

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETON BASINÇ DAYANIMININ BİRLEŞTİRİLMİŞ TAHRİBATSIZ

YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şinasi BİNGÖL

HAZİRAN 2013

GÜMÜŞHANE

GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BETON BASINÇ DAYANIMININ BİRLEŞTİRİLMİŞ TAHRİBATSIZ
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Şinasi BİNGÖL

Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
'İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 14.06.2013

Tezin Sözlü Savunma Tarihi: 28.06.2013

HAZİRAN 2013



KABUL ve ONAY



Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR danışmanlığında Şinasi BİNGÖL tarafından hazırlanan '**BETON BASINÇ DAYANIMININ BİRLEŞTİRİLMİŞ TAHRİBATSIZ YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**' isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ

Üye (Danışman)

:

Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

Üye

:

Yrd.Doç. Dr. Mustafa DURMAZ

ONAY

Bu tez 10.07.2013 tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON BASINÇ DAYANIMININ BİRLEŞTİRİLMİŞ TAHRİBATSIZ YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ

Şinasi BİNGÖL

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2013, 68 sayfa

Beton, günümüz yapı teknolojisinde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Özellikle ülkemizde yapı sektöründe oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Betonun homojen olmayan yapısı nedeniyle dayanımının ve kalitesinin yerinde kontrol edilmesi oldukça zordur. Bu anlamda, betonun mekanik özelliklerinin kontrol altında tutulabilmesi için tahribatsız yöntemler kullanılabilir. Ancak bu yöntemler de kullanılabilirliğinin yanında yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu yanıltıcı sonuçları azaltabilmek için tahribatlı ve gerçeğe yakın sonuçlar veren yöntemlerle desteklenerek tahribatsız yöntemlerin doğruluğunun artırılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı, çeşitli karakteristik dayanımlara sahip betonların kontrollerini tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleriyle belirleyerek, betonun basınç dayanımları

ile Schmidt geri tepme değeri ve ultrasonik dalga hızları arasında yeni ilişkiler kurmaktır. Bu amaca yönelik, 150x150x150 mm³ boyutlarında 101 beton numunesi hazırlanmıştır. 7 ve 28 gün kür edildikten sonra, tahribatsız yöntemlerden Schmidt geri tepme ve ultrases dalga hızı deneyleri uygulanmıştır. Daha sonra bu numuneler basınç cihazında kırılarak basınç dayanımları belirlenmiştir. Ultrases dalga hızı, Schmidt geri tepme değeri ve basınç dayanımı arasında çoklu regresyon analizi yapılarak yeni formülasyonlar ve abak elde edilmiştir. Bu numunelerin, 90 ve 180 gün sonunda yerinde tahribatsız deney ölçümleri yapılarak, 28 günlük deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Ayrıca mevcut yapılardan karot numuneler alınarak elde edilen formül ve abağın uygunabilirliği ve doğruluğu araştırılmıştır.

Dört bölümden oluşan bu çalışmanın birinci bölümünde betonun yerinde dayanımı üzerine kısa bir giriş yapılmıştır. Kullanılan malzemeler ve gerçekleştirilen deneylere ikinci bölümde yer verilerek, bulgular ve irdelemeler üçüncü bölümde tartışılmıştır. Son bölümde ise sonuçlar ve öneriler bir kez daha vurgulanarak çalışma tamamlanmıştır.

Çalışmadan elde edilen en önemli bulgular özetlenecek olursa; elde edilen denklemler ve abak yardımıyla beton dayanımı tahribatsız olarak % 85 doğruluk oranıyla belirlenebilmektedir. Abak yardımıyla yüksek dayanımlı numuneler için % 1.6 hata oranı tespit edilmiştir. Karot numuneler üzerinde yapılan tahribatsız deneylerde ise % 7.3 hata oranı belirlenmiştir. Bu sonuçlar, tahribatsız testlerin, yerinde beton dayanımını belirlemek için çok iyi bir alternatif olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Beton dayanımı, Birleştirilmiş yöntem, Schmidt çekici, Tahribatsız test yöntemleri, Ultrases dalga hızı,

ABSTRACT

MS THESIS

**DETERMINING CONCRETE COMPRESSIVE STRENGTH BY COMBINED
NON-DESTRUCTIVE METHODS**

Şinasi BİNGÖL

Gümüşhane University

The Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet ÇAVDAR

2013, 68 pages

The concrete is the most widely used construction materials at nowadays construction technology. Especially has a quite wide area of the building industry in our country. Due to concrete is a un-homogeneous material, the strength of concrete cannot be achieved at the site. In this sense, to control the mechanical properties of concrete in the site, non-destructive test methods can be used. They are useful for having no damage on concrete, however these test results sometimes gives deceptive results. To reduce these deceptive results, it was supported destructive test method to increase the accuracy of non-destructive methods (NDT).

The purpose of this study, determining the a variety of characteristic strengths of concretes' controls with destructive and non-destructive testing methods, establish new

relations compressive strength of concrete with the Schmidt rebound value and between the ultrasonic wave velocities. For this purpose, 101 concrete samples were prepared cube dimensions 150x150x150 mm³. After 7 and 28 days curing, Schmidt rebound and ultrasonic wave velocity tests were applied from non-destructive testing methods. Then the compressive strength of these samples was measured by breaking in the pressure device. New formulations and graph were obtained by doing a multiple regression analysis between ultrasonic wave velocity, Schmidt rebound number and compressive strength. These samples were measured NDTs at the end of 90 and 180 days at the site, compared 28 days test results. Furthermore, it was investigated the applicability and accuracy of obtaining formula and graph by taking core samples from present structures.

In the first chapter of this study consisting of four chapters, it is introduced shortly to subject of concrete' s strength at the site. Material properties and experiments are given in second chapter, in the third chapter, the findings and considerations are discussed. After important conclusions and suggestions are emphasized in the last chapter, the study is completed.

If the most important findings obtained from the study are summarized; the concrete strength can be determined by obtaining formulas as a non-destructive with an accuracy rate of 85% via formulas. It was obtained deviation 1.6% of high strength samples by the graph and 7.3% in the NDTs of the core specimens. These test results show that, NDTs are very good alternative for determining concrete strength at the site.

Keywords: Concrete strength, Combined method, Schmidt hammer, Non-destructive test method, Ultrasonic wave velocity

TEŞEKKÜR

Beton basınç dayanımının tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle belirlenmesini konu alan bu çalışma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Bu çalışmanın planlanarak ortaya çıkmasında ve çalışmalar süresince yardımlarını esirgemeyen danışman Hocam Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR'a teşekkürlerimi bildiririm.

Çalışmamı değerlendirerek olumlu yönde katkılar sağlayan jürimdeki Hocalarım Doç. Dr. Abdullah KAYGUSUZ'a ve Yrd. Doç. Dr. Mustafa DURMAZ'a teşekkür ederim.

Deneysel çalışmalarım boyunca desteklerini gördüğüm, Sedat SEVİN, Abdurrahman TUR, Vedat YEŞİLDAĞ, Cemil KÖZKURT ve Uğur SATILMIŞ' a teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca tüm yaşamım süresince maddi ve manevi desteklerini eksik etmeyen annem Memnune BİNGÖL, babam Edip BİNGÖL, kardeşlerim Taha ve Yasin BİNGÖL'e sonsuz şükranlarımı sunarım.

Şinasi BİNGÖL
Gümüşhane, 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XI
TABLolar DİZİNİ.....	XIII
SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	XIV
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Betonda Kalite Kontrol ve Önemi	2
1.3. Betonun Basınç Dayanımı	2
1.3.1. Basınç Dayanım Sınıfları.....	3
1.3.2. Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörler.....	4
1.3.2.1. Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi.....	5
1.3.2.2. Karma Suyunun Kalitesinin Beton Dayanımına Etkisi.....	5
1.3.2.3. Çimento Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkisi.....	6
1.3.2.4. Agrega Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkisi	6
1.3.2.5. Betonun Taşınması ve Yerleştirilmesinin Beton Dayanımına Etkileri.....	6
1.3.2.6. Kür Ortamının ve Betonun Yaşının Beton Dayanımına Etkileri	7
1.3.3. Basınç Dayanım Deneyi.....	7
1.3.3.1. Beton Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörler	8
1.3.3.1.1. Numune Şekli.....	8
1.3.3.1.2. Numune Boyutları.....	8
1.3.3.1.3. Numunelerin Hazırlanması.....	8
1.3.3.1.4. Numunelere Uygulanan Kür	9
1.3.3.1.5. Silindir Numunelere Başlık Yapılması	9
1.3.3.1.6. Beton Basınç Cihazı.....	10
1.3.3.1.7. Uygulanan Yükün Hızı	10
1.3.3.1.8. Basınç Dayanımının Bulunabilmesi İçin Gerekli Numune Sayısı.....	11
1.4. Betonun Yerinde Muayenesi.....	11
1.4.1. Tahribatlı Deney Yöntemleri	12

1.4.1.1.	Karot Alma.....	12
1.4.2.	Tahribatsız Deney Yöntemleri	14
1.4.2.1.	Beton Test Çekici ile Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi.....	16
1.4.2.1.1.	Beton Test Çekici.....	17
1.4.2.1.2.	Beton Test Çekici Yönteminin Uygulanması	19
1.4.2.1.3.	Beton Test Çekici ile Ölçülen Değerleri Kullanarak Basınç Dayanımının Elde .. Edilebilmesi	20
1.4.2.2.	Ultrasonik Test Cihazı Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi....	22
1.4.2.2.1.	Ultrasonik Test Cihazı.	22
1.4.2.2.2.	Ultrasonik Test Yöntemiyle Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi	24
1.4.2.3.	Birleştirilmiş Yöntemle Beton Dayanımının Belirlenmesi.....	25
1.4.2.4.	Windsor Probe Penetrasyon Test Yöntemi	27
1.4.2.5.	Rezonans Frekans Yöntemi... ..	27
1.4.2.6.	Çivi İşleme Derinliği Test Yöntemi.....	28
1.4.2.7.	Çekme (Pull-out) Yöntemi.....	28
1.4.2.8.	Kırılma (Break-off) Yöntemi.....	29
1.4.2.9.	Çıkarma (Pull-off) Yöntemi.....	30
1.5.	Daha Önce Yapılmış Çalışmalar	31
1.6.	Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	36
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	37
2.1.	Malzeme.....	37
2.2.	Yöntem.....	37
2.2.1	Deney Numunelerinin Hazırlanması.....	37
2.2.2.	Numunelere Uygulanan Kür	38
2.2.3.	Deneylerin Uygulanması.....	39
2.2.3.1	Ultrases Deney Yöntemi, Schmidt Geri Tepme Değeri Yöntemi ve Beton Basınç Deneyinin Uygulanması.....	39
2.2.3.2.	Çekirdek Numune Deneyleri	41
3.	BULGULAR VE İRDELEMELER.....	42
3.1.	Laboratuvarda Beton Dayanımı Belirlemeye Yönelik Deneyler	42
3.2.	Ultrasonik Dalga Hızı ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki	45
3.3.	Schmidt Geri Tepme Değeri ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki.	47
3.4.	Yeni Bir Birleştirilmiş Yöntem Geliştirilmesi.....	50
3.4.1.	7 Günlük Numuneler İçin Çoklu Regresyon Denklemlerinin Bulunması... ..	50

