerde, genellikle aynı betondan standart silindir numuneler ile plak ve kiriş gibi çeşitli elemanlar üretilmekte, standart numuneler standart koşullarda diğer elemanlar ise yapının maruz kaldığı koşullarda saklanmakta ve bu elemanlardan karot numuneler alınmaktadır. Böylece karot dayanımları ile potansiyel dayanımı temsil eden standart numune dayanımları arasında bir bağıntı bulunmaya çalışılmaktadır.

Mather [64], kür koşulları standartlarda belirtilen koşullardan daha düşük olan bir yapı elemanından alınan 152 mm, 203 mm ve 254 mm çaplı karotların standart numunelerden daha düşük dayanım verdiğini ifade etmiş, Bloem [60]'de 102 mm * 152 mm boyutlu karotlarla yaptığı çalışmada aynı sonuca varmıştır. Aynı şekilde Wagner [65] şantiye koşullarında saklanan plaklardan alınan 102 mm * 204 mm ebatlarındaki karotların ortalama dayanımının standart silindir dayanımına oranının % 67,3 olduğunu savunmuştur. Petersons [52], farklı araştırmaların sonuçlarını da göz önüne alarak yapıdan alınan karot dayanımının, potansiyel küp dayanımına oranının standart küp dayanımı 25,0 MPa olan beton için 0,95, 60,0 MPa olanlar için ise 0,70 civarında olduğunu belirtirken, Neville [42], bu oranın standart silindir dayanımı cinsinden 19,0 MPa dayanım düzeyinde 1,0, 59,0 MPa dayanım düzeyinde 0,7 olduğunu belirtmiştir. Ayrıca Smitter [66], 75 mm * 150 mm boyutlarındaki karotlarda 13,7 MPa dayanım düzeyinde 0,78, 34,2 MPa ise 0,64 olduğunu ifade etmektedir.

Bahadır [6], yapı içindeki koşula benzer olduğunu varsayarak ıslak çuval altında sakladığı 200mm x 250 mm x 500 mm boyutlu elemanlardan aldığı karot dayanımları ile standart silindir numune dayanımları (potansiyel dayanım) arasında korelasyon katsayısı 0,990 olan ve f_k karot dayanımını ifade etmek üzere potansiyel dayanım f_{ps} için;

$$f_{ps} = 1,71f_k - 1,974 \quad (5)$$

bağıntısını elde etmiştir.

Aynı zamanda Bahadır bu bağıntının 6.5 MPa – 24.0 MPa arasındaki standart silindir düzeyinde geçerli olduğunu ifade etmiştir.

Yukarıdaki bağıntıya göre yapı elemanından alınan 75 mm * 150 mm boyutlarındaki karot dayanımı 12,00 MPa ise yapı elemanındaki betonun potansiyel dayanımı 18,5 MPa olmaktadır. Ancak bu bağıntının korelasyon katsayısı 1 olmadığından kesin sonuç vermediğini ve şantiyede üretilen betonun laboratuarda üretilen betonlardan daha fazla dağılım göstereceğinden korelasyon katsayısının daha küçük olacağı, dolayısıyla bağıntının temsil ettiği değerlerde hata payının yükselmesi kaçınılmazdır.

Bu konu ile ilgili çalışan bazı araştırmacılara göre karot ve potansiyel dayanım arasındaki ilişki, f_k karot dayanımını, f_s standart silindir dayanımını, $f_{küp}$ küp dayanımını, $f_{pküp}$ ve f_{ps} ise küp dayanımı ile standart silindir dayanımı cinsinden tanımlanan potansiyel dayanımları göstermek üzere Tablo 5’de verilmektedir [27].

Aşağıdaki bağıntılar yardımıyla karot dayanımından potansiyel dayanıma geçiş sağlanmaktadır. Ancak bu geçiş sırasında yapının içinde bulunduğu koşulların laboratuarda ne derece temsil edildiği belli olmakla birlikte, karot dayanımına etki eden parametrelerden sadece bazıları göz önüne alınmaktadır. Bu nedenle Tablo 5’deki bağıntıların gerçek sonucu tam olarak veremeyeceğinden toleranslı bir şekilde kullanılmalrı önerilmektedir.

Tablo 5. Bazı araştırmacılara göre potansiyel dayanımla karot dayanımı arasındaki bağıntılar

Kaynak	Bağıntı	Koşullar	
		Dayanım Seviyesi (MPa)	Karot Boyutları (mm x mm)
Neville [43]	$f_{ps} = 1.00 f_k$	$f_s = 19.0$	
	$f_{ps} = 1.43 f_k$	$f_s = 59.0$	
Petersons [52]	$f_{pküp} = 1.05 f_k$	$f_{küp} = 25.0$	
	$f_{pküp} = 1.43 f_k$	$f_{küp} = 60.0$	
Smitter [66]	$f_{ps} = 1.28 f_k$	$f_s = 16.4$	75 x 150
	$f_{ps} = 1.57 f_k$	$f_s = 23.2-34.2$	75 x 150
Bahadır [6]	$f_{ps} = 1.71 f_k - 1.974$	$f_s = 6.5-24.0$	75 x 150
		$f_k = 5.0-15.0$	75 x 150
Wagner [65]	$f_{ps} = 1.49 f_k$	$f_k = 27.9$	102 x 204

1.8. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Sürekli deprem tehdidi altında bulunan ülkemizde, var olan yapıların onarım ve güçlendirme çalışmaları sırasında betonun yerinde dayanımının tespiti büyük bir önem taşıdığı düşünülerek, bu çalışmanın temel amacı, beton karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasındaki ilişkinin kür koşullarına bağlı olarak belirlenmesidir. Bu amaçla, karot numune alma yöntemi ve karot numunenin dayanımına etki eden parametrelerin en önemlilerinden biri olan kür koşulu incelenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, üretilen her beton harmanından bir adet 150 x 150 x 1000 prizmatik numune ile 3 adet 150 x 300 standart silindir numune kür koşullarında, yine 1 adet 150 x 150 x 1000 prizmatik ve 3 adet 150 x 300 standart silindir numune ise dış ortamda bırakılmıştır. Prizmatik numunelerden alınan karotlar ve standart silindirler arasında, dayanımlar ve ortalama geri sıçratma sayıları göz önünde tutulup, kür koşulu da dikkate alınarak bir ilişki kurulmaya çalışılmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Karot Dayanımı ile Standart Silindir Dayanımının Kür Ortamına Bağlı Olarak İncelenmesi

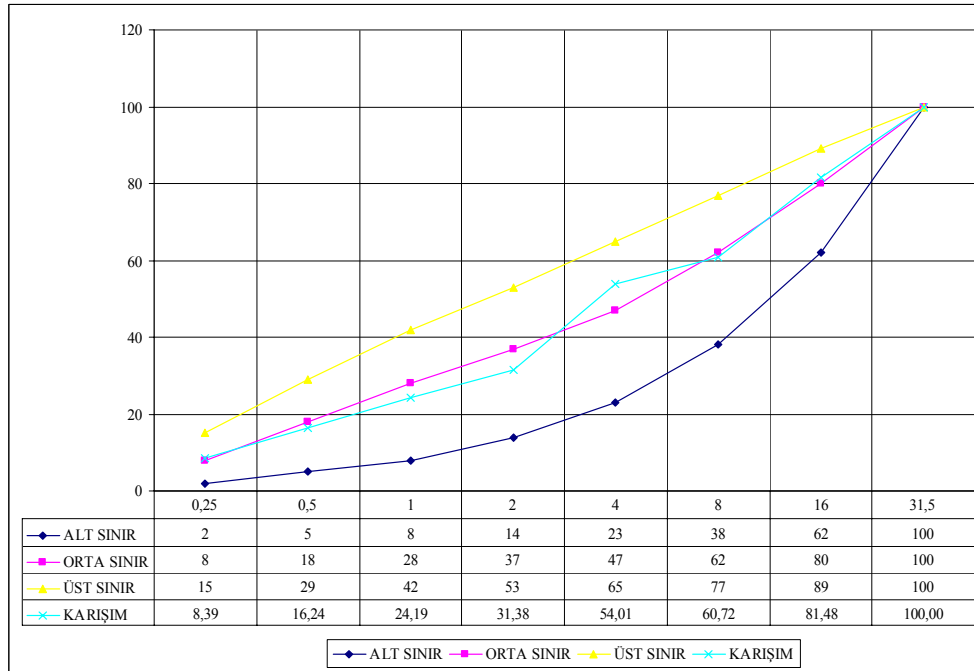
2.1.1. Beton Üretiminde Kullanılan Malzeme Özellikleri

2.1.1.1. Agrega Özellikleri

Beton üretiminde kullanılan agreganın fiziksel özellikleri Tablo 6’da, granülometrisi ise sınır eğrileriyle birlikte Şekil 2’de verilmektedir.

Tablo 6. Agrega fiziksel özellikleri

Agrega Tipi	Doygun Kuru Yüzeyle Birim Hacim Ağırlık(kg/m ³)	Su Emme (%)
İri	2,63	1,42
Orta	2,72	1,47
İnce	2,73	1,60



Şekil 2. Agrega granülometrisi ve sınır eğrileri

2.1.1.2. Çimento Özellikleri

Beton yapımında, Trabzon Çimento Fabrikasında üretilmiş, karakteristik dayanımı 32,5 MPa olan, Pozzolanik Katkılı CEM IV/A-P 32,5R çimentosu kullanılmıştır. Çalışma boyunca özelliklerinin aynı kalması için çimento paketleri kapalı torbalar içinde saklanmıştır.

2.1.2. Çalışma Kapsamında Üretilcek Betonların Bileşimi

Her bir üretim için belirlenen beton bileşimi Tablo 7’de verilmiştir.

Tablo 7. Beton üretimlerinde kullanılan bileşim hesapları

Üretim	W/C Oranı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Toplam Agrega (kg/m ³)	Doyma Suyu (kg/m ³)
A	0.40	487.5	195	1682,1	46,25
B	0.45	434	195	1728	25.94
C	0.50	390	195	1768.5	26.5
D	0.55	355	195	1798.2	27
E	0.60	325	195	1825.2	52.56
F	0.65	300	195	1846.8	27.9
G	0.40	200	80	2246.4	33.92
H	0.45	200	90	2219.4	33.34
K	0.50	200	100	2192.4	32.21
L	0.55	200	110	2166	32.87
M	0.60	200	120	2138.4	32.33
N	0.65	200	130	2112	25.62

2.1.3. Beton Numunelerin Üretimleri, Özellikleri ve Saklanması

Tablo 7’de verilen beton bileşimindeki malzemeler ± 1 gr hassasiyetle ölçüm yapan Mettler marka PM 30 tipi tartı aletiyle (Şekil 3) tartıldıktan sonra, elde edilen karışım 80 lt.

kapasiteli eğik eksenli betoniyerle (Şekil 4) karılmıştır. Beton numunelerin dayanımına, kür koşullarının etkisinin incelenmesi amacıyla her üretimden 12 adet 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir numune ve 50 mm x 100 mm ile 75 mm x 150 mm'lik karot numuneler alınabilmesi için 2 adet 1000 mm x 150 mm x 150mm boyutlarında prizmatik numuneler üretilmiştir. Bu numunelerin üretilmesi için yine 150 mm x 300 mm boyutlarında silindirik ve 1000 mm x 150 mm x 150 mm boyutlarındaki prizmatik kalıplar kullanılmıştır.

Frekansı 2800 devir/dakika olan sarsma tablası üzerine yerleştirilen bu kalıplara beton üç aşamada dökülmüştür (Şekil 5).



Şekil 3. Mettler marka PM 30 tipi tartı aleti



Şekil 4. 80 litre kapasiteli eğik eksenli betoniyer



Şekil 5. 2800 devir/dakikalı sarsma tablası

Bütün numuneler üretimlerinden bir gün sonra kalıplarından çıkarılmış ve her üretimden altı adet standart silindir numune ile bir adet prizmatik numune sıcaklığı $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ olan suda 28 gün, kalan altı adet silindir numune ve bir adet prizmatik numune laboratuvar dışına bırakılmış ve her gün sulanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Dış kür ortamında saklanan standart silindir ve prizmatik numuneler

2.1.4. Karotların Alınması

Sertleşmiş prizmatik beton numunelerden karot, beton döküm doğrultusunda ya da bu doğrultuya dik doğrultuda alınabilmektedir.

Bu çalışmada “Abana Ab 132 s 2a” tipi karot alma aleti (Şekil 7) ile 6 adet 75 mm x 150 mm ve 6 adet 50 mm x 100 mm boyutlarındaki karot numuneler beton döküm yönüne dik doğrultuda ve şaşırtmalı olarak alınmıştır.



Şekil 7. Prizmatik numunelerden karot alma işlemi

Karot numunelerin TS 10465 [28] ve ASTM C42-84a [44]'da en az 14 günlük betonlardan alınması gerektiği belirtilmektedir. Bu çalışmada karotlar 28 günlük numunelerden alınmıştır. Bu sürede ilgili standartlarda ifade edilen koşulu sağlamaktadır.

2.1.5. Beton Numunelerin Deneye Hazır Hale Getirilmesi

Merkezi basınç deneyinden önce prizmatik numunelerden alınan 50 mm çapındaki karotlar narinlikleri 2 olacak şekilde uçları Ceepluso marka taş kesme aleti ile düzgün bir şekilde kesilmiştir (Şekil 8). 75 mm çapındaki numunelerin ise narinliği kendiliğinden 2 olduğundan uçlarının düzeltilmesine gerek kalmamıştır.



Şekil 8. Karotların kesilme işlemi

Karotlardan tabanları herhangi bir sebeple düzgün olmayanlar kesitteki gerilmelerin eşit yayılı olması için başlıklama aletleri yardımıyla (Şekil 9) erimiş kükürt kullanılarak 4 mm kalınlığında başlıklanmıştır.



Şekil 9. Karotların erimiş kükürtle başlıklanması

Standart silindir numunelerde karot numuneler gibi deneyden önce aynı malzemeyle, aynı kalınlıkta başlıklanmıştır [6]. Deneye hazır hale getirilmiş 75 mm çaplı karotlar Şekil 10'da verilmektedir.

Deneyler kuru haldeki numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 10. Deneye hazır hale getirilmiş 75 mm çaplı karotlar

3. BULGULAR VE İRDELEME

3.1. Deneyler

3.1.1. Basınç Deneyleri

Bu çalışmada üretilen 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir ve 75 mm x 150 mm ile 50 mm x 100 mm boyutlu karot numuneler merkezi basınç dayanımlarının belirlenmesi için sırasıyla 300 Tonluk WP 300 (Şekil 11) tipi merkezi basınç aleti ve 60 Tonluk Losenhausenwerk marka UHP 60 (Şekil 12) tipi üniversal deney aleti kullanılmış olup, yüklemeler 0.2 MPa/sn'lik bir hızla gerçekleştirilmiştir. Şekil 13'de ise merkezi basınç deneyi uygulanmış karot numuneler verilmektedir.



Şekil 11. 300 tonluk WP 300 tipi merkezi basınç aleti



Şekil 12. 60 tonluk Losenhausenwerk marka UHP 60 tipi universal deney aleti



Şekil 13. Merkezi basınç deneyi uygulanmış karot numuneler.

Çalışmanın amacı doğrultusunda merkezi basınç deneyine tabi tutulan 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir numunelerin ortalama ve karakteristik basınç dayanımları ile standart sapmaları Tablo 8, 75 mm x 150 mm boyutlu karot numunelerin ortalama ve karakteristik basınç dayanımları ile standart sapmaları Tablo 9'da ve 50 mm x 100 mm boyutlu karot numunelerin ortalama ve karakteristik basınç dayanımları ile standart sapmaları ise Tablo 10'da verilmiştir.

Tablo 8. Saklama koşulları farklı olan 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir numunelerin ortalama basınç dayanımları ve standart sapmaları

Üretim Adı	Saklama Koşulu	f_{cm} (MPa)	f_{ck} (MPa)	Standart Sapma(MPa)	$f_{ck}(do)/$ $f_{ck}(so)$
A _{so}	Kür Ortamı	32.80	29.72	2.404	0.75
A _{do}	Dışarıda	24.70	22.35	1.838	
B _{so}	Kür Ortamı	27.90	25.49	1.886	0.58
B _{do}	Dışarıda	20.20	14.00	4.290	
C _{so}	Kür Ortamı	23.10	22.44	0.519	0.59
C _{do}	Dışarıda	16.60	13.33	2.557	
D _{so}	Kür Ortamı	25.10	23.66	1.125	0.76
D _{do}	Dışarıda	19.30	18.10	0.939	
E _{so}	Kür Ortamı	15.90	15.23	0.520	0.80
E _{do}	Dışarıda	13.10	12.40	0.765	
F _{so}	Kür Ortamı	21.20	20.11	0.850	0.81
F _{do}	Dışarıda	17.90	16.30	1.125	
G _{so}	Kür Ortamı	12.30	10.55	1.367	0.75
G _{do}	Dışarıda	10.00	7.90	1.639	
H _{so}	Kür Ortamı	14.00	13.09	0.713	0.69
H _{do}	Dışarıda	9.60	9.02	0.450	
K _{so}	Kür Ortamı	13.20	12.24	0.750	0.97
K _{do}	Dışarıda	13.10	11.29	1.415	
L _{so}	Kür Ortamı	10.20	9.06	0.735	0.98
L _{do}	Dışarıda	9.95	8.86	0.850	
M _{so}	Kür Ortamı	10.00	8.80	0.939	0.98
M _{do}	Dışarıda	9.90	8.65	0.974	
N _{so}	Kür Ortamı	3.40	2.37	0.801	0.91
N _{do}	Dışarıda	3.20	2.16	0.815	

A_{so} : A üretimi standart silindir standart kür ortamı.
A_{do} : A üretimi standart silindir dış kür ortamı

Tablo 9. Saklama koşulları farklı olan 75 mm x 150 mm boyutlu karot numunelerin ortalama basınç dayanımları ve standart sapmaları.

Üretim Adı	Saklama Koşulu	f_{cm} (MPa)	f_{ck} (MPa)	Standart Sapma (MPa)	$f_{ck}(do)/ f_{ck}(so)$
A_{kso}	Kür Ortamı	23.90	21.31	2.021	0.76
A_{kdo}	Dışarıda	22.08	16.22	4.580	
B_{kso}	Kür Ortamı	22.10	19.02	2.405	0.70
B_{kdo}	Dışarıda	18.30	13.24	3.956	
C_{kso}	Kür Ortamı	20.20	15.64	3.563	0.70
C_{kdo}	Dışarıda	18.10	10.93	5.605	
D_{kso}	Kür Ortamı	17.10	14.19	2.277	0.76
D_{kdo}	Dışarıda	13.70	10.73	2.322	
E_{kso}	Kür Ortamı	13.30	10.55	2.148	0.65
E_{kdo}	Dışarıda	9.50	6.90	2.028	
F_{kso}	Kür Ortamı	14.70	11.00	2.890	0.79
F_{kdo}	Dışarıda	13.30	8.68	3.611	
G_{kso}	Kür Ortamı	7.80	5.63	1.695	0.70
G_{kdo}	Dışarıda	6.40	3.92	1.937	
H_{kso}	Kür Ortamı	8.20	6.59	1.255	0.81
H_{kdo}	Dışarıda	7.40	5.31	1.630	
K_{kso}	Kür Ortamı	10.30	7.37	2.289	0.80
K_{kdo}	Dışarıda	9.97	5.92	3.163	
L_{kso}	Kür Ortamı	9.95	6.78	2.473	0.74
L_{kdo}	Dışarıda	8.20	5.05	2.464	
M_{kso}	Kür Ortamı	9.70	6.41	2.574	0.83
M_{kdo}	Dışarıda	9.50	5.34	3.250	
N_{kso}	Kür Ortamı	2.98	2.01	0.760	0.84
N_{kdo}	Dışarıda	2.69	1.69	0.780	

A_{kso} : A üretimi 75 mm çaplı karot standart kür ortamı.

A_{kdo} : A üretimi 75 mm çaplı karot dış kür ortamı.

Tablo 10. Saklama koşulları farklı olan 50 mm x 100 mm boyutlu karot numunelerin ortalama basınç dayanımları ve standart sapmaları

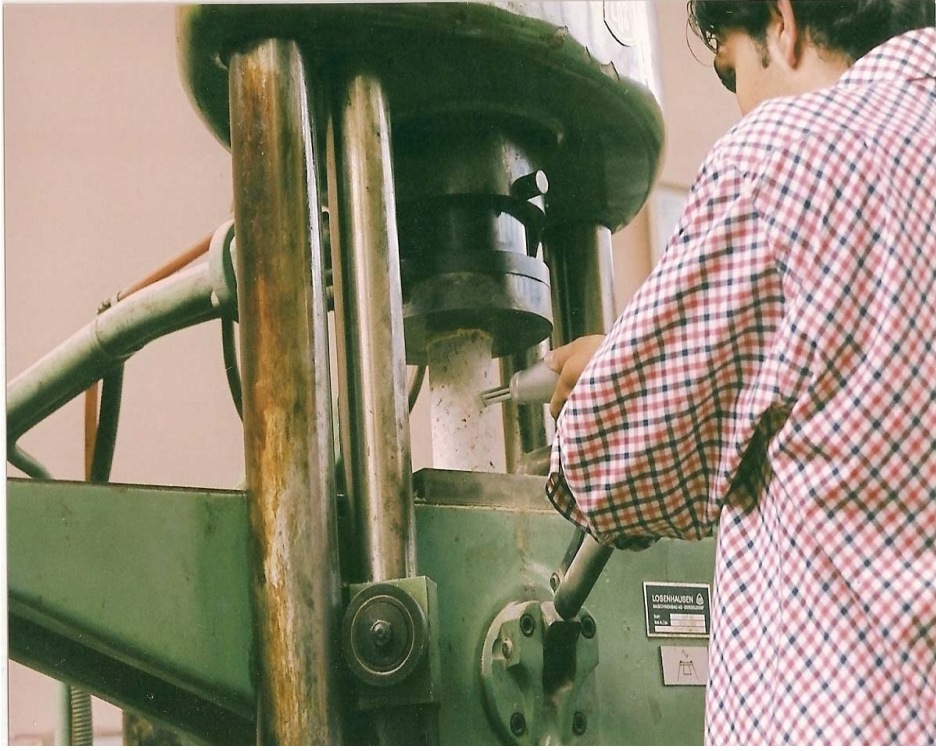
Üretim Adı	Saklama Koşulu	f_{cm} (MPa)	f_{ck} (MPa)	Standart Sapma	$f_{ck}(do)/f_{ck}(so)$
A _{5kso}	Kür Ortamı	16.70	13.85	2.230	0.55
A _{5dso}	Dışarıda	13.00	7.56	4.250	
B _{5kso}	Kür Ortamı	20.20	17.99	1.724	0.55
B _{5dso}	Dışarıda	17.60	9.88	6.033	
C _{5kso}	Kür Ortamı	18.80	15.20	2.181	0.49
C _{5dso}	Dışarıda	15.10	7.39	6.024	
D _{5kso}	Kür Ortamı	15.70	14.10	2.814	0.64
D _{5dso}	Dışarıda	14.60	9.08	4.315	
E _{5kso}	Kür Ortamı	10.60	8.27	1.818	0.52
E _{5dso}	Dışarıda	7.70	4.31	2.650	
F _{5kso}	Kür Ortamı	10.20	6.85	2.620	0.43
F _{5dso}	Dışarıda	7.10	2.94	3.250	
G _{5kso}	Kür Ortamı	5.20	3.25	1.52	0.39
G _{5dso}	Dışarıda	4.10	1.28	2.2	
H _{5kso}	Kür Ortamı	5.60	3.49	1.65	0.38
H _{5dso}	Dışarıda	4.30	1.33	2.32	
K _{5kso}	Kür Ortamı	5.00	3.20	1.406	0.45
K _{5dso}	Dışarıda	4.30	1.45	2.23	
L _{5kso}	Kür Ortamı	10.20	7.52	2.094	0.34
L _{5dso}	Dışarıda	4.97	2.59	1.858	
M _{5kso}	Kür Ortamı	4.40	3.33	0.834	0.64
M _{5dso}	Dışarıda	4.20	2.12	1.625	
N _{5kso}	Kür Ortamı	2.10	1.45	0.507	0.47
N _{5dso}	Dışarıda	1.80	0.68	0.874	
A _{5kso} : A üretimi 50 mm çaplı karot standart kür ortamı.					
A _{5dso} : A üretimi 50 mm çaplı karot dış kür ortamı.					

Tablo 9 ve Tablo 10'dan da görüldüğü gibi, karot numune boyutlarının dayanım üzerinde etkili olmakta, diğer bir deyişle karot çapının küçülmesiyle dayanımın da azalmaktadır. Karakteristik standart silindirlerin dış ortamdaki dayanımlarının kür ortamındaki dayanımlarına oranlarının ortalaması 0.80 olduğu görülmektedir. Bu da bu çalışma için uygulanan kür koşulunun standart küre göre % 20 dayanım kaybı olduğunu göstermektedir. Karot numune alınmasında kullanılan prizmatik numunelerden standart kür ve dış ortamda kür edilenlerden alınan 75 mm x 150 mm boyutlarındaki karot numune karakteristik dayanımları oranlarının ortalaması 0.76, 50 mm x 100 mm boyutlarındaki karot numunelerdeki ise 0.49 olarak elde edilmiştir. Burada kür kaybının % 20 olduğu kabul edilirse, 75 mm x 150 mm boyutlarındaki karotlardaki % 4'lük bir oranın, 50 mm x 100 mm boyutlarındaki karotlardaki yaklaşık % 30'luk bir oranın kesme etkisine atfedilebileceği düşünülmektedir. Bu da kesme etkisinin 50 mm çaplı karotlarda fazla olduğunu, bu tür küçük çaplı karot numunelerin sonuçları değerlendirilirken bu durumun göz önüne alınması gerektiğini göstermektedir.