3.4.1.1.	Lineer Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması.....	50
3.4.1.2.	Logaritmik Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması... ..	51
3.4.1.3.	Ters Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması.	51
3.4.2.	28 Günlük Numuneler İçin Çoklu Regresyon Denklemlerinin Bulunması	52
3.4.2.1.	Lineer Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması.....	52
3.4.2.2.	Logaritmik Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması.	52
3.4.2.3.	Ters Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması.	53
3.5.	Yerinde Beton Dayanımı Belirlemeye Yönelik Deneyler	55
3.5.1.	28 günlük Basınç Dayanımı ile Yerinde Muayene Arasındaki İlişki.....	55
3.5.2.	Çekirdek Numuneler Üzerinde Sonuçların Değerlendirilmesi.	58
4.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.	KAYNAKLAR	64
	ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Beton Dayanımı ile Su/Çimento Oranı Arasındaki ilişki.....	5
Şekil 1.2. Deney basınç cihazındaki küresel üst başlığın şeması	10
Şekil 1.3. Betonarme kesitten karot alınması.....	13
Şekil 1.4. Beton Test Çekici	18
Şekil 1.5. Test Çekicinin Kalibrasyonu için Kullanılan Özel Örs.	19
Şekil 1.6. Beton Test Çekici ile Okunan ‘Geri Sıçrama Değerleri’ ile ‘Beton Silindirelerin Basınç Dayanımı’ Arasındaki İlişki.....	20
Şekil 1.7. Ultrasonik Test Cihazı	23
Şekil 1.8. Ultrasonik Pulsların Gönderilme ve Alınma Yöntemleri: (a) Doğrudan İletim, (b) Yarı-doğrudan İletim ve (c) Yüzeyden İletim.....	24
Şekil 1.9. Bellander tarafından geliştirilen birleştirilmiş yöntem grafiği	26
Şekil 1.10. Ultrasonik yöntem el kitabında verilen birleştirilmiş yöntem grafiği	26
Şekil 1.11. Windsor probe penetrasyon test yöntemi aleti.....	27
Şekil 1.12. Çivi işleme derinliği test yöntemi aleti	28
Şekil 1.13. Pull-out test yöntemi aleti	29
Şekil 1.14. Break-off test yöntemi aleti	30
Şekil 2.1. Kür havuzundaki küp numuneler ve numunelerin deneye hazırlanışı	39
Şekil 2.2. Ultrases cihazı mesafe (m) ekranı.....	40
Şekil 2.3. Karşılıklı okuma yapılması.....	40
Şekil 2.4. Ultrases dalga hızı sonuç ekranı.....	40
Şekil 2.5. Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin okunması	41
Şekil 2.6. Küp numunelerin beton basınç cihazına yerleştirilmesi ve kırılması.....	41
Şekil 3.1. 7 günlük numuneler için ultrases dalga hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	45
Şekil 3.2. 28 günlük numuneler için ultrases dalga hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	46
Şekil 3.3. Ultrases geçiş hızı deneyi için temel eğri	46
Şekil 3.4. 7 günlük numuneler için geri tepme sayısı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki	48
Şekil 3.5. 28 günlük numuneler için geri tepme sayısı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	48
Şekil 3.6. Schmidt geri tepme deneyi için temel eğri.	49

Şekil 3.7. Ultrasonik Dalga Hızı, Schmidt Geri Tepme Değeri ve Basınç Dayanımı arasındaki üçlü ilişki	54
Şekil 3.8. Laboratuvarda 28 ve yerinde 90, 180 günlük Ultrasonik dalga hızı-Basınç dayanımı ilişkisi.....	57
Şekil 3.9. Laboratuvarda 28 ve yerinde 90, 180 günlük Schmidt geri tepme değeri-Basınç dayanımı ilişkisi.....	57

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1.1. Beton sınıfları ve dayanımları	3
Tablo 1.2. Beton sınıfları ve dayanımları	4
Tablo 1.3. Test Çekicinin Geri Sıçrama Sayısı ile Standart Beton Silindirlerin Dayanımı Arasındaki ilişki.....	21
Tablo 1.4. Ultrasonik Test Yöntemiyle Beton Kalitesinin Değerlendirilmesi.....	25
Tablo 3.1. 7 günlük numunelere ait deney sonuçları	43
Tablo 3.2. 28 günlük numunelere ait deney sonuçları	44
Tablo 3.3. Ultrases dalga hızlarına ve TS EN 13791'e göre dayanımların gerçek beton dayanımlarıyla kıyaslanması	47
Tablo 3.4. Schmidt geri tepme değerlerine göre gerçek beton dayanımı ile bu çalışmada elde edilen formülün ve TS EN 13791'in kıyaslanması.....	49
Tablo 3.5. Lineer fonksiyona göre sabit katsayılar	51
Tablo 3.6. Logaritmik fonksiyona göre sabit katsayılar	51
Tablo 3.7. Ters fonksiyona göre sabit katsayılar	52
Tablo 3.8. Lineer fonksiyona göre sabit katsayılar	52
Tablo 3.9. Logaritmik fonksiyona göre sabit katsayılar.....	53
Tablo 3.10. Ters fonksiyona göre sabit katsayılar	53
Tablo 3.11. Düşük dayanımlı numuneler için üç birleştirilmiş yöntem grafiğinin kıyaslanması	55
Tablo 3.12. Yüksek dayanımlı numuneler için üç birleştirilmiş yöntem grafiğinin kıyaslanması	55
Tablo 3.13. Karot numunelere ait ultrases dalga hızı-Schmidt geri tepme değeri-basınç dayanımı sonuçları.....	60

SEMBOLLER ve KISALTMALAR DİZİNİ

B_0, B_1, B_2	: Sabit katsayılar
φ	: Çimentonun hacmi
f_{ck}	: Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)
f_{ctk}	: Betonun karakteristik aksenal çekme dayanımı (MPa)
$f_{ck, is}$: Yapıdaki karakteristik basınç dayanımı (MPa)
$f_{is, en düşük}$: Yapıdaki basınç dayanımlarından en düşüğü (MPa)
$f_{m(n), is}$: n adet yerinde basınç dayanımının ortalaması (MPa)
$f_{standart}$: Deney bölgesindeki betonun karakteristik dayanımı (MPa)
h	: Havanın hacmi
k	: Numune sayısına bağlı katsayı
K	: Sabit değer
L	: Beton bloktaki gönderici ve alıcı başlık arasındaki mesafe (m)
MPa	: Megapascal (N/mm^2)
s	: Suyun hacmi
S	: Betonun dayanımı
t	: Ses üstü dalganın gönderici başlıktan alıcı başlığa ulaşana kadar geçen zaman, mikrosaniye
V	: Ses üstü dalga hızı (m/s)
α	: Schmidt çekicinin yatayla yaptığı açı
σ_{15}	: 15 cm'lik küp numunenin basınç dayanımı
$\sigma_{min}, \sigma_{max}$: Standart beton silindirlerin dayanımı
$\sigma_{standart sil.}$: Standart silindir numunenin basınç dayanımı
$\sigma_{küp}$: Küp numunelerin basınç dayanımı
σ_{karot}	: Çekirdek numunelerin basınç dayanımı
ϕ	: Silindir beton numune çapı
λ	: Çekirdek numune için boy/çap oranı
x_1	: Ultrases geçiş hızı
x_2	: Geri tepme sayısı

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Beton, günümüz yapı teknolojisinde en sık kullanılan, kolay üretilen ve bileşenleri kolay temin edilebilen, ekonomik bir malzeme olmasına karşın, özellikle yük altındaki davranışının ve mekanik özelliklerinin tam anlaşılmasını sebebiyle üzerinde yoğun çalışmaların hala sürdürüldüğü bir malzemedir. Bileşenlerinin kolay temin edilebilmesi ve ekonomik olması ülkemizde yapı sektöründe ve genel inşaat alanlarında tercih edilme sebebidir.

Betonarme, betonun basınç ve çeliğin çekme gerilmelerini karşıladığı kompozit bir sistemdir. Betonarme sistemlerde, yapıya etkiyen statik ve dinamik yükler göz önüne alınarak, bu yükleri belirli bir güvenlikle karşılayacak biçimde boyutlandırma yapılır. Betonun basınç dayanımı yapının servis ömrü açısından hayati önem taşımaktadır. Bu nedenle, inşaat aşamasında ve inşaat tamamlandıktan sonra, farklı yapı elemanlarındaki beton basınç dayanımının bilinmesi, kontrol ve değerlendirme yapılabilmesi açısından son derece önemlidir (Ersoy, 1987; Yazıcı vd., 2006). Yine malzeme davranışı da ortam koşullarına, sıcaklığa, yükleme durumuna ve maruz kaldığı kimyasal saldırılara göre değişimler göstermektedir (Neville, 1981; Ersoy, 1987; Akman, 1990; Erdoğan, 2010; Yazıcı vd., 2006).

Betonun ülkemizdeki önemi ve kullanım yaygınlığı düşünüldüğünde, beton üretiminin, yerleştirilme işleminin, yerleştirildikten sonra bakımının ve kontrolünün iyi yapılması gerekmektedir. Ülkemizin büyük bir kısmı deprem kuşağında yer almakta ve bunların da çoğunluğu 1. derece deprem bölgeleridir. Depremi doğurduğu etkiler ve verdiği zararlar göz önüne alındığında betonun denetiminin çok iyi yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde denetimsiz betonarme yapılar olası depremlerde ve çevresel etkiler altında istenmeyen sonuçlar doğurabilir. Bu bağlamda, betonun basınç dayanımının belirlenmesi beton niceliği açısından son derece önemlidir. Yüksek basınç dayanımı, beton için en önemli kalite kontrol göstergesidir.

Genel olarak beton basınç dayanımı tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki yöntemle belirlenebilmektedir. Tahribatlı yöntemler betonarme elemana zarar vermekle beraber pahalı ve uygulaması zor yöntemlerdir. Tahribatsız yöntemler ise betonarme elemana zarar vermeyen, uygulanması kolay, daha ekonomik yöntemlerdir. Betonun

yerinde denetiminin sağlanması klasik yöntemlerle çok zor gerçekleşmekte ve mevcut bina yoğunluğu düşünüldüğünde zaman açısından çok büyük problemlere yol açmaktadır. Bunun yerine, yaklaşık da olsa beton basınç dayanımını kısa sürede ve daha az maliyetle bulacak yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Tahribatsız yöntemler bu anlamda beton basınç dayanımı testinde etkin olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ve diğer ülkelerde en çok kullanılan tahribatsız test yöntemleri Schmidt geri tepme ve Ultrases dalga hızı metotlarıdır. Schmidt geri tepme yönteminin uygulaması pratik ve ucuz olmasına rağmen, tek başına kullanımı yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Ultrases dalga hızı yöntemi de, yine ucuz ve pratik olarak yaklaşık bir şekilde beton basınç dayanımının tahmin edilmesinde kullanılmaktadır. Özellikle, beton elemanlarda oluşan ayrışmaları ve boşlukları belirleme işleminde çok başarılı bir şekilde uygulanmaktadır. Ancak iki yöntem de ayrı ayrı kullanıldığında tam olarak beklenen doğruluğu verememektedir. Son zamanlarda, beton basınç dayanımının yaklaşık olarak belirlenmesinde kullanılan en etkin ve güvenilir yöntem, Schmidt çekici ile Ultrases dalga hızının birlikte kullanıldığı birleşik yöntemdir.

1.2. Betonda Kalite Kontrol ve Önemi

Günümüzde beton üretim teknolojisi, endüstriyel bir üretim olmakla birlikte, her endüstriyel üretim gibi denetim altında tutulması gerekmektedir. Diğer bir deyişle betonun kalitesinin kontrol edilmesi gerekir.

Kalite-kontrol denetiminin esas amacı, üretimin başlangıçta yapılan proje kabullerine uygunluğunu ve ekonomik koşullarda gerçekleşmesini sağlamaktır. Projede belirtilen beton dayanım sınıfıyla, üretim sonrası dayanım ortalaması arasında yönetmeliklerce saptanan durumun gerçekleşmesi gerekmektedir. Bu konu, yapı güvenliği açısından önemlidir. Diğer taraftan bu sonuca, ekonomik koşullarla ulaşılmalıdır. Yetkililerin ekonomik koşullarla yapısal güvenliğe ulaşması için tek araç, kalite-kontrol denetimlerinin uygulanmasıdır.

1.3. Betonun Basınç Dayanımı

Beton, genellikle yapılarda taşıyıcı eleman üretiminde kullanılan kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun taşıyıcılığının en belirgin ölçütü de basınç dayanımıdır. Beton

basınç dayanımı, sertleşmiş betonun özellikleri içerisinde en kolay belirlenen özelliktir. Ayrıca basınç dayanımı, beton kalitesi hakkında en doğru bilgileri vermektedir.

Beton dayanımı; üzerine gelen yüklerin oluşturacağı şekil değişikliklerine ve kırılmalara karşı, betonun gösterebileceği en büyük dirençtir.

Temel bir yapı malzemesi olan beton, doğası gereği diğer yapı malzemelerinden ayrılmaktadır. Beton özelliklerinin, tıpkı yaşayan sistemlerde olduğu gibi zamanla gelişme gösterdiği gözlenmiştir. Beton kompozit bir malzeme özelliği taşıdığından bileşenlerinin ayrı ayrı gösterdiği özellikleri birleştirildiğinde taşımamaktadır. Beton davranışlarının önemli bir kısmı, bu bileşenlerin arasındaki etkileşimler sonucu ortaya çıkmaktadır.

Beton üzerinde yapılan çeşitli çalışmalarda, malzemenin bir takım özellikleri ve basınç dayanımı arasındaki ilişkiler araştırılmış ve betonun çeşitli özelliklerinin, basınç dayanımı ile aynı yönde değiştiği gözlenmiştir. Bu ilişkiden dolayı betonun basınç dayanımı, betonun kalite ölçütü olarak kabul edilmektedir. Ancak, diğer özelliklerle basınç dayanımı arasındaki ilişki kesin değildir. Özel uygulamalarda, söz konusu uygulamada önem taşıyan özelliğin deneysel olarak incelenmesi gerekmektedir.