3.1.2. Beton Çekici Deneyleri

Bu deneyde kullanılan 150 mm x 300 mm boyutlu standart silindir ile 75 mm x 150 mm boyutlu karot numunelere, merkezi basınç deney aletinin tablaları arasında 20 KN'luk sabit yük uygulandıktan sonra beton test çekici (L tipi Schmidt çekici) ile geri sıçrama sayıları belirlenmiştir. Geri sıçrama sayıları, beton döküm yönüne dik doğrultuda ve yatayda sıfır derecelik açı yapacak şekilde alınmıştır (Şekil 14). Ortalama geri sıçrama sayıları her bir numune için farklı yerlerden alınan 10 adet okumanın ortalaması olarak gerçekleştirilmiş ve iki numunenin ortalama geri sıçratma sayılarının ortalaması alınmıştır.

Standart silindir numuneler üzerinde ortalama geri sıçratma sayıları ve standart sapmaları Tablo 11'de, 75 mm x 150 mm boyutlu karot numunelerin ortalama çekiç okumaları ve standart sapmaları ise Tablo 12'de verilmiştir. 50 mm x 100 mm boyutlu karot numunelerde bu deney gerçekleştirilmemiştir.



Şekil 14. 75 mm çaplı numuneler üzerinde beton çekici okuması yapılması

Tablo 11. Standart silindir numunelerin ortalama geri sıçratma sayıları ve standart sapmaları

Üretim Adı	Saklama Koşulu	Ortalama Geri Sıçratma Sayısı	Standart Sapma
A _{so}	Kür Ortamı	50	5.067
A _{do}	Dışarıda	48	4.308
B _{so}	Kür Ortamı	45	2.037
B _{do}	Dışarıda	44	3.262
C _{so}	Kür Ortamı	42	1.003
C _{do}	Dışarıda	41	4.821
D _{so}	Kür Ortamı	40	1.253
D _{do}	Dışarıda	38	1.722
E _{so}	Kür Ortamı	36	2.080
E _{do}	Dışarıda	35	1.072
F _{so}	Kür Ortamı	34	2.574
F _{do}	Dışarıda	34	2.111
G _{so}	Kür Ortamı	25	6.027
G _{do}	Dışarıda	26	5.412
H _{so}	Kür Ortamı	29	5.622
H _{do}	Dışarıda	30	5.836
K _{so}	Kür Ortamı	28	6.078
K _{do}	Dışarıda	27	6.004
L _{so}	Kür Ortamı	29	2.256
L _{do}	Dışarıda	30	2.211
M _{so}	Kür Ortamı	29	4.445
M _{do}	Dışarıda	30	3.865
N _{so}	Kür Ortamı	16	3.775
N _{do}	Dışarıda	17	5.068

A_{so} : A üretimi standart silindir standart kür ortamı.

A_{do} : A üretimi standart silindir dış kür ortamı.

Tablo 12. Karot numunelerin (75 mm x 150 mm) ortalama geri sıçratma sayıları ve standart sapmaları.

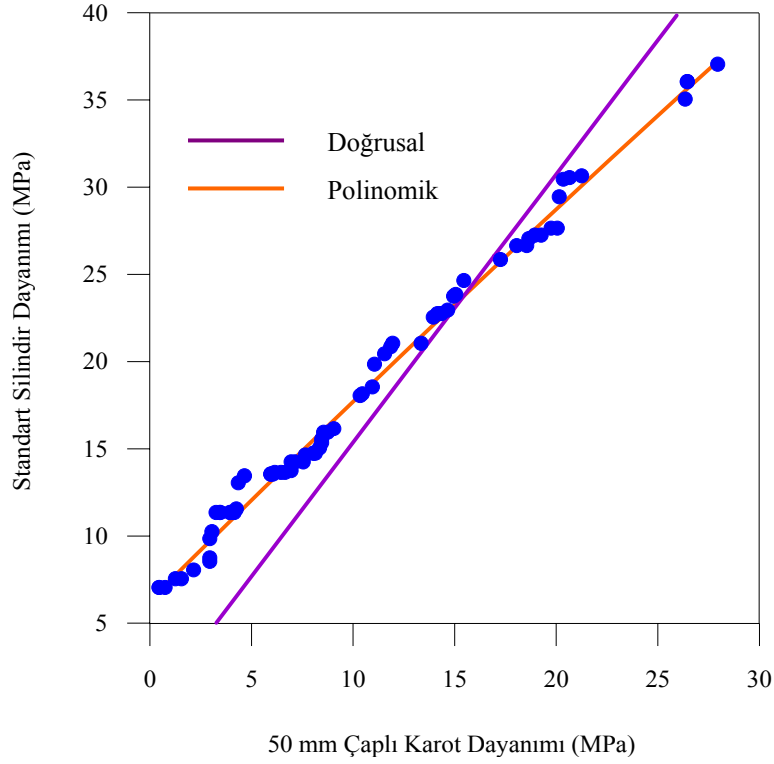
Üretim Adı	Saklama Koşulu	Ortalama Geri Sıçratma Sayısı	Standart Sapma
A _{kso}	Kür Ortamı	47	3.502
A _{kdo}	Dışarıda	42	3.311
B _{kso}	Kür Ortamı	40	2.229
B _{kdo}	Dışarıda	39	4.876
C _{kso}	Kür Ortamı	38	2.345
C _{kdo}	Dışarıda	37	5.030
D _{kso}	Kür Ortamı	35	5.700
D _{kdo}	Dışarıda	35	4.202
E _{kso}	Kür Ortamı	34	1.888
E _{kdo}	Dışarıda	34	2.800
F _{kso}	Kür Ortamı	33	2.616
F _{kdo}	Dışarıda	19	3.758
G _{kso}	Kür Ortamı	18	3.705
G _{kdo}	Dışarıda	16	3.780
H _{kso}	Kür Ortamı	17	3.789
H _{kdo}	Dışarıda	13	1.829
K _{kso}	Kür Ortamı	15	3.010
K _{kdo}	Dışarıda	14	5.516
L _{kso}	Kür Ortamı	19	4.336
L _{kdo}	Dışarıda	18	1.053
M _{kso}	Kür Ortamı	16	3.727
M _{kdo}	Dışarıda	14	3.861
N _{kso}	Kür Ortamı	16	2.040
N _{kdo}	Dışarıda	13	3.002

A_{kso} : A üretimi 75 mm çaplı karot standart kür ortamı.
A_{kdo} : A üretimi 75 mm çaplı karot dış kür ortamı.

Bu çizelgelerde, kür ortamında saklanan numunelerin ortalama geri sıçratma sayıları dışarıda bırakılan numunelerin ortalama geri sıçratma sayılarına göre daha fazla çıktığı görülmektedir.

3.2. Karot Dayanımı ile Standart Silindir Dayanımı Arasındaki İlişki

Bu çalışmada, karot ve standart silindir dayanımı arasında kür koşulları dikkate alınarak çoklu regresyon yöntemiyle ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Laboratuvar ortamında ve dış ortamda saklanan 150 mm x 150 mm x 1000 mm boyutlu prizmatik numunelerden alınan 75 mm x 150 mm ve 50 mm x 100 mm boyutlu karot numuneler ile standart silindir dayanımları karşılaştırılmıştır.



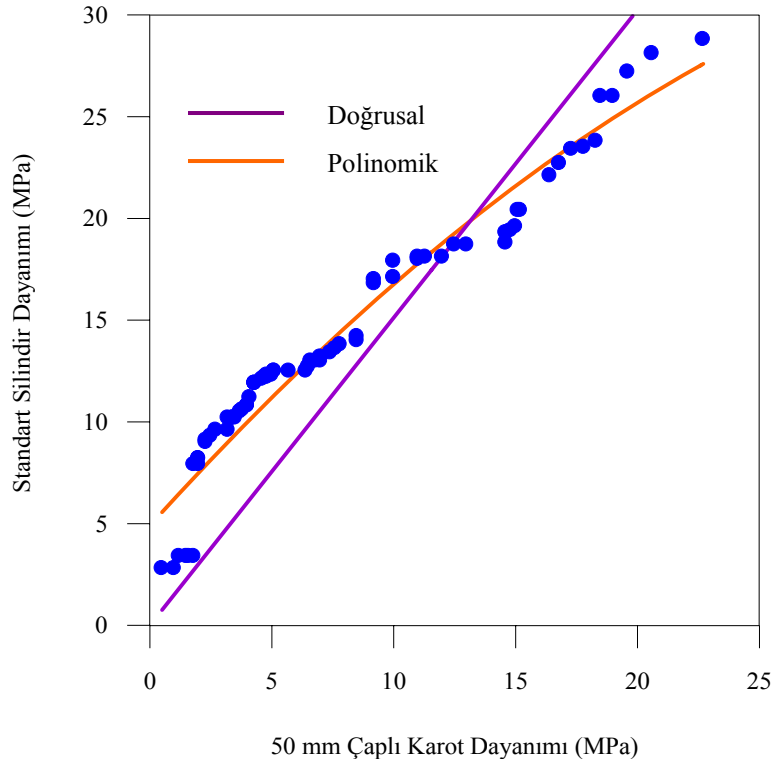
Şekil 15. Standart silindir ile 50 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (standart kür ortamı)

$$f_{sk} = -0.00185537 f_{5krk}^2 + 1.15824 f_{5krk} + 6.30475 \quad (R = 0.996) \quad (6)$$

$$f_{sk} = 1.53722 f_{5krk} \quad (R = 0.983) \quad (7)$$

Standart kür ortamında tutulan prizmatik numunelerden alınan 50 mm x 100 mm'lik karot dayanımları ile yine standart kür ortamında bekletilen standart silindir dayanımları arasındaki ilişki Şekil 15'de verilmiştir. Buradan elde edilen ilişkiler (6) ve (7) no'lu bağıntılarda sırasıyla polinomik ve doğrusal bağıntılar olarak verilmektedir. Bu bağıntılarda korelasyon katsayısı polinomik bağıntıda, doğrusal bağıntıya göre daha yüksek çıkmıştır.

Dış kür ortamında tutulan prizmatik numunelerden alınan 50 mm x 100 mm'lik karot dayanımları ile yine dış kür ortamında bekletilen standart silindir dayanımları arasındaki ilişki Şekil 16'de verilmiştir. Buradan elde edilen ilişkiler (8) ve (9) no'lu bağıntılarda sırasıyla polinomik ve doğrusal bağıntılar olarak verilmektedir. Bu bağıntılarda korelasyon katsayısı polinomik bağıntı ile doğrusal bağıntıdan elde edilenler yaklaşık aynı çıkmıştır.

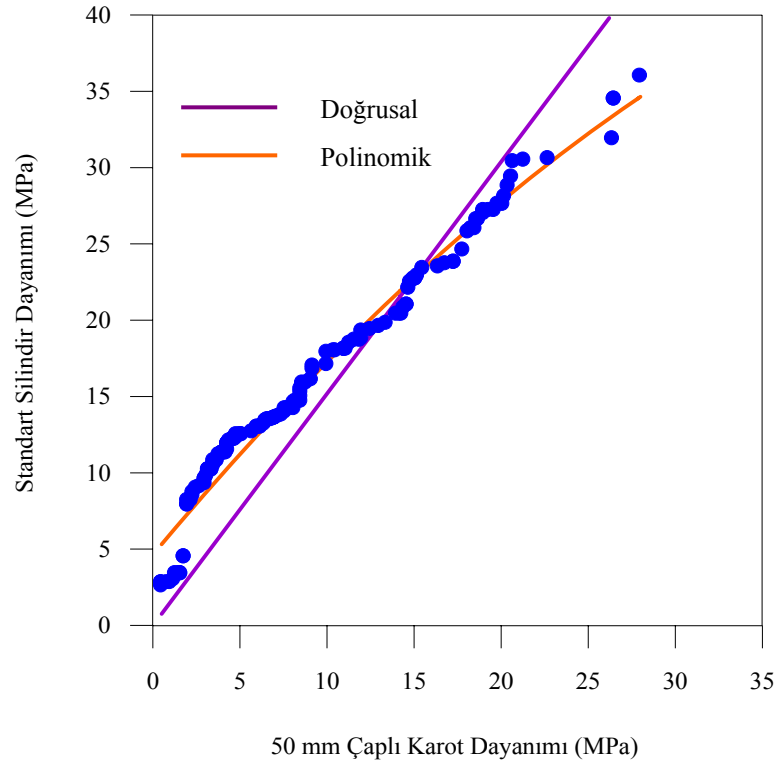


Şekil 16. Standart silindir ile 50 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (dış kür ortamı)

$$f_{sd} = -0.0147475 f_{5krd}^2 + 1.33486 f_{5krd} + 4.88962 \quad (R = 0.973) \quad (8)$$

$$f_{sd} = 1.5125 f_{5krd} \quad (R = 0.970) \quad (9)$$

Standart kür ve dış kür ortamında tutulan prizmatik numunelerden alınan 50 mm x 100 mm'lik karot dayanımları ile yine standart kür ve dış kür ortamında bekletilen standart silindir dayanımları arasındaki ilişki Şekil 17'de verilmiştir. Buradan elde edilen ilişkiler (10) ve (11) no'lu bağıntılarda sırasıyla polinomik ve doğrusal bağıntılar olarak verilmektedir. Burada polinomik bağıntıdan elde edilen korelasyon katsayısı, doğrusal bağıntıdan elde edilenden daha büyüktür.



Şekil 17. Standart silindir ile 50 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (toplam numune)

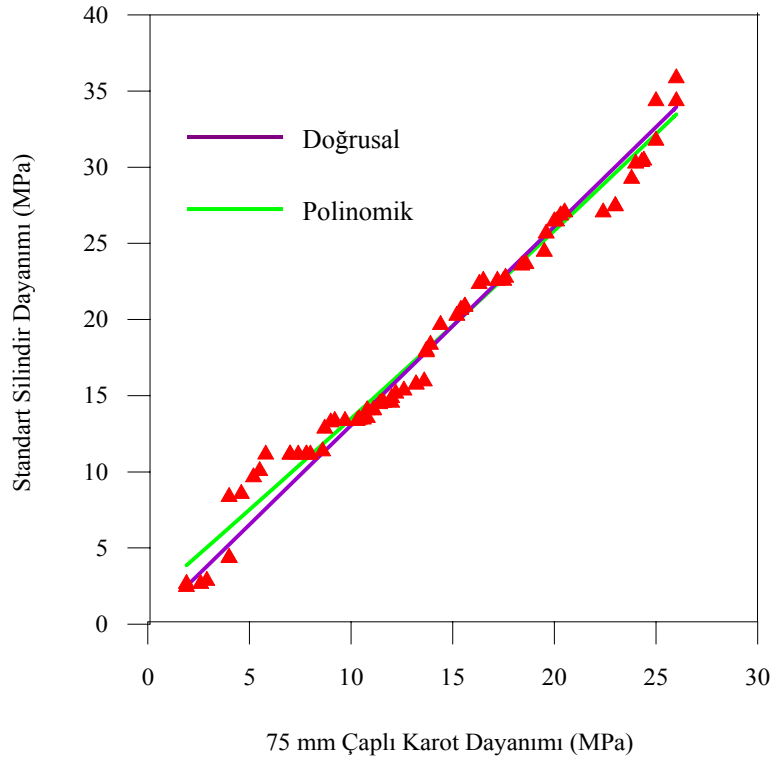
$$f_{st} = -0.0106382 f_{skrt}^2 + 1.36976 f_{skrt} + 4.63081 \quad (R = 0.987) \quad (10)$$

$$f_{st} = 1.51897 f_{skrt} \quad (R = 0.980) \quad (11)$$

Bu şekillerden kür ortamında saklanan hem standart silindirlerin hem de 50 mm çaplı karotların dayanımlarının dış ortamda saklanan numunelerden daha yüksek değerlerde olduğu görülmektedir. 50 mm çaplı karot dayanımları için en yüksek korelasyon katsayıları polinomik ve doğrusal bağıntılar için standart kür ortamındaki numunelerden elde edilmiştir. Standart kür ortamındaki bağıntının korelasyon katsayısı en büyük bunu

sırasıyla toplam numuneleri ve dış kür ortamdaki numuneleri içeren bağıntılar izlenmektedir. Her üç şekilde de polinomik bağıntıların doğrusal bağıntılara göre daha yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Ayrıca her üç durumda da doğrusal regresyon analiziyle elde edilen bağıntılara göre standart silindir dayanımları karot dayanımlarının yaklaşık 1.5 katına eşit olmaktadır.

Standart kür ortamında tutulan prizmatik numunelerden alınan 75 mm x 150 mm'lik karot dayanımları ile yine standart kür ortamında bekletilen standart silindir dayanımları arasındaki ilişki Şekil 18'de verilmiştir. Buradan elde edilen ilişkiler (12) ve (13) no'lu bağıntılarda sırasıyla polinomik ve doğrusal bağıntılar olarak verilmektedir. Bu bağıntılarda korelasyon katsayısı doğrusal bağıntıda, polinomik bağıntıya göre daha yüksek çıkmıştır.

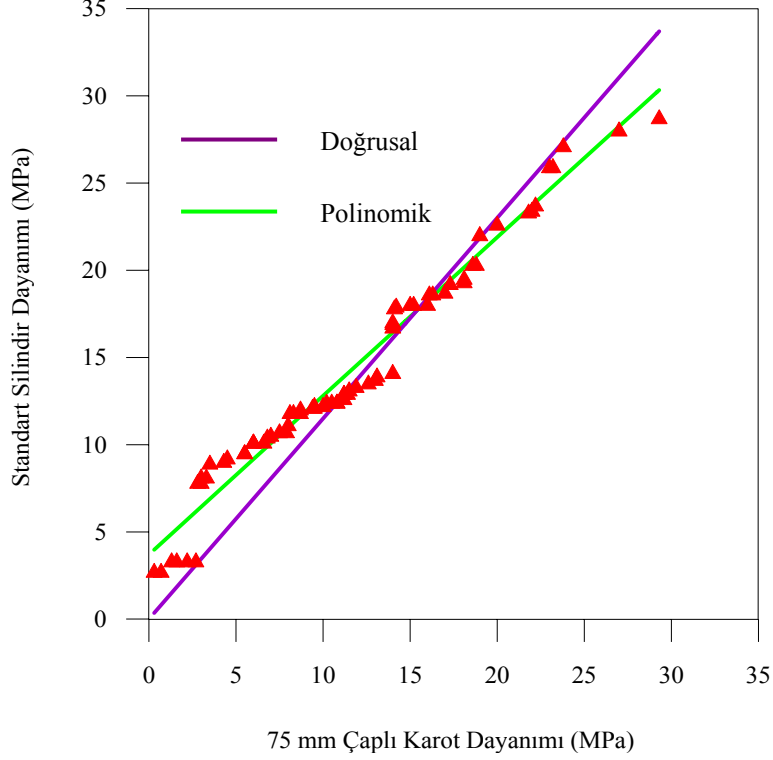


Şekil 18. Standart silindir ile 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (standart kür ortamı)

$$f_{sk} = 0.00242781f_{krk}^2 + 1.16084f_{krk} + 1.64261 \quad (R = 0.989) \quad (12)$$

$$f_{sk} = 1.30535f_{krk} \quad (R = 0.998) \quad (13)$$

Dış kür ortamında tutulan prizmatik numunelerden alınan 75 mm x 150 mm'lik karot dayanımları ile yine dış kür ortamında bekletilen standart silindir dayanımları arasındaki ilişki Şekil 19'de verilmiştir. Buradan elde edilen ilişkiler (8) ve (9) no'lu bağıntılarda sırasıyla polinomik ve doğrusal bağıntılar olarak verilmektedir. Bu bağıntılarda korelasyon katsayısı doğrusal bağıntıda, polinomik bağıntıya göre daha yüksek çıkmıştır.

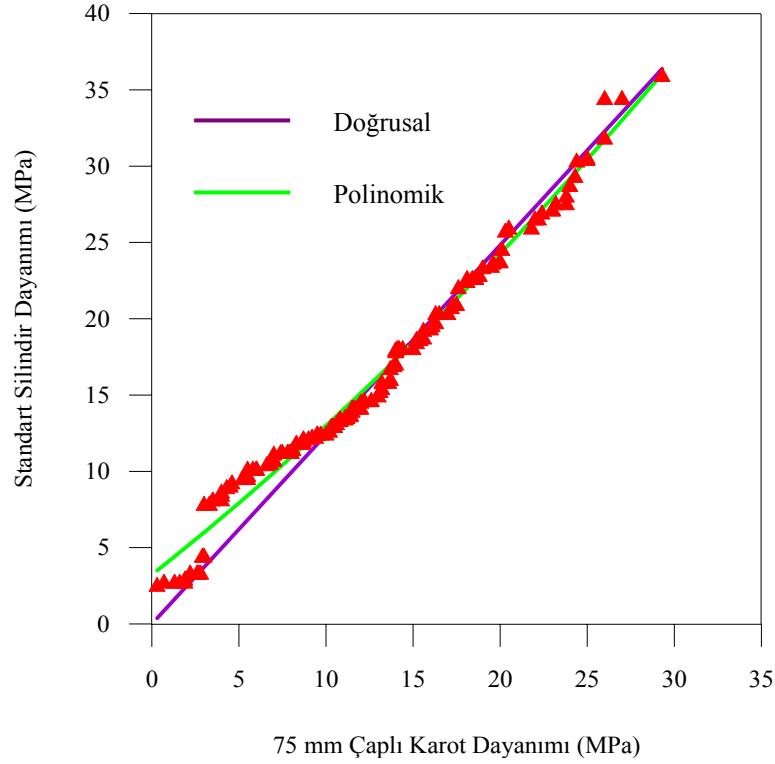


Şekil 19. Standart silindir ile 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (dış kür ortamı)

$$f_{sd} = -6.21101 \cdot 10^{-5} f_{krd}^2 + 0.910681 f_{krd} + 3.7028 \quad (R = 0.984) \quad (14)$$

$$f_{sd} = 1.15005 f_{krd} \quad (R = 0.990) \quad (15)$$

Standart kür ve dış kür ortamında tutulan prizmatik numunelerden alınan 75 mm x 150 mm'lik karot dayanımları ile yine standart kür ve dış kür ortamında bekletilen standart silindir dayanımları arasındaki ilişki Şekil 20'de verilmiştir. Buradan elde edilen ilişkiler (16) ve (17) no'lu bağıntılarda sırasıyla polinomik ve doğrusal bağıntılar olarak verilmektedir. Burada doğrusal bağıntıdan elde edilen korelasyon katsayısı, polinomik bağıntıdan elde edilenden yüksek çıkmıştır.



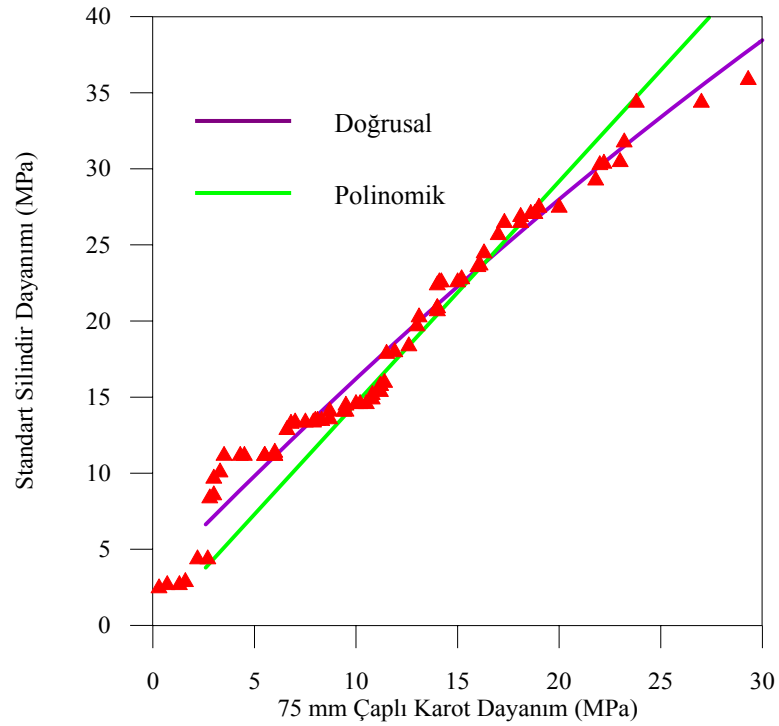
Şekil 20. Standart silindir ile 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki (toplam numune)

$$f_{st} = 0.00741979 f_{krt}^2 + 0.903114 f_{krt} + 3.22582 \quad (R = 0.992) \quad (16)$$

$$f_{st} = 1.24128 f_{krt} \quad (R = 0.997) \quad (17)$$

Şekil 18, 19 ve 20 sırasıyla kür ortamındaki, dış kür ortamındaki ve toplam numune olarak standart silindir ile 75 mm çaplı karot dayanımları arasındaki ilişkileri göstermektedir. Bu şekillerden standart kür ortamında saklanan standart silindirlerin dayanımları dış kür ortamda saklanankilerden yüksek, 75 mm çaplı karotların dayanımlarının ise dış kür ortamda saklanankilerden daha düşük değerlerde olduğu görülmektedir. Kür ortamındaki numunelere ait bağıntının korelasyon katsayısı en büyük bunu sırasıyla toplam numuneleri ve dış ortamdaki numuneleri içeren bağıntılar izlemektedir. Her üç şekilde de doğrusal bağıntıların polinomik bağıntılara göre daha yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Genel olarak farklı bileşim hesaplarıyla hazırlanan 12 değişik üretimin sonuçları incelendiğinde her 3 çaptaki numunede de kür ortamındaki dayanımlar dış ortamdaki dayanımlardan daha yüksek

çıkacağı görülmektedir. Aynı zamanda dayanımların çap arttıkça genelde yükseldiği gözlenmektedir. Bu çalışmada standart silindir dayanımları ile farklı çapa sahip karotların dayanımları arasındaki ilişkinin büyük bir dayanım aralığında elde edilmesi amaçlanmış olup, her iki kür şartına ait olan ikişer bağıntı yardımıyla saklama koşulları da dikkate alınarak eldeki bütün veriler işlenmiş ve genel bağıntılar elde edilmiştir. Bu bağıntılar ve korelasyon katsayıları göz önüne alındığında teknik literatürde var olan bir çok araştırmadan daha geniş bir aralıkta cevap verebildikleri anlaşılmaktadır.