1.3.1. Basınç Dayanım Sınıfları

Ülkemizde geçerli olan 'Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları' adlı TS 500 standardına göre beton sınıfları Tablo 1.1' de ve TS EN 206-1' e göre Tablo 1.2' de verilmiştir (TSE 2000; TSE 2002).

Tablo 1.1. Beton sınıfları ve dayanımları

Beton Sınıfı	Karakteristik basınç dayanımı, f_{ck} , MPa	Eşdeğer küp (150 mm) basınç dayanımı, MPa	Karakteristik aksel çekme dayanımı, f_{ctk} , MPa	28 günlük elastisite modülü, E_c , MPa
C 16	16	20	1.4	27000
C 18	18	22	1.5	27500
C 20	20	25	1.6	28000
C 25	25	30	1.8	30000
C 30	30	37	1.9	32000
C 35	35	45	2.1	33000
C 40	40	50	2.2	34000
C 45	45	55	2.3	36000
C 50	50	60	2.5	37000

Tablo 1.2. Beton sınıfları ve dayanımları

Basınç dayanımı sınıfı	En düşük karakteristik silindir dayanımı $f_{ck,sil}$ (MPa)	En düşük karakteristik küp dayanımı $f_{ck,küp}$ (MPa)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik hükümlerine göre, tüm deprem bölgelerinde taşıyıcı elemanlarda C20/25 sınıfının altında beton kullanımı yasaklanmıştır (Bay. ve İskan B., 2007). Ancak yapı denetimlerin ülkemizde henüz sağlıklı çalışmaması nedeniyle, bu kural uygulamada genellikle yerine getirilememektedir. TS EN 206 (2002) ' ya göre, dayanıklılık açısından en düşük dayanım sınıfının C30/37 olması önerilmektedir.

1.3.2. Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörler

Betonun yüksek basınç dayanımına sahip olabilmesi için malzeme açısından bir takım kurallara uyulması gerekmektedir. Ancak beton bileşimi doğru ilkelere uyularak belirlense de beton dayanımı; malzemenin yanında işçilik, kür gibi daha birçok faktörün etkisi altındadır (Baradan vd., 2012). Beton kalitesini etkileyen parametreler;

- Su/çimento oranı,
- Karma suyunun kalitesi,
- Çimento özellikleri,
- Agrega özellikleri,
- Betona uygulanan karılma, taşınma, yerleştirilme ve sıkıştırılma işlemleri,

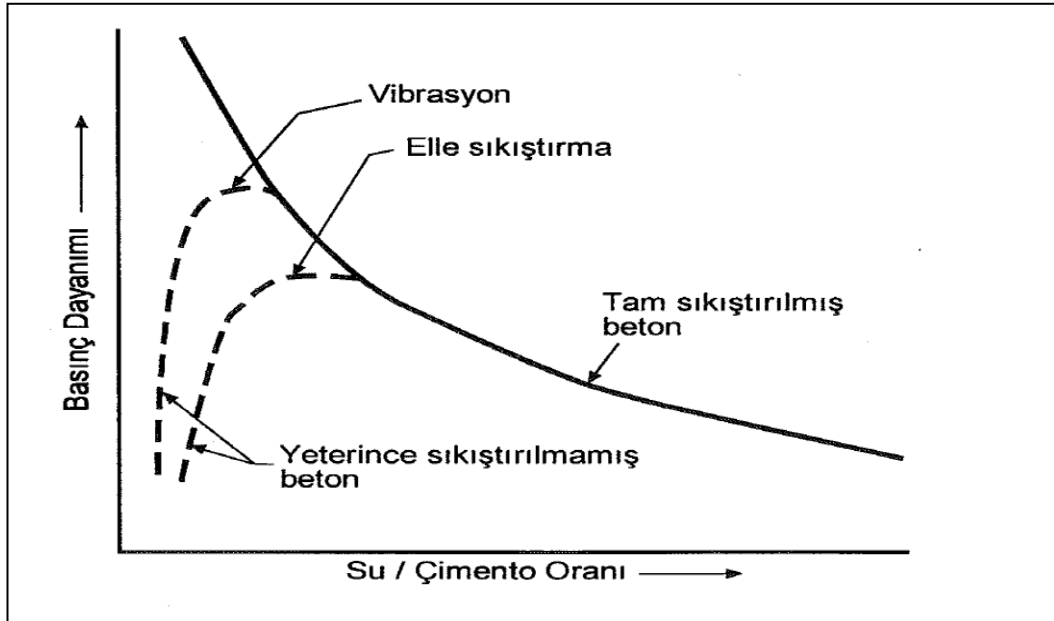
-Kür koşulları ve betonun yaşdır (Erdoğan, 2010).

1.3.2.1. Su/Çimento Oranının Beton Dayanımına Etkisi

Uygun sıcaklık ve nem ortamında kür edilmiş olan betonun herhangi bir yaştaki dayanımını; (a) Betonun üretiminde kullanılan su/çimento oranı ve (b) taze betonun sıkıştırılma derecesi etkilemektedir.

Su/çimento oranı yükseldikçe, betonun içerisinde yer alan boşluk miktarı artmakta ve beton dayanımı düşmektedir.

Su/çimento oranı ile beton dayanımı arasındaki ilişki Şekil 1.1' de gösterilmektedir (Neville, 1981). Genel olarak, su/çimento oranı azaldıkça dayanım artmakta, fakat su/çimento oranındaki azalma fazla olduğunda, böyle bir betonu iyi sıkıştırmak zor olmakta ve betonun içerisindeki boşluklardan tamamen kurtulmak mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, çok düşük su/çimento değerlerine sahip olan betonların dayanımlarında, kesik çizgilerle belirtildiği gibi, düşüş olmaktadır (Erdoğan, 2010).



Şekil 1.1. Beton Dayanımı ile Su/Çimento Oranı Arasındaki ilişki

1.3.2.2. Karma Suyunun Kalitesinin Beton Dayanımına Etkisi

Beton üretiminde kullanılacak suyun içeriğinde yabancı maddeler yer alabilir. Bu yabancı maddeler betonun priz süresinde, dayanımında, dayanıklılığında ve betonarme

yapılardaki betonların içerisinde yer alan demiri korozyona uğratacak kadar fazla miktarda olmamalıdır.

1.3.2.3. Çimento Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkisi

Çimento betonun dayanımını iki şekilde etkiler: Bunlardan ilki, çimento dozajıdır. Çimento dozajının artmasıyla çimento hamurunun hacmi artar. Bu şekilde beton kesitinde herhangi bir zorlama altında, çimento hamurunda oluşan gerilmeler daha küçük değerlerde kalır. Bu durum betondan daha büyük dayanımların elde edilmesini sağlar. İkincisi ise, çimento tipinin beton dayanımına etkisidir. Dayanımı yüksek olan çimentolarla üretilen betonların dayanımı da yüksek olmaktadır (Baradan vd., 2012).

Çimento türünü belirleyen özellikler, çimentonun kimyasal bileşimi ve çimento tane inceliğidir. Bu özellikler, çimentonun hidrasyon hızını etkilemektedir. Dolayısıyla bu özellikler, çimento hamurunun ne kadar sürede dayanım kazanacağını ve kazanacağı dayanım değerini etkilemektedir (Erdoğan, 1995; 2010).

1.3.2.4. Agrega Özelliklerinin Beton Dayanımına Etkisi

Agrega tane dağılımı, en büyük agrega tane boyutu, tane şekli, tanelerin yüzey dokusu, dayanımı ve agregada bulunabilecek zararlı maddelerin miktarı beton dayanımını etkilemektedir (Erdoğan, 2010).

1.3.2.5. Betonun Taşınması ve Yerleştirilmesinin Beton Dayanımına Etkileri

Beton yapımına uygun malzemeler uygun oranlarda bir araya getirilerek uygun zamanda karılmalı, üretilen taze betonda ayrışmalar yer almamalı ve düzgün dağılımlı bir beton elde edilmelidir.

Karılma süresi gereğinden kısa tutulduğunda, malzemelerin düzgün dağılımı sağlanamamaktadır.

Karılma süresi gereğinden uzun tutulduğunda, beton karışımının sıcaklığı yükselmekte ve iri agregalar kırılmaktadır. Agregalardaki kırılmalardan dolayı, istenilen kıvamı sağlayabilmek için daha fazla su kullanmak gerekmektedir. Su miktarının artması da, su/çimento oranının yükselmesine ve doğal olarak beton dayanımının düşmesine neden olmaktadır (Erdoğan, 2010).

Taze betonun döküm yerine en az darbe ve sarsıntı ile taşınması gerekmektedir. Aksi halde, beton homojenliğini kaybedecektir. Ayrıca betonun taşınma süresi uzadığında kıvam kayıpları oluşmakta ve betonun yerleştirilmesi zorlaşmaktadır (Baradan vd., 2012).

Taze beton, homojenliğini kaybetmeden iyi sıkıştırılarak yerine yerleştirilmelidir. Betonun içinde bir miktar hava yer aldığı için sıkıştırma işleminin çok iyi yapılması, mümkünse içten ya da kalıp dışından vibratör yardımıyla yerleştirilmelidir.

1.3.2.6. Kür Ortamının ve Betonun Yaşının Beton Dayanımına Etkileri

Taze betonun üretildiği ve yerleştirildiği andaki sıcaklığı, yerleştirildiği andan itibaren betonun karşılaştığı nem ve ortam sıcaklığı, betonun bu ortamda ne kadar uzunlukta tutulduğu, çimentodaki hidratasyonun ne hızda ve ne ölçüde yer alabilmiş olduğunu, dolayısı ile betonun kazanacağı dayanımın hızını ve miktarını etkilemektedir. Ayrıca rüzgar şiddeti ile doğrudan güneş ışığının taze beton üzerindeki etkilerini de göz önünde bulundurmak gerekmektedir (Erdoğan, 2010; Baradan vd., 2012).

1.3.3. Basınç Dayanım Deneyi

Betonun basınç dayanımı, üzerine gelen basınç yüklerinin sebep olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği en büyük direnme değeridir (Baradan vd., 2012).

Beton basınç dayanımını belirleyebilmek için farklı deney yöntemleri kullanılmaktadır. Basınç dayanımı;

1) Taze betondan standart boyutlu numuneler alınarak beton standartlarında belirtilen süre ve koşullarda kür edildikten sonra kırılarak,

2) Sertleşmiş betonu delerek alınan çekirdek (karot) numuneleri beton basınç cihazında kırılarak,

3) Schmidt çekici ile sertleşmiş betonun yüzey sertliğini ölçerek betonun basınç dayanımı hakkında öngörüde bulunarak,

4) Ultrasonik test cihazı yardımıyla sertleşmiş betonun içerisinden ses dalgaları geçirerek ve bu dalgaların hızına göre dayanım tahmini yaparak belirlenmektedir.

Betonun basınç dayanımının elde edilebilmesi için standart deney yöntemi ile ilgili Türk ve ASTM standartları; TS EN 12390-2 (2010), TS EN 12390-3 (2010), ASTM C31 (1994) ve ASTM C39 (1994)' dur.

Standart deney yönteminin uygulanmasında kullanılan beton numunelerinin şekilleri, boyutları, hazırlanması, kürü, basınç cihazında uygulanan yükün hızı ve numune sayısı etkilidir.

1.3.3.1. Beton Basınç Dayanımına Etki Eden Faktörler

1.3.3.1.1. Numune Şekli

Standard deney yöntemine göre kullanılan beton numunelerin şekilleri farklı ülkelerde değişiklik göstermektedir. ABD, Fransa, Kanada, Avustralya, Yeni Zelanda gibi bazı ülkelerde, sadece silindir şekilli numuneler kullanılmaktadır. Türkiye, İsveç, Norveç, Danimarka gibi bazı ülkelerde ise hem silindir şekilli hem de küp şekilli numuneler kullanılmaktadır (Tokyay vd., 1997; Erdoğan, 2010).

1.3.3.1.2. Numune Boyutları

Beton numuneler için kullanılacak boyutlar, ilgili standartlarda verilmektedir. Küçük numuneler büyük numunelere göre daha çok tercih edilmektedir. Küçük numunelerin bir takım üstün yönleri mevcuttur. Bunlar; küçük numunelerin hasar görme ihtimalinin düşük olması, daha kolay kullanılması, daha düşük kapasiteli makinelerde kırılabilmesi, daha az beton kullanılarak laboratuvarında fazladan yer işgal etmemesi şeklinde sıralanabilir (Day, 1993; Neville, 1981; Tokyay, 1997).

Ayrıca numune boyutları beton dayanım sonuçlarını da etkilemektedir. Beton içerisinde bir miktar hava vardır ve rastgele dağılmıştır. Bu durumda, beton içerisinde fazlaca yer alan hava gerilmelere yol açmakta, böylece beton dayanımı düşebilmektedir. Beton numunelerin boyutları büyüdükçe dayanımda düşüşler olabilmektedir (Neville, 1981; Tokyay, 1997).