Şekil 21. Standart silindir (standart kür ortamı) ile 75 mm çaplı karotların (dış kür ortamı) dayanımları arasındaki ilişki

$$f_{sk} = -0.0066778f_{krd}^2 + 1.37905f_{krd} + 3.08492 \quad (R = 0.986) \quad (18)$$

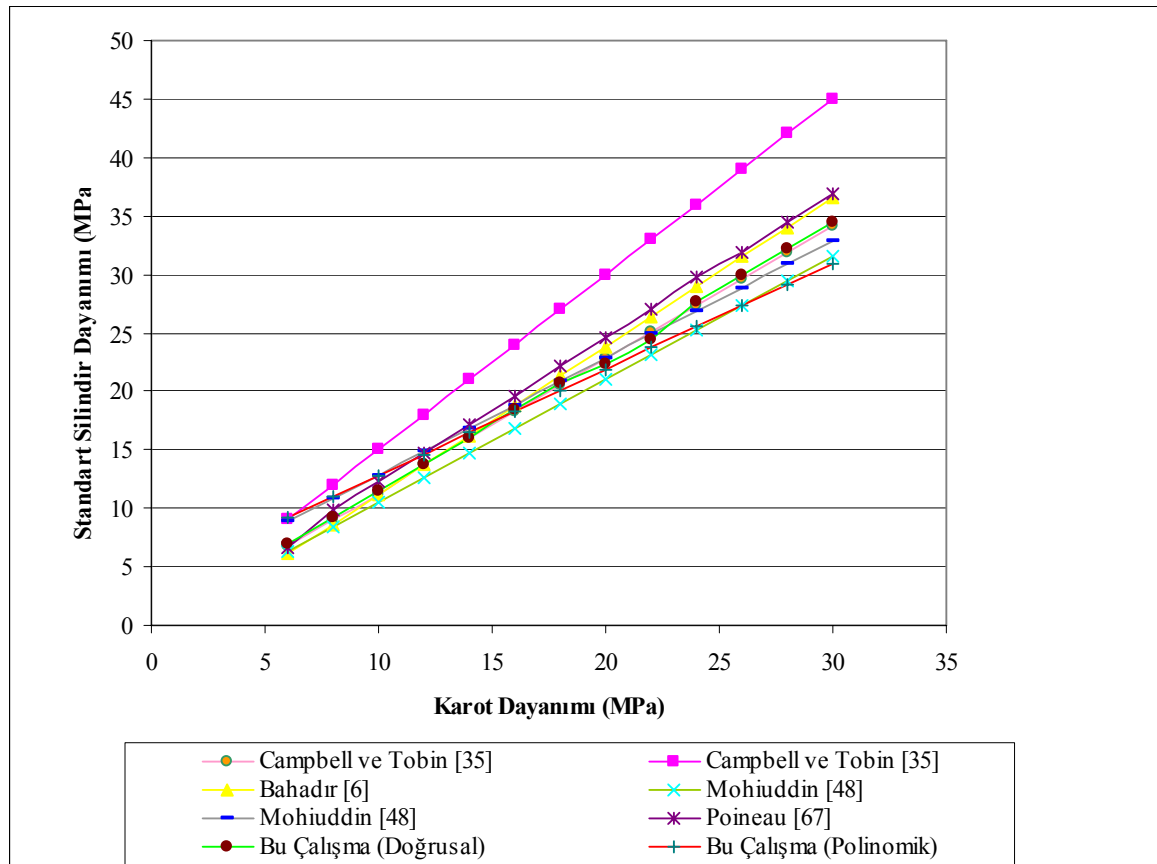
$$f_{sk} = 1.45881f_{krd} \quad (R = 0.992) \quad (19)$$

Şekil 21’de standart kür ortamında saklanmış standart silindirlerle dış kür ortamında saklanmış 75 mm çaplı karotların dayanımları arasındaki ilişki verilmektedir. Bu şekile ait doğrusal denklemin korelasyon katsayısı polinomik denklemininkine göre daha büyük çıkmaktadır. Bu şekle ait doğrusal denklem dikkate alındığında standart kür ortamında

saklanan standart silindir dayanımı dış kür ortamında saklanan 75 mm çaplı karot dayanımının 1.46 katına eşit olmaktadır.

Bu çalışmada standart silindir karakteristik basınç dayanımları 2.16 MPa ile 29.72 MPa arasında değişmekte olup, bu aralık Tablo 4’te verilen Bahadır [6] ve Mohiuddin [48] haricindeki bağıntılardan daha geniş bir aralık sunmaktadır. Bununla beraber elde edilen bağıntılar kür koşulları ve karot çapı dikkate alınarak gruplar halinde incelenmiş dolayısıyla daha yakın sonuçlar elde edilmiştir.

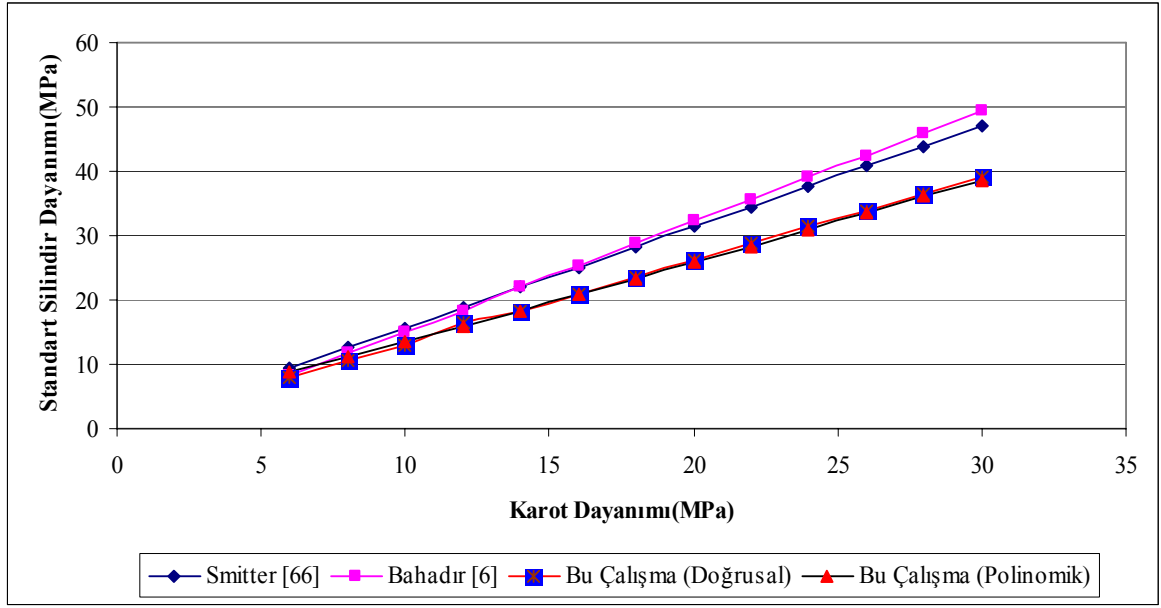
Bu tabloda bazı araştırmacılar tarafından verilen, narinlik oranı 2 olan ve herhangi bir dayanım aralığına sahip gerçek dayanım için geçerli olan bağıntılarla ile bu çalışmadan elde edilen doğrusal ve polinomik bağıntılardan elde edilen standart silindir ve karot dayanımları arasındaki ilişki Şekil 22’de verilmektedir. Burada belirtilen doğrusal ve polinomik bağıntılar, bu çalışma kapsamında dış kür ortamında saklanan standart silindir - 75 mm çaplı karotlar arasındaki bağıntılardır.



Şekil 22. Standart silindir dayanımları (gerçek dayanım) ile karot dayanımları arasındaki ilişkiler

Şekil 22 incelendiğinde bu çalışmadan elde edilen doğrusal ve polinomik bağıntıların, Poineau [67], Mohiuddin [48], Campbell ve Tobin [35] ve Bahadır [6] tarafından gerçek dayanım için önerilen bağıntılarla uyum içinde olduğu görülmektedir.

Ayrıca Tablo 5'te potansiyel dayanımlarla ilgili olarak verilen, narinlik oranı 2 olan, ve belirli bir dayanım aralığı için geçerli olan bağıntılarla yine bu çalışma kapsamında standart kür ortamında saklanan standart silindir-75 mm çaplı karot dayanımları arasındaki doğrusal ve polinomik bağıntılar Şekil 23'de verilmektedir.

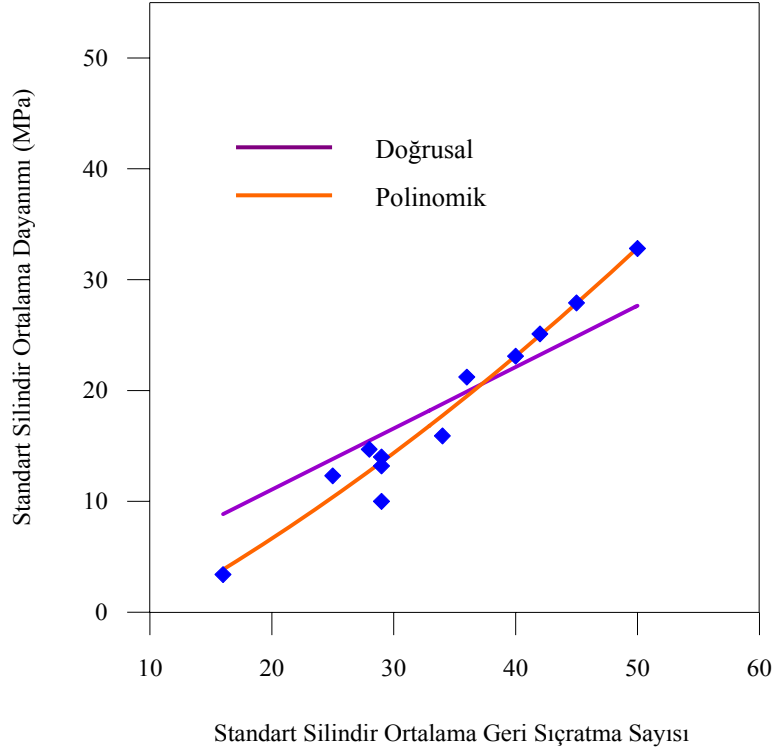


Şekil 23. Standart silindir dayanımları (potansiyel dayanım) ile karot dayanımları arasındaki ilişkiler

Şekil 23'de de görüldüğü üzere bu çalışmada elde edilen doğrusal ve polinomik bağıntılar Smmitter [66] ve Bahadır [6]'ın potansiyel dayanım için önerdiği bağıntılardan daha güvenli tarafta bulunmaktadır.