1.3.3.1.3. Numunelerin Hazırlanması

Beton numunelerin hazırlanması, dökümü ve bakımı TS 1247'de (1984) belirtilmektedir. Standartlara uygun şekilde beton numuneler hazırlanarak saklanmakta ve bakımı yapılarak 28 gün sonunda basınç cihazında kırılmaktadır.

Ayrıca taze betondan alınacak numuneler için de numune alma metotları TS EN 12350-1' de (2010) belirtilmektedir.

1.3.3.1.4. Numunelere Uygulanan Kür

Kür işleminin amacı, betonda başlangıçta su ile dolu olan taze betonun boşluklarının olabildiğince hidrasyon ürünleriyle dolmasını sağlamaktır. Bu durum, betonun suya doygun veya olabildiğince doygun tutulması ile gerçekleşmektedir. Diğer bir faktör ise, hidrasyonun uygun bir şekilde gelişimini sağlayacak sıcaklıkların sağlanmasıdır (ACI 308-92, 2000; Baradan vd., 2012).

Betonun dayanımı ve dayanıklılığı yalnız doğru ve yeterli süre kür edilerek sağlanmaktadır. Kür işleminin yetersiz olması halinde, kapiler boşluklar hidrasyon ürünleri ile yeterli derecede dolmayacağından, dayanım ve dayanıklılık açısından yetersiz bir beton üretilmiş olmaktadır. Böylece, yapının servis ömrü boyunca bir takım sorunlar oluşacak, hatta servis ömrü kısalabilecektir (Baradan vd., 2012).

Kür, kalıpların kolay sökülebilmesi açısından da önemlidir. Yetersiz kür nedeniyle, dayanımı yeterli oranda gelişmeyen betonlarda kalıpların sökülmesi sırasında elemanlarda çatlamlar hatta göçmeler oluşabilmektedir (Baradan vd., 2012).

Hazırlanan silindir veya küp numuneler, kalıplarından çıkarıldıktan sonra, deney anına kadar (28 günün sonunda) 23 ± 1.7 °C sıcaklık ve % 95 rölatif nem ortamına sahip olan bir kür odasında veya bu sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmektedir.

Yapının bulunduğu sahada üretilen beton numuneler, kalıplarından çıkarılıncaya kadar uygun sıcaklıkta, üst kısımları nemli bir bez ile örtülerek saklanmaktadır. Yapıdaki betonun yerleştirilmesi sırasında alınan numuneler, kalıplarından çıkarıldıktan sonra yapıda yer alan betona yakın bir yerde saklanmaktadır (Erdoğan, 2010).

1.3.3.1.5. Silindir Numunelere Başlık Yapılması

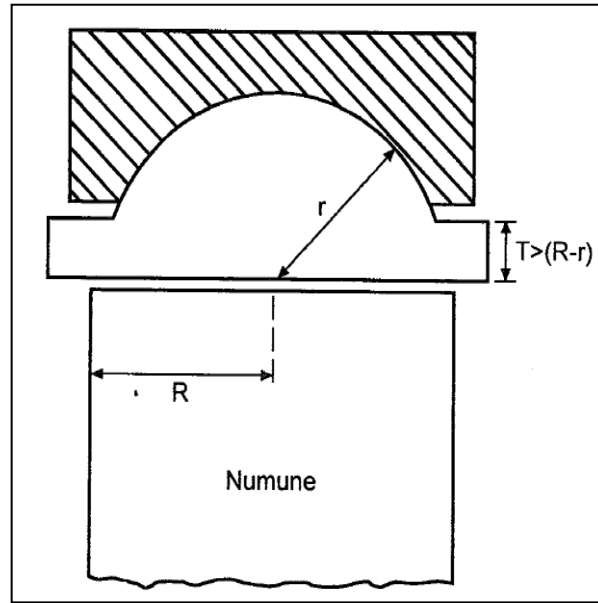
Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerine düzgün dağılımlı aksel yük uygulanabilmesi için, deney basınç cihazının başlıklarıyla temas eden beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinin çok düzgün olmaları gerekmektedir. Beton numunesinin alt ve üst yüzeylerinde çukurluklar veya çukurluklar bulunduğu takdirde, aksel yükün düzgün dağılımlı tarzda uygulanabilmesi mümkün olamamaktadır. Başlık ya da numunenin uçlarının düzgün olmaması nedeniyle yük düzgün dağılımlı değil de numunenin bir kısmında yoğunlaşabilir. Böyle bir durumda basınç değil, yarıma şeklinde kırılma gerçekleşmektedir. Özellikle betonarme yapılardan alınan silindir karot numunelerde bu durum çokça gözlenmektedir.

Bu nedenle silindirik numuneleri alt ve üst kısımları başlıklama makinesinde pürüzsüz hale getirilir (Troxell vd., 1968).

Küp kalıpların iç yüzeylerinin pürüzsüz olması nedeniyle kalıplarından çıkarılan numunelerin yatay eksenindeki yüzeyleri pürüzsüz olmaktadır. Bu nedenle küp numunelere başlık yapılmasına gerek yoktur.

1.3.3.1.6. Beton Basınç Cihazı

Beton numune, alt tablası rijit olan basınç cihazının üzerine yerleştirilir. Basınç cihazı numuneye alt ve üst yüzlerinden yük uygulayarak basınç dayanımını belirler. Beton basınç cihazının üst bloğu Şekil 1.2' den (ASTM C39) görüleceği gibi küresel şekilli ve oynar başlıklıdır. Bu sistem, üst bloktaki başlığın numune üzerine tam oturmasını ve numune yüzeyine uygulanan yükün deney süresince tamamen dik ekseninde uygulanmasını sağlamaktadır (Erdoğan, 2010; Baradan vd., 2012).



Şekil 1.2. Deney basınç cihazındaki küresel üst başlığın şeması

1.3.3.1.7. Uygulanan Yükün Hızı

Hidrolik sistemle çalışan deney basınç cihazları ile yapılan deneylerde, numunenin üzerine 1.4 - 3.5 kgf/cm²/s hızla yük uygulanmaktadır (TSE, 2010). Yükleme hızı arttıkça deney sonuçları daha yüksek çıkmaktadır.

1.3.3.1.8. Basınç Dayanımının Bulunabilmesi İçin Gerekli Numune Sayısı

Bir beton karışımının herhangi bir yaştaki basınç dayanımını belirlemek için en az üç adet silindir veya küp numuneye beton basınç cihazında kırılma deneyi uygulanmalıdır.

Her bir numuneye ait basınç dayanımı hesaplandıktan sonra, ortalamaları alınarak o yaştaki betonun basınç dayanımı elde edilir.

1.4. Betonun Yerinde Muayenesi

Günümüzde betonun kalite kontrolü, standart numuneler üzerinde yapılan dayanım deneyleriyle belirlenmektedir. Bu yöntem numune alınması, bakımı ve kürü, deneyin uygulanması ve sonucun belirlenmesi aşamalarıyla kolay bir yöntem olup standart bir hal almıştır. Bulunan basınç dayanımı, uygun katsayılarla çarpılarak hesap dayanımına çevrilip kullanılmaktadır. Ancak, standart prosedüre uygun olarak yapıldığı takdirde betonun potansiyel dayanımını vermektedir. Betonun yerindeki gerçek basınç dayanımını temsil etmemektedir. Çünkü silindir veya küp kırma deneyinin, şantiyedeki betonun kalıba dökme, sıkıştırma ve kür şartlarının aynısı olması mümkün değildir. Kaldı ki, bir yapıdaki beton ile standart kür edilmiş numunenin aynı gelişimi göstermesi de beklenemez. Standart numunelerin 28 günlük basınç dayanımları, beton kalıbının güvenlikle sökülmesi için yeterli mukavemete ulaşmış olup ulaşmadığını belirlemede kullanılamaz. Beton basınç dayanımının kalıp sökülmesi için yeterli olup olmadığı, 28. günü beklemeden yalnızca tahribatsız deney metotlarıyla belirlenebilir.

Diğer taraftan eğilmeye çalışılan kirişler veya ön gerilmeli elemanlar, standart numuneye benzer gelişim göstermezler. Bu nedenle, betonun yerinde ve istenen zamanındaki gerçek mukavemetini belirleme testleri gereklidir. Tahribatsız deneylerle, hem yapım aşamasında istenen zamanda, hem de önceden yapılmış bir yapının belli bir tahribat ya da bir afet (deprem, yangın vb.) sonucunda betonun yerindeki dayanımını kontrol etme olanağı vardır.

Yapım programını hızlandırmak için kalıp alma, kür işlemine son verme, dikmelerin sökülmesi gibi işlemler olabildiğince erken ve güvenlik içinde yapılmalıdır. Yerinde tahribatsız deney metotları sayesinde yatırım süresi kısaltılarak ekonomik kazanç ve zaman tasarrufu sağlanabilir. Yapılara sonradan kat ilave edilmesi, kullanım amacının değişmesi gibi durumlar yurdumuzda sıkça rastlanan olaylardır. Projesinde öngörülen yüklerden daha fazlasının yapıya etkimesi, kesit tesirlerinin beklenenden fazla olmasına

neden olur. Bu ise, yapının emniyetli olup olmadığı şüphesini doğurur. Kimi zaman yapımcı firma ve işveren arasında hukuki anlaşmazlıklar nedeniyle yapıda beton davranışının tespit edilmesi de gerekebilir.

Teknolojinin gelişmesi ile ortaya çıkan tahribatsız yöntemler her geçen gün artmakta ve kullanımı yaygın hale gelmektedir. Dezavantajları dikkate alınarak bunları önlemek ve gerçeğe daha yakın sonuçların alabilmek için her geçen gün yeni çalışmalar yapılmaktadır ve yavaş yavaş bunlar standartlardaki yerini almaktadır.

Betonun basınç dayanımını belirlemek için beton dökümü esnasında numuneler alınır. Bu numuneler uygun kür ortamında bekletilerek, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları beton basınç cihazında kırılarak belirlenir. Projede öngörülen beton sınıfı elde edilmişse sorun yoktur. Ancak numunelerin basınç dayanımları projede istenen dayanımdan çok düşük ise yerinde denetim yapılır. Bunun için iki yöntem vardır: Tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleri. İki yöntemde de amaç betonun yerinde denetimini sağlamaktır. Her ne kadar numune alınıp deneyler yapılsa da beton aslında yapının bünyesinde bulunduğundan, yerinde nasıl bir dayanım sağlayacağını kestirmek zordur. Bu nedenle betonun her aşamada yerinde test edilmesi çok daha uygundur. Ancak tahribatlı yöntemle bu mümkün görülmemektedir. Tahribatsız test yöntemleri bu yönüyle betona zarar vermeden dayanım tahmini yapmada büyük bir alternatiftir.

1.4.1. Tahribatlı Deney Yöntemleri

Tahribatlı deney yöntemleri betona zarar vererek betonun basınç dayanımının belirlenmesi işlemidir. Bu yöntemler, uygulama açısından zor olmakla birlikte pahalı ve uzun çalışma süresi gerektirir. Beton basınç dayanımının belirlenmesi açısından gerçeğe oldukça yakın sonuçlar vermektedir.

1.4.1.1. Karot Alma

Klasik tahribatlı deney yöntemi olan karot alma işlemi, karot makinesinin bir betonarme elemana monte edilip bir başlık yardımıyla elemanı delerek numune alması işlemidir.

Karot testi ile ilgili standartlar; TS EN 12504-1 (2011), ASTM C42 (1994) ve BS 1881 (1983)' dir. Yapıdan alınacak karot numunelerin sağlıklı ve doğru sonuçlar vermesi

için çapları belirli şartları sağlamalıdır. En küçük karot çapının 10 cm olmasının yanında, kullanılan en büyük agrega boyutunun en az 3 katı olması şartı getirilmiştir.

Ancak bu kurallara rağmen, taşıyıcı elemanların yapısal güvenliği açısından en az hasar verilmesi, sık donatılı elemanlarda çelik donatının kesilmemesi ve bazı durumlarda da estetik sebeplerden dolayı küçük çaplı karot numunelerin alınması gerekebilir. Bu gibi durumlarda 5 cm çaplı karot numuneler alınabilir (Baradan vd., 2012).



Şekil 1.3. Betonarme kesitten karot alınması

Karot numune her yerden rastgele alınamaz. Karot alan teknik eleman için gerçekten ehli olmalıdır. Bu işlem gerçekleştirilirken aşağıdaki uyarılar dikkate alınmalıdır:

-Karot alma aleti çok güçlü olduğundan donatıyı da kesebilir. Bu nedenle numune alınırken beton blokta donatı bulunmamasına özen gösterilmelidir.