3.3. Basınç Dayanımının Beton Çekici ile Belirlenmesi

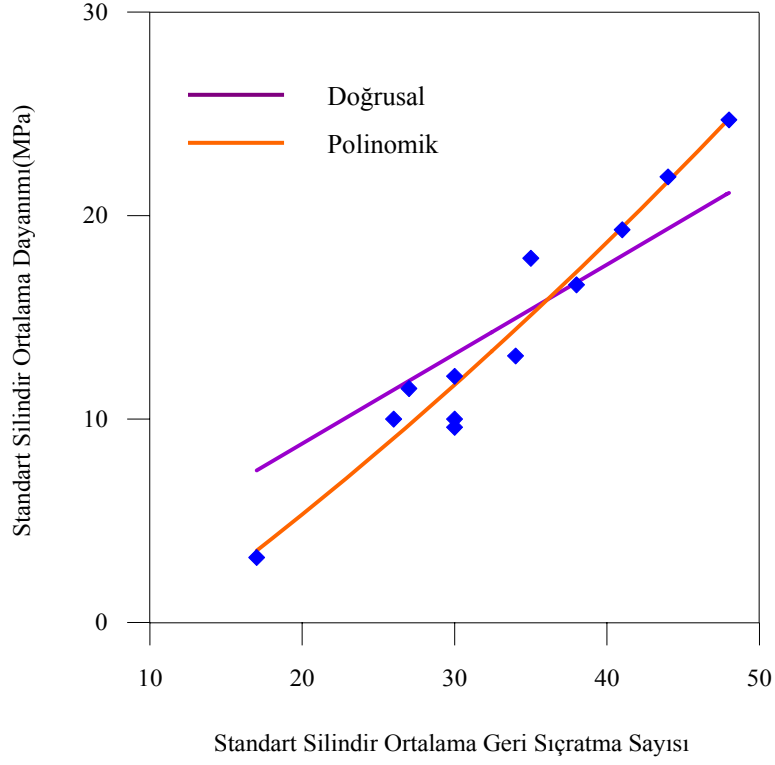
3.3.1. Standart Silindir Dayanımı ile Ortalama Geri Sıçratma Sayısı Arasındaki İlişki



Şekil 24. Standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (standart kür ortamı)

$$f_{sok} = 0.00512026N_{sk}^2 + 0.51555N_{sk} - 5.71324 \quad (R = 0.982) \quad (20)$$

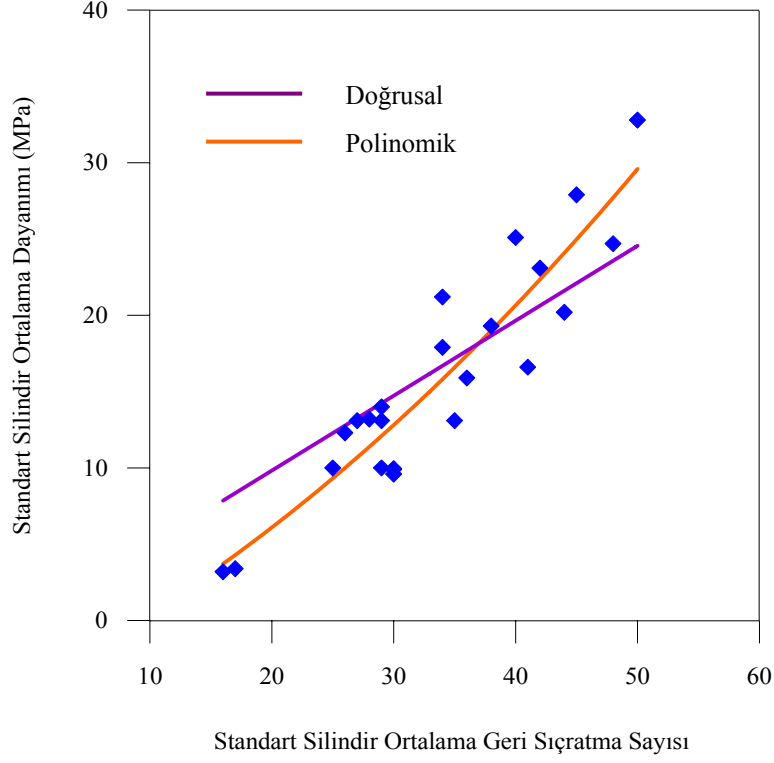
$$f_{sok} = 0.552674N_{sk} \quad (R = 0.986) \quad (21)$$



Şekil 25. Standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (dış kür ortamı)

$$f_{sod} = 0.00320309N_{sd}^2 + 0.476186N_{sd} - 5.48885 \quad (R = 0.973) \quad (22)$$

$$f_{sod} = 0.439823N_{sd} \quad (R = 0.986) \quad (23)$$



Şekil 26. Standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (toplam numune)

$$f_{sot} = 0.00554516N_{st}^2 + 0.394793N_{st} - 4.01845 \quad (R = 0.922) \quad (24)$$

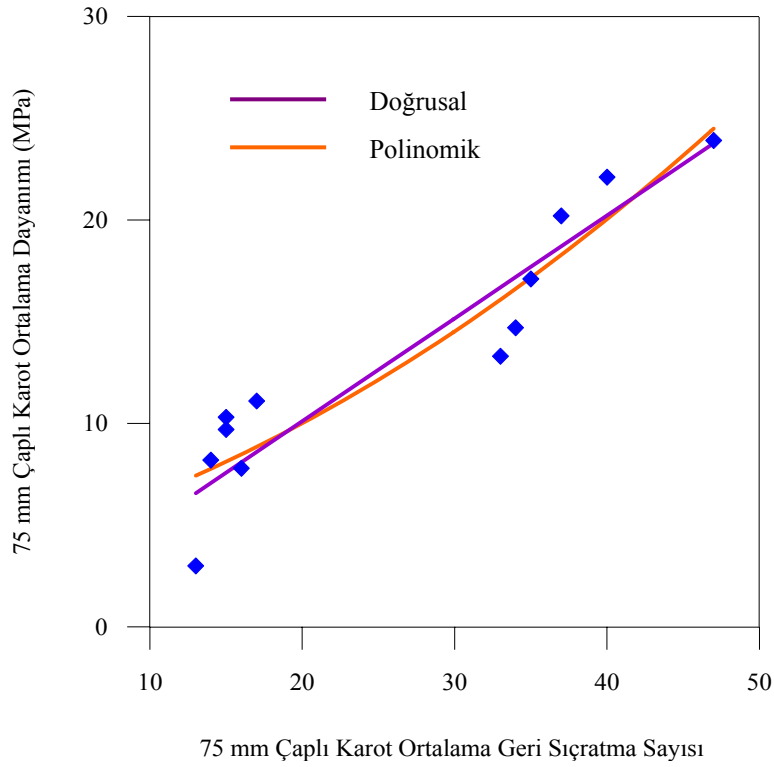
$$f_{sot} = 0.491119N_{st} \quad (R = 0.976) \quad (25)$$

Şekil 24, 25 ve 26 sırasıyla kür ortamındaki, dış ortamdaki ve toplam numune olarak standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekillerden kür ortamında saklanan standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama sıçratma sayılarının dış ortamda saklanankilerden yüksek olduğu görülmüştür. Yüksek korelasyon katsayısına sahip bağıntılardan kür ortamındaki bağıntının korelasyon katsayısı dış ortamdaki numunelerinkiyle aynı olup, toplam numuneleri içeren bağıntı daha sonra gelmektedir. Her üç şekilde de doğrusal bağıntıların polinomik bağıntılara göre daha yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca şekillerin altında verilen bağıntıların o şekildeki numunelerin sahip olduğu üst ve alt dayanım sınırları arasında geçerli oldukları unutulmamalıdır.

Kür ve dış ortamlardaki bağıntılar Bahadır[6]'nın önerdiği bağıntıdan daha emniyetli sonuçlar vermekte, bütün numunelerin gösterildiği şekil ise bu bağıntıdan daha düşük bir güven aralığında olduğu görülmektedir.

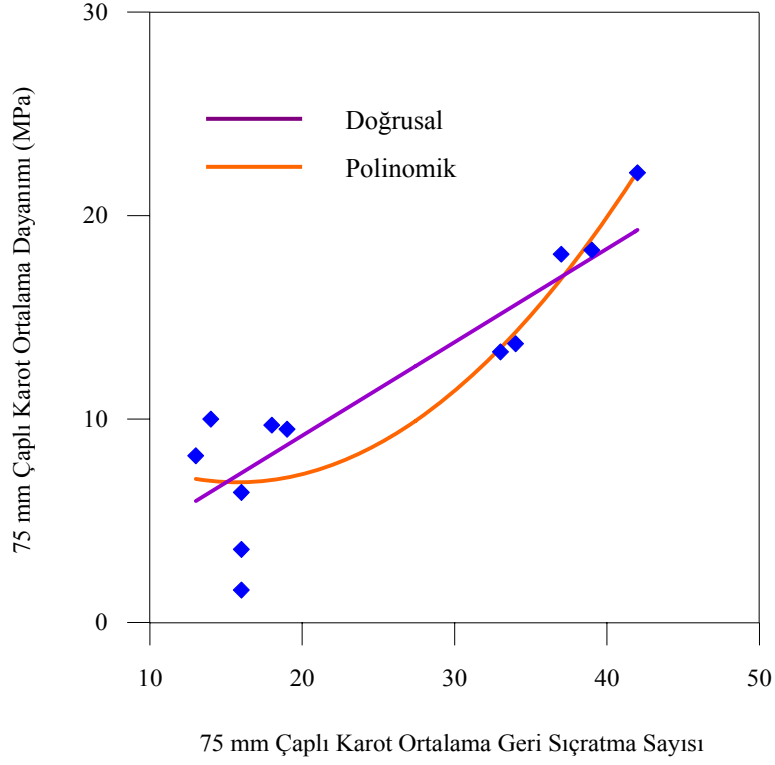
3.3.2. Karot Ortalama Dayanımı ile Ortalama Geri Sıçratma Sayısı Arasındaki İlişki



Şekil 27. 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (standart kür ortamı)

$$f_{krok} = 0.00495499N_{krk}^2 + 0.204237N_{krk} - 3.9393 \quad (R = 0.939) \quad (26)$$

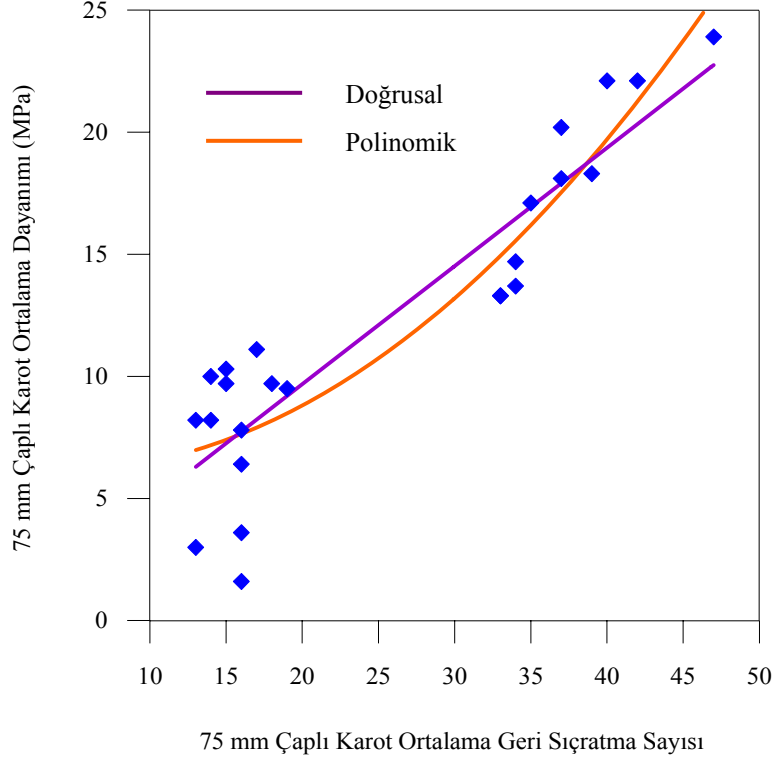
$$f_{krok} = 0.505516N_{krk} \quad (R = 0.939) \quad (27)$$