-Karot alma işlemi yeterince sertleşmiş betonlara uygulanmalıdır. Aksi takdirde betondaki agrega ve çimento hamuru arasındaki aderans zarar görür. Bu yüzden karot alınacak beton en az 14 günlük olmalıdır.

-Yapıdaki çatlaklı kısımlardan karot alınmamalıdır. Alınan numunelerden özürlü olan veya çatlak olan varsa bunlar üzerinde basınç deneyi yapılmamalıdır.

-Ayrıca karot numunenin çapı, boy/çap oranı, nemlilik durumu, numunelere başlık yapılması ve yükleme hızı önemlidir.

Bunların yanı sıra alınan numunelerin basınç dayanımlarını etkileyen faktörler:

-Karot numunenin çapı,

-Boy/çap oranı,

-Numune alınış yönü (yatay, dikey),

-Numune yüzeyinde bazı iri agregaların kesilmiş durumda yer almaları,

-Numunede bulunan donatı parçaları ve varsa donatı yönü,

-Başlık yapmak için kullanılan malzeme kalitesi,

-Nem durumu,

-Deney basınç cihazının hızı,

-Deney sırasında numunenin sıcaklığı şeklinde sıralanabilir (Erdoğan, 2010; Baradan vd., 2012).

Yapıdan karot numune olarak belirlenen basınç dayanımı ile beton dökümü sırasında numune olarak belirlenen basınç dayanımı arasında farklar oluşmaktadır. Bu farklar;

-Betonu meydana getiren malzemelerin oranlarındaki farklılıklardan,

-Beton dökümü sırasında ilave su kullanılmasından,

-Yerindeki betonun üst kısımlarının terleme nedeniyle daha gözenekli olmasından,

-Sıkıştırma farklarından,

-Kür farklılıklarından oluşabilmektedir.

Laboratuvar ortamında kürlenmiş numunenin dayanımı karot numunenin dayanımından yüksek çıkmaktadır. Bu nedenle bazı kaynaklara göre karot numune dayanımı belirlenirken bazı katsayılarla çarpılmaktadır.

1.4.2. Tahribatsız Deney Yöntemleri

Standart deney numunelerinin ve karot numunelerinin basınç dayanımlarının bulunabilmesi için, beton numuneler basınç cihazında kırılmaktadır.

Kırılma işleminin yer aldığı yöntemlerin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunlar:

-Uygulama ancak silindir veya küp şeklindeki özel deney numuneler için kullanılabilir.

-Deney sonunda numune kırıldığı için, bir numune yalnızca bir defa kullanılabilir.

-Karot alma işlemi ve kırma işlemi çok zahmetli ve pahalı yöntemlerdir (Erdoğan, 2010).

Bu dezavantajları en aza indirgeyebilmek veya ortadan kaldıracılabilmek amacıyla betona zarar vermeden dayanımının tahmin edilebilmesi için tahribatsız (hasarsız) deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemlerin bazıları:

- Beton test çekici yöntemi,
- Ultrasonik yöntem,
- Windsor probe penetrasyon yöntemi,
- Rezonant frekans yöntemi,
- Pin penetrasyon yöntemi,
- Çekme (Pull-out) yöntemi,
- Kırılma (Break-off) yöntemi,
- Çıkarma (Pull-off) yöntemidir.

Tahribatsız deney yöntemleriyle yapılan ölçümlerde, betona ait yüzey sertliği, elastiklik, yoğunluk gibi bazı özellikler kullanılarak bir takım sayısal değerler elde edilmekte ve bu sayısal değerlerle standart deney yöntemi uygulanarak elde edilecek olan beton basınç dayanımı birleştirilerek betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak belirlenmektedir.

Betonun basınç dayanımını bulabilmek üzere Türkiye'de en çok kullanılmakta olan hasarsız deney yöntemi, beton test çekici ve ultrasonik test yöntemleridir. Bazen bir beton eleman üzerinde hem beton test çekici yöntemiyle hem de ultrasonik yöntemle ölçümler yapılmakta ve bulunan sonuçlar birlikte değerlendirilmektedir (Erdoğan, 2010).

Hasarsız deney yöntemlerinin sağladığı avantajlar:

-Hasarsız deney yöntemleri sadece silindir ve küp değil, farklı geometrik şekillere sahip elemanlara da uygulanabilmektedir. Yapıdaki betonun basınç dayanımını elde edebilmek için, betondan karot almaya ve kırmaya gerek kalmamaktadır.

-Tahribatsız deney aletleri tahribatlı yöntem aletlerine göre çok daha basit, hızlı ve ucuzdur.

-Hasarsız yöntemlerin uygulanmasında betonun kırılmasına gerek olmadığından, aynı eleman üzerinde farklı zamanlarda tekrar tekrar ölçüm yapılabilmektedir. Böylece, yapıda yerine yerleştirilmiş olan betonun dayanım kazanıp kazanmadığı kolayca takip edilebilmekte, kalıp sökme ve yapının hizmete sokulma zamanı kolayca belirlenebilmektedir.

-Tahribatsız yöntemlerle çevresel etkilere maruz kalan ve kalmayan betonların karşılaştırılması daha kolay olmaktadır.

Hasarsız yöntemlerle köprü, otoyol, liman ve havaalanları gibi yapıların çevresel etkilerden zarar görmesi tespit edilmekte ve zamanında onarımı yapılmaktadır. Hasarsız yöntemlerin birincil avantajı, bir eleman bünyesindeki anormallikleri ve düzensizlikleri belirlemesidir. Betonarme kesitlerde, bu yöntemlerle, donatı çapları ve yeri, çatlaklar, boşluklar, nem durumu ve kalınlık değişimleri belirlenebilmektedir (Büyükoztürk, 1998).

1.4.2.1. Beton Test Çekici ile Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Beton test çekici, sertleşmiş betonun yüzey sertliğini ölçmekte kullanılan alettir (Proceq SA,2006). Ernst Schmidt isimli İsviçreli bir mühendis tarafından geliştirilen alete, 'Schmidt çekici' ve 'beton tabancası' da denilmektedir.

Beton test çekicinin uygulanmasında, aletin içerisinde yer alan çelik bir kütle sertleşmiş betonun yüzeyine fırlatılır. Beton yüzeyine çarpan kütle geri sıçrar. Kütlenin geri sıçrama miktarı, alet üzerindeki göstergeden belirlenmektedir. Daha sert yüzeylere sahip olan betonlarda, kütlenin geri sıçrama miktarı da yüksek olmaktadır (Baradan vd., 2012).

Schmidt (1954), beton yüzeyinin sertliği ile betonun basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi araştırmak için, deneylerinde 700 adet 20 cm boyutlu beton küp numuneler kullanmıştır. Farklı şantiyelerdeki betonlardan elde edilen küp numuneler, farklı su/çimento oranlarıyla, farklı özelliklerdeki agregalarla üretilmiş ve yaşları 7-90 gün arasında olan numuneler olarak seçilmiştir. İlk olarak, bu numunelerin her birinin yüzeyindeki değişik bölgelere beton test çekici ile 20'şer darbe vurularak, her numune üzerinde elde edilen geri sıçrama değerlerinin ortalaması bulunmuştur. Sonra da her numune, deney basınç cihazı vasıtasıyla kırılma deneyine tabi tutulmuş ve basınç dayanımları hesaplanmıştır. Sonrasında ise, deney basınç cihazı kullanılarak bulunan basınç dayanımları ile beton test çekici uygulamalarından elde edilen ortalama geri sıçrama değerleri arasında korelasyon kurulmuştur.

Sertleşmiş beton yüzeyinden elde edilen geri sıçrama değerleri ile betonun basınç dayanımı tahmin edilebilmektedir. Schmidt geri tepme değeri ile ölçüm yapabilmek için standart boyutlarda numunelerin kullanılması gerekmemektedir.

Schmidt geri tepme değerinin uygulanmasıyla betonda çatlama veya kırılma meydana gelmemektedir. Bu nedenle bu yöntem, hasarsız deney yöntemidir.

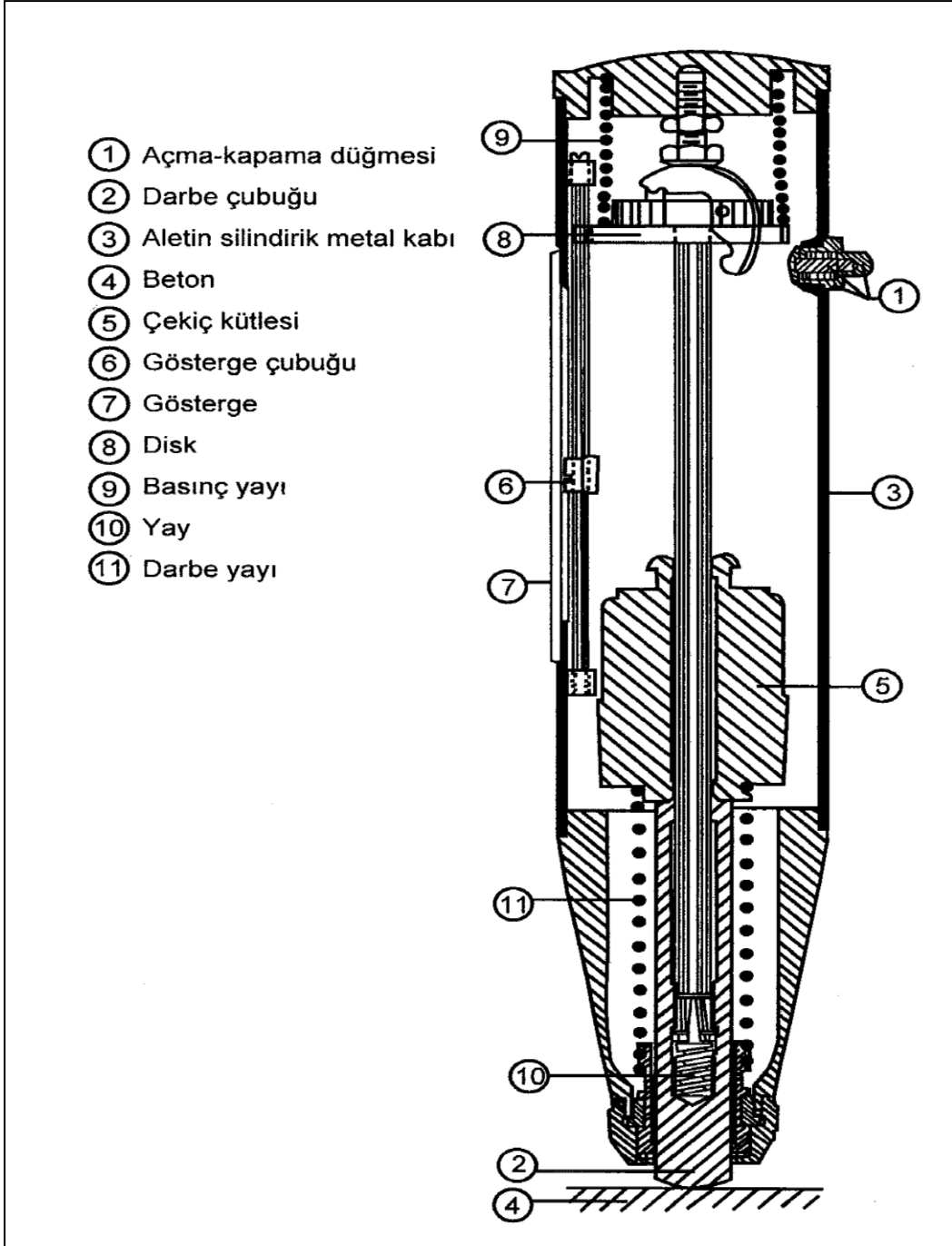
TS EN 13791(2010), TS EN 12504-2 (2004) ve ASTM C805 (1994) no.lu standartlarda, beton test çekici ile geri sıçrama sayılarının nasıl elde edildikleri hakkında detaylı olarak bilgi verilmektedir.

1.4.2.1.1. Beton Test Çekici

Şekil 1.4' te gösterilen beton test çekici, yaklaşık 26 cm uzunluğunda, 5.5 cm çapında ve 1 kg ağırlığında, elde rahatlıkla taşınabilecek büyüklükte bir alettir (Erdoğan, 2010).