Şekil 28. 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (dış kür ortamı)

$$f_{krod} = 0.022176N_{krd}^2 + 0.698746N_{krd} + 12.3933 \quad (R = 0.919) \quad (28)$$

$$f_{krod} = 0.459286N_{krd} \quad (R = 0.978) \quad (29)$$



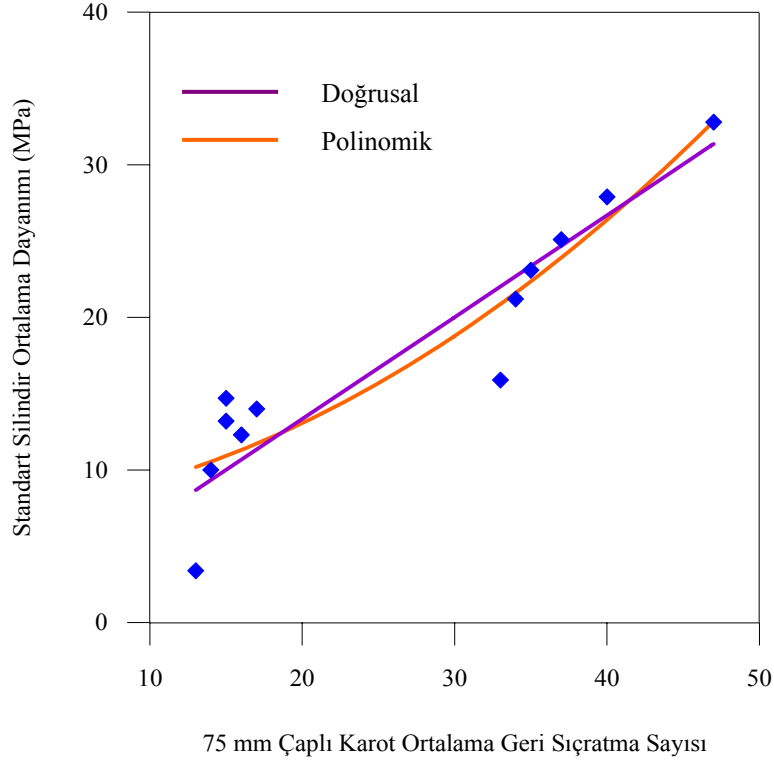
Şekil 29. 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişki (toplam numune)

$$f_{krot} = 0.0105384N_{krt}^2 + 0.0873599N_{krt} + 6.33833 \quad (R = 0.921) \quad (30)$$

$$f_{krot} = 0.483995N_{krt} \quad (R = 0.983) \quad (31)$$

Şekil 27, 28 ve 29 sırasıyla kür ortamındaki, dış ortamdaki ve toplam numune olarak 75 mm çaplı karotların ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekillerden kür ortamında saklanan standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama sıçratma sayılarının dış ortamda saklanankilerle hemen hemen aynı oldukları görülmüştür. Yüksek korelasyon katsayısına sahip bağıntılardan toplam numuneleri içeren bağıntının korelasyon katsayısı en büyük bunu sırasıyla dış ortamdaki ve kür ortamındaki numuneleri içeren bağıntılar izlemektedir. Kür ortamında, polinomik ve doğrusal denklemin korelasyon katsayısı aynı olup, diğer iki durumda doğrusal denklemler polinomik denklemlerden daha yüksek korelasyon katsayılarına sahiptir. Ayrıca şekillerin altında verilen bağıntıların o şekildeki numunelerin sahip olduğu üst ve alt dayanım ile sınırları arasında geçerli oldukları unutulmamalıdır.

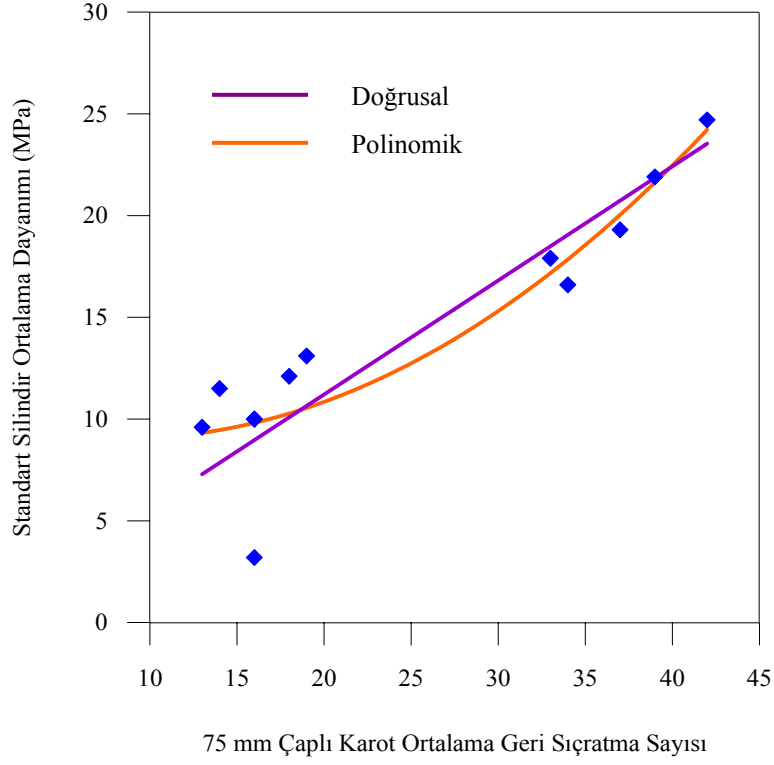
3.3.3. Standart Silindir Ortalama Dayanımı ile Karot Ortalama Geri Sıçratma Sayısı Arasındaki İlişki



Şekil 30. Standart silindir ortalama dayanımı ile 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı arasındaki ilişki (standart kür ortamı)

$$f_{sok} = 0.00945399N_{krk}^2 + 0.0988381N_{krk} + 7.31263 \quad (R = 0.932) \quad (32)$$

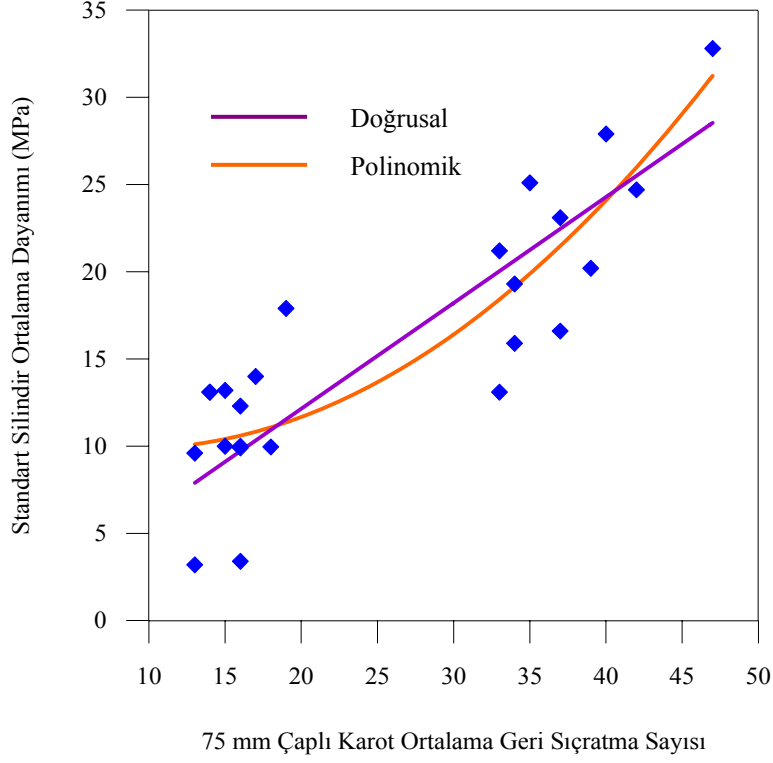
$$f_{sok} = 0.667246N_{krk} \quad (R = 0.987) \quad (33)$$



Şekil 31. Standart silindir ortalama dayanımı ile 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı arasındaki ilişki (dış kür ortamı)

$$f_{sod} = 0.01346N_{krd}^2 - 0.226605N_{krd} + 9.98926 \quad (R = 0.922) \quad (34)$$

$$f_{sod} = 0.56033N_{krd} \quad (R = 0.987) \quad (35)$$



Şekil 32. Standart silindir ortalama dayanımı ile 75 mm çaplı karot ortalama geri sıçratma sayısı arasındaki ilişki (toplam numune)

$$f_{sot} = 0.0147532N_{krt}^2 - 0.263887N_{krt} + 11.0441 \quad (R = 0.868) \quad (36)$$

$$f_{sot} = 0.607044N_{krt} \quad (R = 0.975) \quad (37)$$

Şekil 30, 31 ve 32 sırasıyla kür ortamındaki, dış ortamdaki ve toplam numune olarak standart silindir ortalama dayanımları ile 75 mm çaplı karotların ortalama geri sıçratma sayıları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Bu şekillerden kür ortamında saklanan standart silindirlerin ortalama dayanımları ile ortalama geri sıçratma sayılarının dış ortamda saklanankilerle hemen hemen aynı oldukları görülmüştür. Yüksek korelasyon katsayısına sahip bağıntılardan dış ortamdaki ve kür ortamındaki numuneleri içeren bağıntılar aynı korelasyon katsayısına sahip olup, bunları toplam numuneleri içeren bağıntı izlemektedir. Her üç şekilde de doğrusal bağıntıların polinomik bağıntılara göre daha yüksek korelasyon katsayısına sahip olduğu görülmektedir.

Ayrıca şekillerin altında verilen bağıntıların o şekildeki numunelerin sahip olduğu üst ve alt dayanım sınırları arasında geçerli oldukları unutulmamalıdır.

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın temel amacı, beton karot numune dayanımları ile standart silindir numune dayanımları arasındaki ilişkinin kür koşullarına bağlı olarak belirlenmesinden ibarettir. Bu amaçla, sertleşmiş betonun yerinde dayanımının belirlenmesinde kullanılan yöntemler verilerek bu konuda yapılmış çalışmalar özetlenmiştir. Yapılan literatür incelemesinden de yararlanılarak bu çalışma için farklı dayanım düzeylerinde bir çok beton numune üretilmiş ve çalışma kapsamına bağlı olarak karot numuneler alınarak basınç deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasında ilişki kurulmaya çalışılmıştır. Gerçekleştirilmiş olan deneysel ve teorik çalışmaların tümünden çıkartılabilecek bazı sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmektedir.

- 1) Bu çalışmada standart silindir karakteristik basınç dayanımları 2.16 MPa ile 29.72 MPa olan betonlar üretilmiştir (Tablo 8).
- 2) Beton dayanımlarının kür koşullarından etkilendiği bilinmektedir. Bu çalışmada üretilen ve standart kür ortamında saklanan numunelerin basınç dayanımları dış ortamda kür edilen numunelerin basınç dayanımları arasında % 20 fark oluşturmaktadır. Oluşan bu % 20'lik dayanım kaybı, günümüzde genellikle ihmal edilen beton kürünün uygun yöntemlerle yapılmasının gerekli olduğunu göstermektedir.
- 3) Aynı beton numunesinden alınan çap/yükseklik oranı 2 olan numunelerden 75 mm çaplı olanlar ile 50 mm çaplı olanlar arasında karot kesme etkisi farklı olmuştur. Bu fark 75 mm çaplı karotlarda % 4 iken 50 mm çaplı karotlar için, yaklaşık % 30 seviyesindedir. Bu da 50 mm çaplı karotlarda, betonda kullanılan maksimum agrega boyutuna bağlı olmak kaydıyla, beton dayanımının sağlıklı olarak tahmin edilemeyeceğini göstermektedir.
- 4) Deneylerden elde edilen sonuçlara bağlı olarak karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasında polinomik ve doğrusal bağıntılar çıkartılmıştır. Bu bağıntılardan polinomik olanların korelasyon katsayıları oldukça yüksek olmasına rağmen doğrusal bağıntıların korelasyon katsayıları da hemen hemen polinomik olanlara yakın elde edilmiştir.

- 5) Standart kür ortamında bekletilen 50 mm çaplı karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasındaki doğrusal ilişkiden elde edilen katsayı yaklaşık 1.54 iken, 75 mm çaplı karot dayanımları ile standart silindir dayanımları arasındaki doğrusal ilişkiden elde edilen katsayı 1.31 olarak elde edilmiştir.
- 6) Bu çalışmada, dış kür ortamında bekletilmiş standart silindir ile 75 mm çaplı karotlar için elde edilen bağıntılar, Poineau [67], Mohiuddin [48], Campbell ve Tobin [35] ve Bahadır [6] tarafından gerçek dayanım için önerilen bağıntılarıyla uyum içindedir.
- 7) Bu çalışmada, standart kür ortamında bekletilmiş standart silindir ile 75 mm çaplı karot dayanımlarından elde edilen bağıntılar, Smitter [66] ve Bahadır [6]'ın potansiyel dayanım için önerdiği bağıntılardan daha güvenli tarafta sonuç vermektedir.
- 8) Beton dayanımının tahmin edilmesinde kullanılan ve tahribatsız yöntemlerden biri olan beton çekici ile yapılan ölçümlerden elde edilen ortalama geri sıçratma sayıları da değerlendirilmiş ve bazı bağıntılar elde edilmiştir (Şekil 24, 25, 26, 27, 28, 29). Bu şekillerden ve elde edilen bağıntılardan görüldüğü gibi beton çekici ortalama geri sıçratma sayısı ile standart silindir ortalama dayanımı arasında kür koşullarına bağlı olarak yaklaşık 0.5'lik bir oran bulunmaktadır. Diğer bir deyişle, standart silindir ortalama dayanımı, ortalama geri sıçratma sayısının yarısına denk gelmektedir. Ancak şekillerden de görüldüğü gibi, dağılımın fazla olmasının sonuçlarda da büyük bir yanılğı getireceği açıktır. Bu nedenle tek başın beton çekici ile beton dayanımının tahmin edilmesinin ilgili standartlarda önerilmemesi yerindedir.