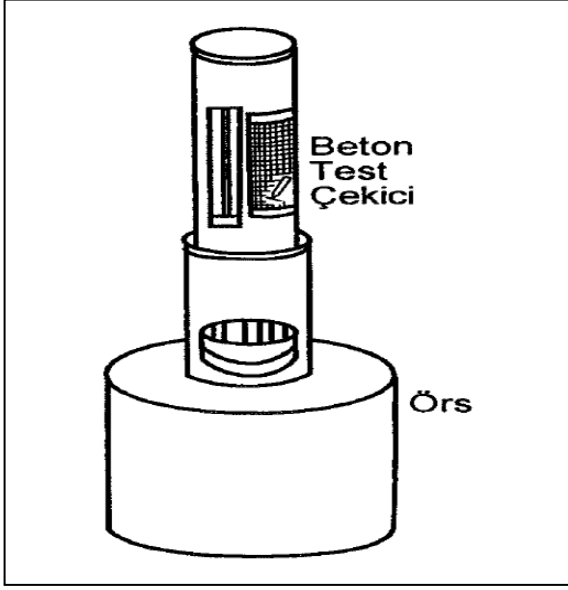
Aslında, betonun yüzey sertliği ile basınç dayanımı arasında belirli bir bağıntı yoktur. Yalnızca deneysel verilere bağlı olarak ampirik ilişkiler kurulabilir (Baradan vd., 2012).

Deney sonuçlarının doğruluğu; deneyin uygulama yönü, beton yüzeyinin ıslak ya da kuru olması, yüzeyde karbonatlaşma oluşması, aletin kalibrasyonu, beton yüzeyinde agrega ya da boşluk denk gelmesi, deneyin uygulanacağı bölgenin seçimi ve betonun içyapısıyla yüzeyinin farklılığına bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca çekicinin içerisindeki yayların özelliğinde zamanla değişimler olabilmekte veya yaylarda bir miktar gevşeme oluşabilmektedir. Bu durumda, çekicinin içerisindeki kütlenin geri tepme miktarı da değişebilmektedir. Bu yüzden, beton test çekicinin iyi çalışır durumda olduğundan emin olunmalıdır (Erdoğan, 2010; Baradan vd., 2012).



Şekil 1.4. Beton Test Çekici (Erdoğan, 2010)

Beton test çekiciyle doğru değerlerin okunduğundan emin olmak için Şekil 1.5' te gösterilen sertleştirilmiş çelikten yapılmış ve yaklaşık 15 kg ağırlığındaki özel bir örs kullanılmaktadır (Erdoğan, 2010).



Şekil 1.5. Test Çekicinin Kalibrasyonu için Kullanılan Özel Örs

1.4.2.1.2. Beton Test Çekici Yönteminin Uygulanması

Deney öncesi test çekicinin kalibrasyonu iyi ayarlanmalıdır. Özel örs üzerinde deneyerek çekicinin geri sıçrama değerinin 72' den az olup olmadığı kontrol edilmelidir. Örs üzerindeki geri sıçrama değeri 72' den farklı ise basınç dayanımının bulunabilmesi için düzeltilmiş olan geri sıçrama değerleri kullanılmalıdır.

Test çekicinin uygulanacağı beton yüzeyinde varsa sıva ve harç kalıntıları temizlenmelidir. Yine, beton yüzeyinde çimento hamurunun oluşturabileceği kalın bir tabaka veya karbonatlaşma bulunmamalıdır. Beton yüzeyi karborondum taşı ile veya yüzeydeki malzemeyi öğütülebilecek bir alet kullanılarak temizlenmelidir (Erdoğan, 2010).

Test yapılmak üzere hazırlanan beton yüzeyine yaklaşık 1 cm aralıklarla en az 10 adet darbe uygulanmalı ve ölçülen geri sıçrama değerleri kaydedilmelidir. Darbenin büyük bir iri agrega yüzeyine veya hemen altında demir donatı bulunan bir noktaya uygulanmamasına dikkat edilmelidir. Çok yüksek veya düşük değerler değerlendirme dışı bırakılmalıdır (Baradan vd., 2012).

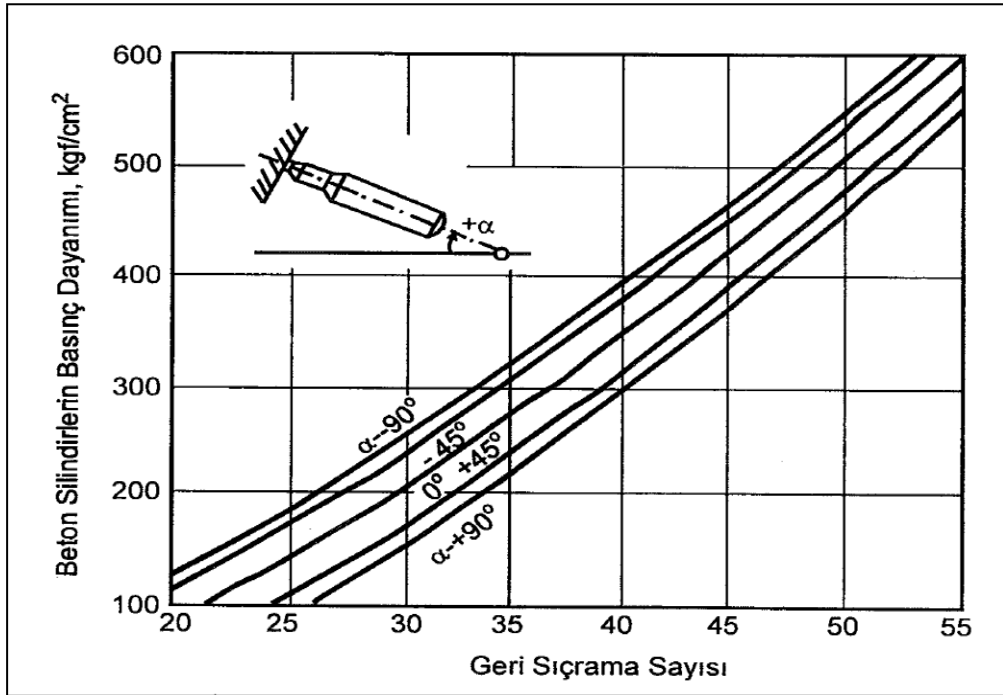
Test çekici ile betona uygulanan en az 10 adet darbe sonucunda elde edilen geri sıçrama değerleri genellikle birbirine yakın değerler olarak ortaya çıkmaktadır. Şayet, bir iki tane çok düşük veya çok yüksek değer elde edilmiş ise, bu anormal değerler, geri sıçrama değerinin ortalamasının bulunduğu hesaplara katılmamalıdır.

1.4.2.1.3. Beton Test Çekici ile Ölçülen Değerleri Kullanarak Basınç Dayanımının Elde Edilebilmesi

Schmidt tarafından yapılan çalışmalara benzer çalışmalar birçok araştırmacı tarafından da yapılmıştır (Grieb, 1958; Erdoğan, 1965). Bu uygulamalar sonucunda, elde edilen geri sıçrama değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi belirlemiştir.

Şekil 1.6' da 14-56 günlük 15 cm x 30 cm boyutlarındaki standart silindir numuneler üzerinde uygulanan test çekici değerleri ile basınç dayanımı arasındaki ilişki gösterilmektedir (Proceq SA, 2006).

Test çekicinin betonun yan yüzüne ($\alpha=0^\circ$) uygulanmasıyla 15x30 cm boyutlu silindir numuneler üzerinde elde edilen ve Şekil 1.6' da yer alan 'geri sıçrama sayısı-basınç dayanımı' ilişkisi Tablo 1.3' te de gösterilmektedir.



Şekil 1.6. Beton Test Çekici ile Okunan 'Geri Sıçrama Değerleri' ile 'Beton Silindirlerin Basınç Dayanımı' Arasındaki İlişki

Schmidt geri tepme değeri uygulanan bir beton numunede, ölçülen geri sıçrama değerlerinin ortalaması kullanılarak, Şekil 1.6' daki ilişki yoluyla, standart silindir numunenin basınç dayanımı değerini yaklaşık olarak belirlenebilmektedir.

Tablo 1.3' teki σ değerleri kgf/cm^2 cinsindedir.

15 cm x 30 cm boyutlu standart silindir numune üzerinde elde edilen basınç dayanımı ile 15 cm' lik küp numune üzerinde elde edilen basınç dayanımı arasındaki ilişki " $\sigma_{\text{silindir}} = 0.80 \sigma_{\text{küp}}$ " eşitliğiyle belirlenmektedir (Erdoğan, 2010).

Tablo 1.3. Test Çekicinin Geri Sıçrama Sayısı ile Standart Beton Silindirlerin Dayanımı Arasındaki ilişki (Erdoğan, 2010).

Geri sıçrama sayısı	14-56 gün		7 gün	
	$\sigma_{\text{maks.}}$	$\sigma_{\text{min.}}$	$\sigma_{\text{maks.}}$	$\sigma_{\text{min.}}$
20	86	46	103	63
21	96	54	112	71
22	107	64	123	80
23	118	73	133	88
24	129	83	144	98
25	141	94	156	108
26	153	104	167	117
27	166	115	179	128
28	179	127	191	139
29	191	139	203	150
30	205	151	216	162
31	218	164	229	174
32	233	178	242	187
33	247	191	255	199
34	261	204	268	211
35	275	218	281	224
36	291	232	296	237
37	306	247	310	251
38	320	261	324	264
39	336	275	338	278
40	351	290	354	292
41	367	305	369	307
42	383	320	383	321
43	399	336	400	337
44	415	352	415	352
45	431	367	431	367
46	447	383	447	383
47	464	400	464	400
48	480	416	480	416
49	496	432	496	432
50	513	448	513	448
51	530	464	530	464
52	547	480	547	480
53	564	496	564	496
54	581	513	581	513
55	598	529	598	529

1.4.2.2. Ultrasonik Test Cihazı Kullanarak Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla, betonun içerisine ses üstü dalgaları gönderilmekte, gönderilen ses üstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte, dalga hızı hesaplanmaktadır. Ölçülen ultrases dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki tahmin edilmektedir.

Ultrasonik test cihazı ile ölçüm yapabilmek için standart boyutlarda numunelerin kullanılması gerekmemektedir. Ultrasonik test cihazı ile yapıdaki herhangi bir betonarme elemanın basınç dayanımı ölçülebilmektedir.

Ultrasonik test yönteminin uygulanması sırasında betonda çatlama veya kırılma meydana gelmemektedir. Schmidt çekici gibi bu yöntem de hasarsız deney yöntemidir.

TS EN 12504-4 (2012) ve ASTM C597 (1994) nolu standartlarda, ultrasonik test yönteminin uygulanmasında kullanılan cihazın özellikleri ve kullanım tekniği belirtilmektedir.

1.4.2.2.1. Ultrasonik Test Cihazı

Ultrasonik test cihazı Şekil 1.7a ve 1.7b'de gösterilmektedir (O. M. U. C. T., 2009).

Ultrasonik cihazın üzerinde yer alan bir düğme, elektronik devrenin açılmasını ve kapanmasını kontrol etmektedir. Cihaz çalışır durumdayken, ses üstü dalgalar üreterek iletmektedir. Ultrasonik cihaza kablolarla bağlanan biri dalga gönderici ve diğeri dalga alıcı olmak üzere iki başlık bulunmaktadır. Cihaz çalışır durumda iken ölçümün sağlıklı yapılabilmesi için başlıklara jel ya da yağ sürülerek ölçüm yapılmak istenen beton bloklara karşılıklı veya farklı şekillerde tam olarak bastırılarak ölçüm yapılmalıdır.

Beton bloğa bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalganın, bloktaki diğer bir yüzeyden ne kadar zamanda geçtiği ölçüldükten sonra,

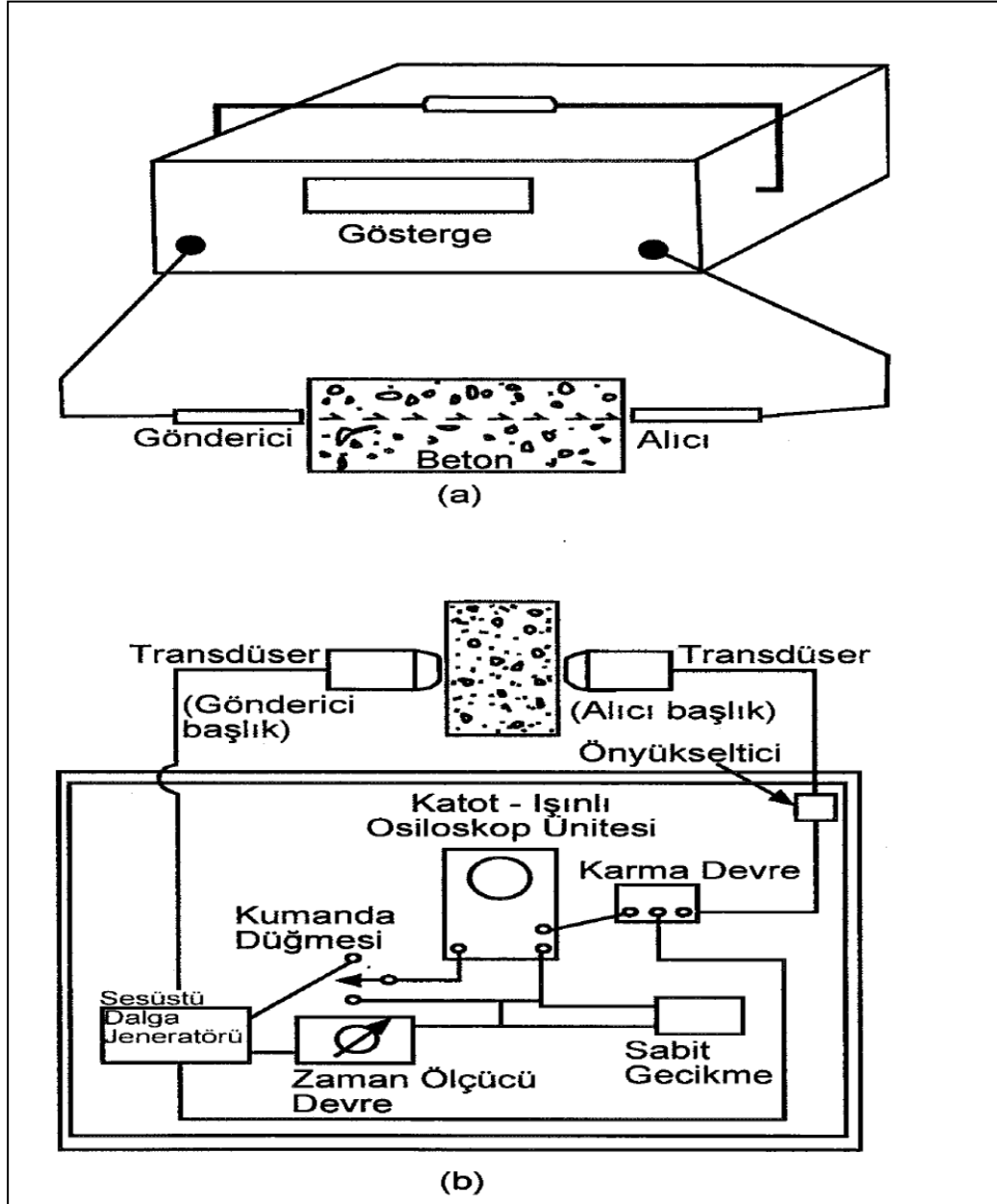
$V = (L/t)10^6$ bağıntısıyla dalga hızı elde edilir.

Burada;

$V =$ Ses üstü dalga hızı, metre/saniye

$L =$ Beton blokta gönderici ve alıcı başlıklar arasındaki mesafe, metre

$t =$ Ses üstü dalganın gönderici başlıktan alıcı başlığa ulaşana kadar geçen zaman, mikrosaniye.

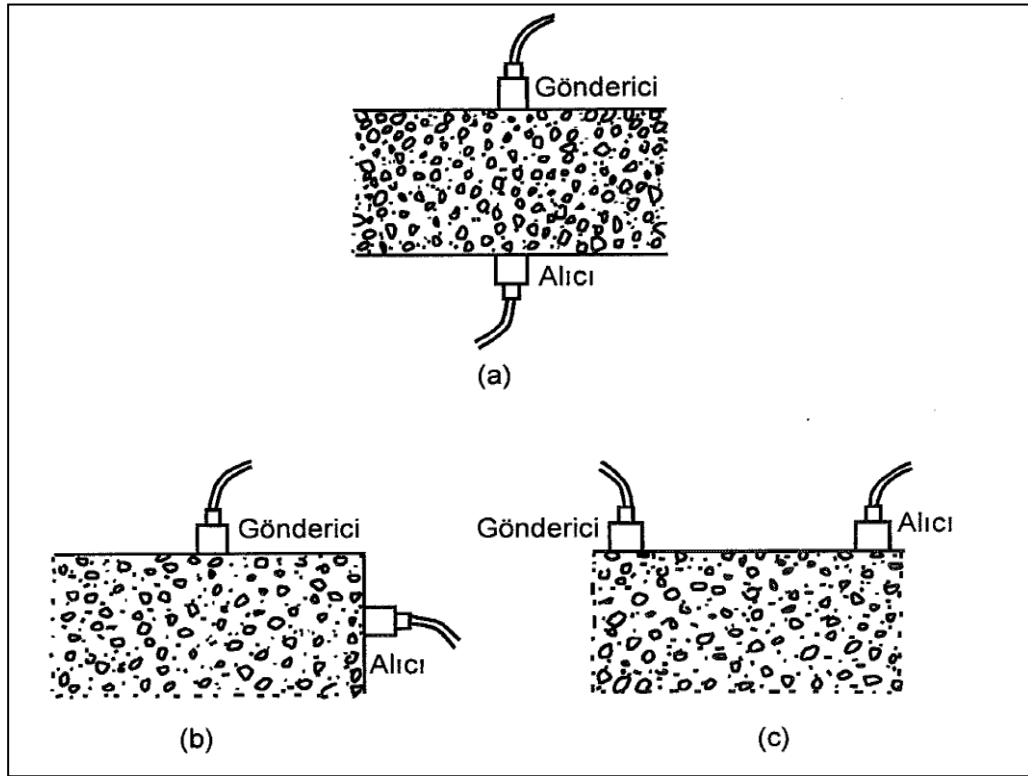


Şekil 1.7. Ultrasonik Test Cihazı

Ultrasonik test cihazının gönderici ve alıcı başlıklarını Şekil 1.7' de görüldüğü gibi değişik şekillerde uygulayabilmek mümkündür (Neville, 1987). Genel olarak Şekil 1.8a' da gösterildiği gibi, gönderici ve alıcı başlıkların beton blokta karşı karşıya gelecek şekilde yerleştirildiği yöntem kullanılmaktadır. En iyi sonuçlar bu uygulamayla elde edilmektedir. Bazen, Şekil 1.8b' deki gibi, gönderici ve alıcı başlıklar kenar yüzeylere yerleştirilerek ölçüm yapılmaktadır. Şekil 1.8c'de gösterilen uygulama, mecbur kalınmadığı takdirde kullanılmamalıdır. Çünkü bu şekilde bir uygulamada, alıcı başlığın kaydettiği enerji daha

zayıf olmakta ve bu nedenle ölçüm değerleri çok hassas olamamaktadır (Neville, 1981, ASTM C597).

Beton blok içerisinde geçen ses üstü dalganın hızı; başlıkların betona tam temas edip etmemesine, aradaki mesafeye, ortam sıcaklığına, donatıya denk gelmesine ve nem durumuna bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir.



Şekil 1.8. Ultrasonik Pulsların Gönderilme ve Alınma Yöntemleri: (a) Doğrudan İletim, (b) Yarı-doğrudan İletim ve (c) Yüzeypden iletim (Erdoğan, 2010).

1.4.2.2.2. Ultrasonik Test Yöntemiyle Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesi

Ultrasonik test yöntemiyle betonun bir yüzeyinden gönderilen ses üstü dalgaların beton içerisindeki ilerleme hızı belirlenmektedir. Ses üstü dalgaların hızı ile beton basınç dayanımı arasında aslında direkt bir ilişki yoktur. Ses üstü dalganın hızı ile betonun sıklığı yani içindeki boşluk miktarının azlığı veya çokluğu belirlenmektedir. Sıkı yapılı iyi yerleştirilmiş bir betonun içinden geçen dalganın hızı yüksek olmaktadır. Ancak daha boşluklu yapıdaki betondan geçen dalganın hızı düşüktür. Böylece sıkı yapılı beton için dayanımı yüksek, boşluklu beton için de dayanımı düşük yorum yapılabilmektedir.

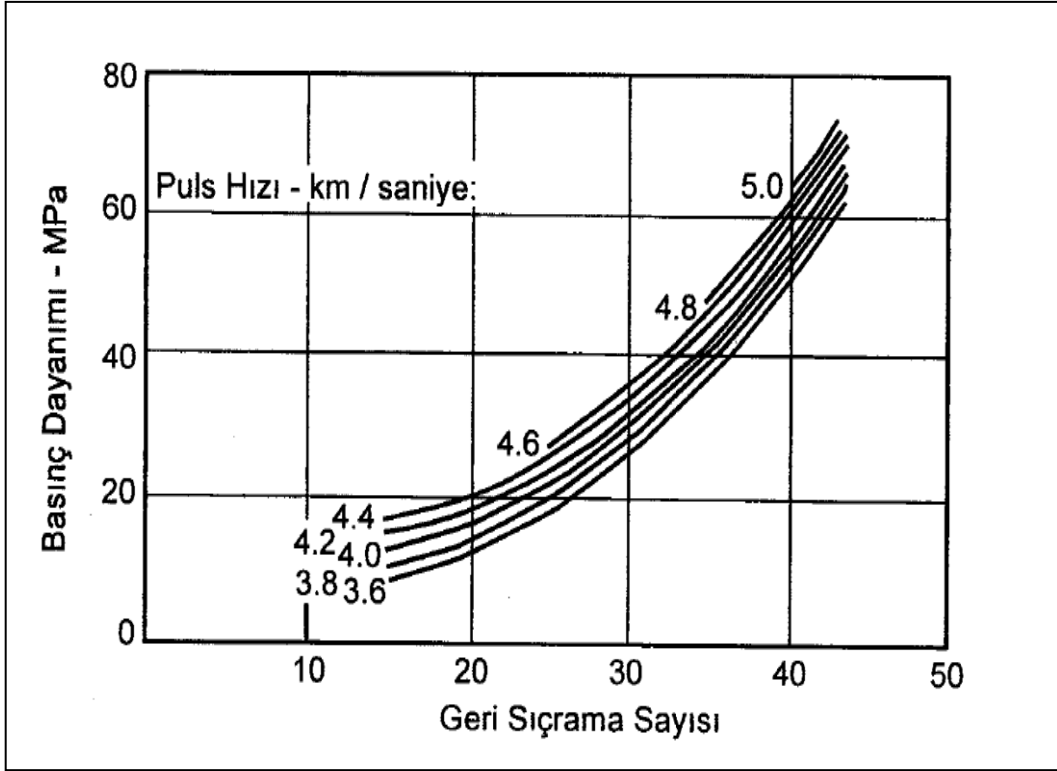
Whitehurst (1951), tarafından yapılan çalışmalar neticesinde, yoğunluğu yaklaşık 2400 kg/m³ olan betonlar için ses üstü dalga hızının bilinmesi halinde beton kalitesinin muhtemel sınırları Tablo 1.4' te gösterilmektedir.

Tablo 1.4. Ultrasonik Test Yöntemiyle Beton Kalitesinin Değerlendirilmesi

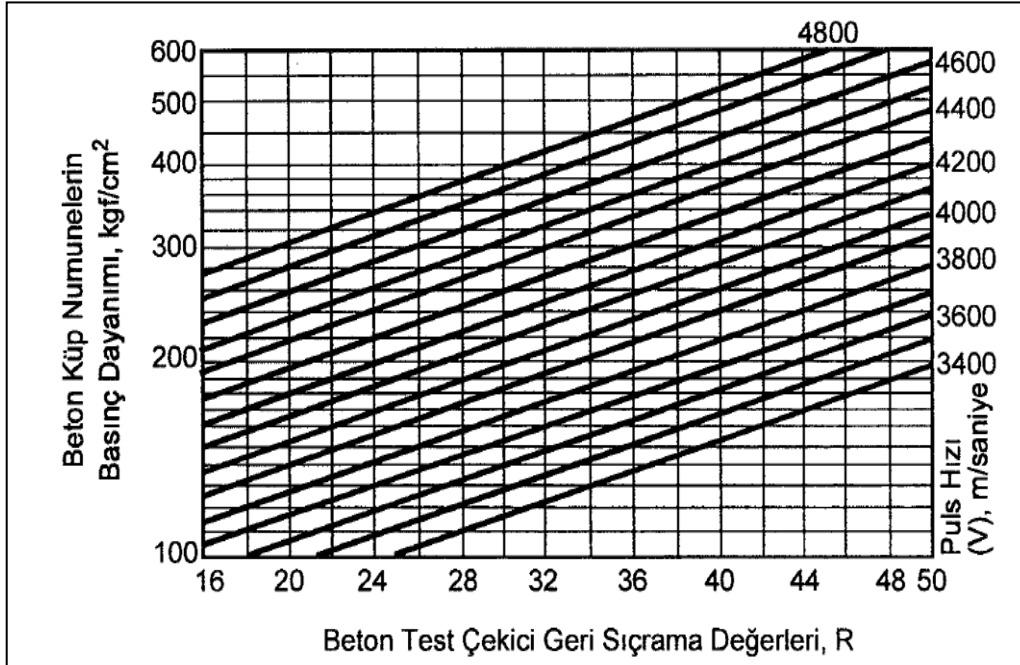
Ultrases dalga hızı (m/s)	Beton kalitesi
≥ 4500	Mükemmel
3500-4500	İyi
3000-3500	Şüpheli
2000-3000	Zayıf
≤ 2000	Çok zayıf

1.4.2.3. Birleştirilmiş Yöntemle Beton Dayanımının Belirlenmesi

En az iki tahribatsız test yönteminin birlikte kullanılarak beton dayanımının belirlendiği yonteme birleştirilmiş metot adı verilmektedir. Ultrases dalga hızı ile Schmidt geri tepme değerlerinin bu mantıkla birlikte kullanılarak beton dayanımının tahmin edilmesi mümkün olmaktadır. Çeşitli araştırmacılar tarafından birleştirilmiş yöntemle abaklar oluşturulmuştur. Şekil 1.9 Bellander (1977) tarafından, Şekil 1.10 ise ultrases dalga hızı yönteminin el kitabında (O. M. U. C. T., 2009) verilen abaklardır.