Özetle, bu çalışma sertleşmiş betonun yerinde, tahribatsız yöntemlerle dayanımının belirlenmesinin büyük hatalar getireceği, beton basınç dayanımının tahmininde mutlaka karot numune alınmasının gerektiği, alınacak karot boyutlarının maksimum agrega boyutuna bağlı olarak seçilmesinin daha uygun olacağı, betonarme yapılarda 50 mm çaplı karotların beton basınç dayanımının tespitinde yanıltıcı olabileceğini, mümkün olabildiğince daha büyük çapta karot numuneler alınması gerektiğini ortaya koyduğu gibi, karot dayanımlarının değerlendirilmesinde kür koşulu, kesme etkisi ve yük geçmişi gibi faktörlerin göz önüne alınması gerektiğini de ortaya koymuş bulunmaktadır. Ancak bu sonuçlar, bu çalışma kapsamındaki kür koşulları ve beton dayanımları için geçerlidir.

Farklı kür koşulları ve farklı maksimum agrega boyutları da dikkate alınarak deneyler yapılmalı ve daha genel bağıntılar çıkartılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

1. TS 3068, Laboratuarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, T.S.E.,Ankara, Mart 1978.
2. TS 3351, Şantiyede Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı, T.S.E., Ankara, Nisan 1979.
3. Arıoğlu, E. ve Arıoğlu, U., Beton Üretiminde Nitelik Denetimi ve Bir Öneri Yönetmelik, Bođaziçi Üniversitesi Dergisi, 11 (1985) 12-13.
4. Malhotra, V. M., Testing Hardened Concrete: Non-Destructive Methods, ACI Monograph, No. 9, 1976, 3-164.
5. Baradan, B., Beton Tabancalarının Kullanımı, TMMOB İzmir Şubesi Haber Bülteni, 6 (1986) 5-7.
6. Bahadır, M., Beton Mukavemetinin Karotlar Yardımıyla Saptanması, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1984.
7. TS EN 12504-2, Yapılarda Beton Deneyleri-Bölüm 2: Tahribatsız Deneyler-Geri Sıçrama Değerinin Tayini, T.S.E., Ankara, Aralık 2004.
8. Orchard, D. F., Concrete Technology, Cilt II, 4. Baskı, Applied Science Publishers LTD., Londra,1979.
9. ASTM C215-60, Concrete and Mineral Aggregates(Including Manual of Concrete Testing), Annual Book of ASTM Standarts, Part 14, 1976.
10. Akça, A., Beton Mukavemetinin belirlenmesinde Kullanılan Karotların Mukavemetine Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1991.
11. Leslie, J. R. ve Cheesman, W. J., An Ultrasonic Method of Studying Deterioration and Cracking in Concrete Structures, ACI Journal Proceedings, 46 (1950) 17-36.
12. Whitehurst, E. A., Soniscope Test Concrete Structures, ACI Journal Proceedings, 47 (1951) 443-444.
13. Jones, R., ve Facaoaru, I., An Analysis of Answer to a Questionnaire on the Ultrasonic Pulse Technique,1,5 (1968).
14. Elvery, R. H., Ultrasonic Assesment of Concrete Strength at Early Ages, Magazine of Concrete Research, 28,97 (1976).

15. Bellander, U., Non-Destructive Testing Methods for Estimating Compressive Strength in Finished Structures, Rilem Symposium on Quality Control of Concrete Structures, Stockholm, Bildiriler Kitabı, Haziran 1979.
16. Feldman, R. F., Non-Destructive Testing of Concrete, National Research Council of Canada, May 1977, 187.
17. Murphy, W. E., The Assesment of Concrete Strength in Structures, Cement and Concrete Association, Slough, 1979.
18. Postacıoğlu, B., Cisimlerin İyapısının Muayenesi: Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri, Cilt I , İ.T.Ü Yayınevi, İstanbul, 1981.
19. Kocataşkın, F., Betonda Aranan Özellikler; Yapı Malzemesi Dersleri, İ.T.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Yayını, No. 93, İstanbul, 1973.
20. Malhotra, V. M., In-Situ Strength Evaluation of Concrete, Concrete International Design and Construction, 1, 9 (1979).
21. Ramarkrishnan, V., Past and Future of Concrete Quality Evaluation, Journal of the Construction Division, 102 (1976) 263-276.
22. TS 500, Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, T.S.E., Ankara, Şubat 2000.
23. Malhotra, V. M., Evaluation of the Pull-Out Test to Determine of In-Situ Concrete, Materiaux Et Constructions, 7, 37 (1975) 19-31.
24. Pascale, G., Di Leo, A., Bonora, V., Nondestructive Assessment of the Actual Compressive Strength of High-Strength Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, 15,5 (2003) 452-459.
25. Bungey, J. H., Non-Destructive Testing, Concrete, Part 1 and 2, (1983).
26. Kabay, N., Karot Numunelerin Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2002.
27. Durmuş, M., Yük Geçmişı ve Donatının Beton Karot Numune Dayanımı Üzerine Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1996.
28. TS 10465, Beton Deney Metodları-Yapı ve Yapı Bileşenlerinde Sertleşmiş Betondan Numuneler Alınması ve Basınç Mukavemetinin Tayini (Tahribatlı Metot), T.S.E., Ankara, Kasım 1992.
29. Bhargava, J. K., ve Meininger, R. C., Discussion on Core and Cylinder Strength of Natural and Lightweight Concrete, ACI Journal, 64,10 (1967) 692-694.

30. Kesler, C.E., Effect of Length to Diameter Ratio on Compressive Strength an ASTM Cooperative Investigation, ASTM, 59 (1959) 1216-1229.
31. Lewandowski, R., Relationship Between Cylinder and Cube Compressive Strength of Concrete, Betonstein-Zeitung, 37,9 (1971) 562-566.
32. Goncalves, A., Influence of Core Dimensions of Compressive Strength Results and Their Dispersion, Concrete Structures, (1992) 529-542.
33. Bowman, S.A.W., Determining Concrete Strength by Using Small-Diameter Core, Magazine of Concrete Research, 32,111 (1980) 124.
34. Lewis, R.K., Effect of Core Diameter on the Observed Strength of Concrete Cores, Commonwealth Scientific an Industrial Research Organisation, Melbourne, Rapor No: 50, 13, 1976.
35. Campbell, R.H. ve Tobin, R.E., Core and Cylinder Strengths of Natural and Lightweight Concrete, ACI Journal, (April 1967) 190-195.
36. Bartlett, M.F., ve MacGregor, J.G., Effect of Core Diameter on Concrete Core Strengths, ACI Materials Journal, 91,5 (1994) 460-470.
37. Bartlett, F.M., Precision of In-Place Concrete Strengths Predicted Using Core Strength Correction Factors Obtained by Weighted Regression Analysis, Structural Safety, 19,9 (1997) 397-410.
38. TS EN 12504-1, Yapıda Beton Deneylemleri-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini, T.S.E., Ankara, Nisan 2002.
39. Petersons, N., Recommendations for Estimation of Quality of Concrete in Finished Structures, Materials and Structures Research and Testing, 4,24 (1971) 379-397.
40. Meininger, R.C., Wagner, F.T. ve Hall, K.W., Concrete Core Strength the Effect of Length to Diameter Ratio, Journal of Testing and Evaluation, 5,3 (1977) 147-153.
41. Yip, W.K. ve Tam, C.T., Concrete Strength Evaluation Through the Use of Small Diameter Cores, Magazine of Concrete Research, 40,143 (1988) 99-105.
42. Bungey, J.H., Determining Concrete Strength by Using Small Diameter Cores, Magazine of Concrete Research, 31,107 (1979) 91-98.
43. Neville A.M., Testing of Hardened Concrete, Properties of Concrete, (1977) 460-509.
44. ASTM C42-84a, Standart Method of Obtaning and Testing Drilled Cores and Sawed Beams of Concrete, American Society for Testing and Materials Standarts, Philadelphia, 1990.
45. Concrete Society, Concrete Core Testing for Strength, Technical Report No: 11, 1976.

46. ISO/DIS 7032, Cores of Hardened Concrete-Taking examination and Testing in Compression, International Organization of Standardization,1983.
47. American Concrete Institute Specifications for Structural Concrete for Building, ACI Committee 301, Detroit, 1984
48. Mohiuddin, N.A., Use of Small Diameter Cores in Evaluation of In-situ Concrete Strength in Eastern Saudi Arabia, King Fahd University of Petroleum and Minerals Faculty of the College of Graduate Studies, Dhahran, 1995.
49. Chung, H.W., Effect of Length/Diameter Ratio on Compressive Strength of Drilled Concrete Core-a Semi Rational Approach, Cement, Concrete Aggragates, 1,2 (1979) 68-70.
50. BS 1881: Part 4, Methods of Testing Concrete for Strength, British Standarts Institution, London, 1982.
51. Bartlett, M.F., ve MacGregor, J.G., Effect of Core Length-to-Diameter Ratio on Concrete Core Strengths, ACI Materials Journal, 91,4 (1994) 339-348.
52. Petersons, N., Should Standart Cube Test Specimens Be Replaced by Test Specimens Taken From Structures, Materials and Structures Research and Testing, 1,5 (1968) 425-435.
53. Lewis, R.K., The Interpretation of Core Strength Results-a Review, Building, (November 1969) 20-39.
54. Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul, 1998.
55. Bloem, D.L., Concrete Strength Measurement-Cores Versus Cylinders, Proceedings ASTM, 65 (1965) 668-696.
56. Malhotra, V.M.,Contact Strength Requirements Cores Versus In-Situ Evaluation, ACI Journal, (April 1977) 163-172.
57. Tam, C.T., Ooi, C.S. ve Ooi, K.L., Factors Influencing Strength of Concrete Cores, Our World in Concrete&Structure 3rd Conference, August 1978, Shangri-la Hotel, Bildiriler Kitabı, 607.
58. Yip, W.K., Strength Evaluation Of Small Diameter Cores, Msc Thesis, National University, Singapore, 1982.
59. BS 1881: Part 120, Method for Determination of the Compressive Strength of Concrete Cores, British Standart Institution, London, 1983.
60. Bloem, D.L., Concrete Strength in Structures, ACI Journal Proceedings, 65,3 (1968) 176-187.

61. Lewandowski, R., Influence of Compressive Strength Results of Concrete Test Cores, Betonstein-Zeitung, 36,12 (1970) 745-749.
62. Gözaçan, A., Beton Karotlar Yardımıyla Yapılardaki Beton Dayanımının Daha Gerçekçi Olarak Belirlenmesi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2002.
63. Murphy, W.E., The Relationships Between the Strengths of Cores and Standart Cubes, Cement and Concrete Association, (1974) 20.
64. Mather, B. ve Tynes, W.D., Investigation of Compressive Strength of Molded Cylinders and Drilled Cores of Concrete, ACI Journal Proceedings, 57,7 (1961) 767-778.
65. Wagner, W.K., Effect of Sampling and Job Curing Procedures on Compressive Strength of Concrete, Materials Research and Standarts, 8 (1963).
66. Smitter, M.L.D., Strength Measurement of Concrete Cores vs. Cylinders, Rilem 2nd International Symposium on New Developments in Non-Destructive Testing of Non-Metalic Materials, September 1974, Romania.
67. Poineau, D., Renforcement, Réparation des Ponts en Béton et Ponts Metalliques, Annales de L'ITBTP, No: 411 Paris, Janvier, 1983.
68. Poijarvi, H. ve Syrjala, H., Evaluation of Concrete Strength in Thin Walled Structures by Means of Cores, The Statae Institute for Technical Research, 135, Helsinki, 1969.

ÖZGEÇMİŞ

04.03.1982 yılında Diyarbakır'da doğdu. Diyarbakır İnönü İlkokulunu bitirdikten sonra Diyarbakır Anadolu Lisesinde orta öğrenimine devam etti. Bursa Anadolu Lisesinde orta ve lise eğitimini tamamlamasının ardından 2000 yılında ÖSYM sınavında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazanarak, aynı bölümden 2004 yılında İnşaat Mühendisi olarak mezun oldu. KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü'nde aynı yıl yüksek lisans eğitimine başladı. Halen, 2005 yılında göreve başladığı DSİ XXII. Bölge Müdürlüğü'nde, İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır.

Bekâr olan Mustafa Haluk FİLİZ, iyi derecede İngilizce, orta derecede Almanca ve Rusça bilmektedir