Şekil 1.9. Bellander tarafından geliştirilen birleştirilmiş yöntem grafiği (Bellander, 1977).



Şekil 1.10. Ultrasonik yöntem el kitabında verilen birleştirilmiş yöntem grafiği (O. M. U. C. T., 2009).

1.4.2.4. Windsor Probe Penetrasyon Test Yöntemi

WPPT yöntemi ile beton basınç dayanımı çelik bir sondanın, betonun yüzeyinden içeri girmesi ve girme miktarının ölçülmesi ile belirlenir. Sonda, yüzeyden ne kadar az içeri girerse betonun o kadar kaliteli olduğu anlamına gelir (Bungey vd., 2001; Erdal vd., 2006).

WPPT kolay ve hızlı uygulanabilir, ayrıca diğer tahribatsız yöntemlere göre daha güvenlidir. Ancak bu yöntem de karot numunelerle karşılaştırılmalıdır. Windsor probe penetrasyon testi, agrega sertliği ile ilişkilendirilmiştir. Ancak agrega sertliğinin yanında, agrega tipi, şekli ve maksimum tane çapı da göz önünde bulundurulmalıdır. Buna ek olarak, beton karışım oranları, nem muhtevası, kür şekli ve yüzey şartları da incelenmelidir (Erdal vd., 2006; Subaşı vd., 2010).



Şekil 1.11. Windsor probe penetrasyon test yöntemi aleti (NDT J. I., 2013).

1.4.2.5. Rezonans Frekans Yöntemi

Titreşimin doğal frekansı, elastik sistemlerin dinamik bir özelliğidir. Rezonans frekansı, temel olarak titreşen bir kirişin dinamik elastisite modülü ve yoğunluğu ile ilişkilidir. Bu sebepten dolayı bir kirişin titreşiminin doğal frekansı, kirişin dinamik elastisite modülünün belirlenmesinde kullanılır. Yukarıda bahsedilen iki parametre arasındaki ilişki, homojen, izotropik, mükemmel elastik katı malzemeler için geçerli olmakla birlikte beton için, ancak numune büyüklüğü, betonu oluşturan malzemenin büyüklüğünden daha büyük olursa uygulanabilir.

1.4.2.6. Çivi İşleme Derinliği Test Yöntemi

Nasser ile Al-Manaseer tarafından geliştirilen bu yöntem, kalıp sökme zamanını tespit etmek için kullanılmıştır. Şekil 1.12' de gösterilen bir tabanca yardımıyla beton yüzeyine çivinin çarptırılması sonucu oluşan derinliğin ölçülmesi ile beton dayanımı hakkında tahmin yapılmaktadır

Bu yöntemde, 7 testlik bir gruba ait en iyi 5 okumanın ortalaması alınarak bölgesel bir sonuca varılmaktadır. Yöntem ekonomik, hızlı ve kolay olması ve az hasar oluşturması sebebiyle cazip görülmektedir.



Şekil 1.12. Çivi işleme derinliği test yöntemi aleti

1.4.2.7. Çekme (Pull-out) Yöntemi

Pull-out testi, özel olarak şekillendirilmiş ve beton içinde genişleyen bir girintinin betondan çekilmesi esasına dayanır. Çekme kuvveti, bir dinamometre ve reaksiyon taşıma halkası yardımıyla belirlenebilir. Sistem, şeklinden ötürü, konik bir beton kesitiyle birlikte çekilir. Beton, aynı anda hem normal kuvvet, hem de kesme kuvveti altındadır. Çekme işleminden sonra çekme kuvveti basınç dayanımıyla ilişkilendirilir. Pull-out tekniği, Rus bir inşaat mühendisi tarafından 1938' de kullanılmasına rağmen, dünyanın diğer bölgeleri için daha yenidir (Bungey vd., 2001; Etse, 1992).

Pull-out test yönteminin ana avantajı, betonun yerinde dayanımını direkt olarak belirlemesidir. Metot, basittir ve sahada uygulanması birkaç dakika sürer. Önemli bir dezavantajı ise, beton yüzeyine verdiği kısmi hasarın onarılması gerekliliğidir. Bir diğer dezavantajı ise, standart Pull-out testlerinin iyi planlanması gerekliliğidir. Diğer yerinde uygulanan testlerden farklı olarak beton sertleştikten sonra bu test gelişigüzel uygulanamaz. Ayrıca diğer testlerden farklı olarak Pull-out testi, betona yavaşça uygulanan bir yükü gerçekleştirilir ve betonun gerçek dayanım özelliklerini ölçer. Bununla birlikte beton karmaşık bir üç boyutlu gerilme durumuna maruz kalır ve Pull-out test yöntemi, dayanımı basitçe tek eksenli dayanım özellikleriyle ilişkilendirilemez. Ancak korelasyon eğrilerinin kullanılmasıyla Pull-out testi, yerinde dayanımı güvenilir bir şekilde tahmin etmek için kullanılabilir.



Şekil 1.13. Pull-out test yöntemi aleti (Zeal I., 2013).

1.4.2.8. Kırılma (Break-off) Yöntemi

Bu yöntemde, plastik bir gömlek, dairesel bir oturma halkasıyla taze betona silindirik test numunesi sondaj deliği oluşturacak şekilde yerleştirilir. Beton sertleştikten sonra gömlek ayrılır ve özel bir yükleme mekanizması, sondaj deliğine yerleştirilir. Silindirin üst kısmından elle kontrol edilen bir pompa yardımıyla betondan kırılarak ayrılması sağlanır.

Test sonucu ölçülen değer, maksimum basınç değeridir. Plastik gömleğin kullanılmadığı sertleşmiş betonlarda, özel şekillendirilmiş ve benzer numuneyi çıkaran sondaj aleti kullanılır.

Break-off testinin ana avantajı, betonun yerinde dayanımın ölçmesidir. Donanım güvenli, basit ve testin uygulanması hızlıdır. Beton sertleştikten sonra da test numuneleri alınabildiğinden önceden planlanmış olması gerekmez ve kabul edilebilir hassasiyette sonuçlar verir. Betonun basınç dayanımıyla iyi bir şekilde ilişkilendirilebilir (Long vd., 2001).

Bununla birlikte Break-off testiyle ilgili iki kısıtlamayı da belirtmek gerekir. Bunlardan biri, maksimum agrega boyutu, diğeri ise minimum eleman kalınlığıdır. Ayrıca Break-off testi ile yapı elemanında oluşan küçük çaplı hasarın onarılması gerekir.



Şekil 1.14. Break-off test yöntemi aleti (NTU E., 2013).

1.4.2.9. Çıkarma (Pull-off) Yöntemi

Pull-off test yöntemi, dairesel bir çelik diskin test edilecek beton yüzeyine epoksi reçinesi yardımıyla bağlanmasıyla yapılır. Bu bağlantıyı yapabilmek için yüzey, bir zımpara kâğıdı kullanılarak düzeltilir ve uygun bir çözücü ile temizlenir. Daha sonra çelik diske bir çekme kuvveti uygulanır. Bağın çekme dayanımı, betondan daha güçlü olduğundan, beton gerilme dayanımından dolayı kopar. Diskin yüzey alanı ve kopma

anında uygulanan kuvvet yardımıyla da betonun çekme dayanımının ölçümü yapılır (Bungey vd., 2001).

Pull-off test yöntemi diğer yerinde uygulanan test sistemleriyle kıyaslandığında daha az kabul görmüş ve sadece İngiltere'de standartlaştırılmıştır.

1.5. Daha Önce Yapılmış Çalışmalar

Erdal (2002), yaptığı çalışmada tahribatlı yöntem olan karot numune alma yöntemi ile tahribatsız deney yöntemlerinden WPPT yöntemini kullanarak betonun basınç dayanımını bulmayı amaçlamıştır. Yaptığı deneyleri diğer tahribatsız deneyler olan Schmidt geri tepme değeri ve bileşik yöntemle karşılaştırmıştır. Sonuç olarak, karot numunelerin basınç cihazında kırılmasıyla elde edilen basınç dayanımlarını, WPPT yöntemiyle ortalama % 2.5 yaklaşıklıkla belirlemiştir. Bu yaklaşıklık Schmidt geri tepme değerinde % 5.4, bileşik metotta ise % 3.5' dir.

Ergün vd. (2005), yaptıkları çalışmada, beton basınç dayanımının belirlenmesi için kullanılan tahribatlı ve tahribatsız yöntemler hakkında bilgi vermektedir. Üç katlı bir yapı üzerinde yapılan Schmidt geri tepme değeri ve ultrasonik ölçümleri kıyaslayarak projede öngörülen dayanım sınıfının kullanılıp kullanılmadığını kontrol etmişlerdir. Elde edilen verileri regresyon analiziyle değerlendirerek sonuçları şüpheli bulmuşlardır. Sonuç olarak yapılarda beton basınç dayanımını sadece tahribatsız deneylerle ölçmenin çok sağlıklı olmayacağını tespit etmişlerdir. Ultrases dalga hızı ve Schmidt geri tepme değeri okumalarının yanı sıra yapıdan karot alınarak hepsinin regresyon analizine tabi tutulması gerektiği kanaatine varmışlardır.

Erdal vd., (2003) yaptıkları çalışmada, beton kalite kontrolünde kullanılan ileri teknoloji metotlarını incelemişlerdir. Sertleşmiş beton üzerinde tahribatsız test yöntemlerinden WPPT, Schmidt çekici ve ultrases dalga deneylerini uygulamışlardır. Ayrıca, beton bloklardan karot numuneler alıp, tek eksenli basınç uygulayarak dayanım değerlerini belirlemişlerdir. Karot örneklerin dayanım değerlerini tahribatsız yöntemlerden alınan değerlerle karşılaştırmış ve sonuç olarak, WPPT ile karotlardan elde edilen değerleri % 0.8 yaklaşıklıkla belirlemişlerdir. Schmidt geri tepme değerinde % 10.4, bileşik metotta % 2 olarak belirlemişlerdir.

Başka (2006), yaptığı çalışmada, betonun basınç dayanımının belirlenmesiyle ilgili başlıca deney yöntemlerini açıklamıştır. Tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerin neler

olduğunu ve nasıl yapıldığı hakkında bilgiler vermiştir. Yöntemlerin uygulama şekilleri ve dikkat edilmesi gereken hususları aktarmıştır (Başka, 2006).

Küçük (2006) yaptığı çalışmada direkt, direkt olmayan ve yarı direkt ultrases dalga hızı ölçümlerini karşılaştırmak için, küp basınç dayanımları 18.8 ile 79.9 MPa arasında değişen, farklı karışımlara sahip, boyutları 30x30x25 cm³ olan toplam 30 beton blok üzerinde deneysel bir inceleme yapmıştır. İstatistiksel analizleri kullanarak direkt ultrasonik dalga hızı, beton döküm yönünde ve beton döküm yönüne dik doğrultuda direkt olmayan ultrasonik dalga hızı ve yarı direkt ölçümleri arasında korelasyonlar yapmıştır. Böylece bu çalışmada elde edilen regresyon denklemleriyle, direkt olmayan veya yarı direkt ultrasonik dalga hızını, direkt ultrasonik dalga hızına dönüştürerek, Schmidt geri tepme değeri sayısı ve direkt ultrasonik dalga hızlı regresyon modellerinden herhangi birisinin betonun basınç dayanımının bulunmasında kullanılabileceğini belirlemiştir.

2007 yılında Hobbs vd., yaptıkları çalışmada 150 mm boyutlarındaki küp numunelerin basınç dayanımlarını tahmin etmek için laboratuvar çalışmaları yapmışlardır. Tahribatsız test yöntemlerinden ultrases dalga hızı yöntemi ile Schmidt geri tepme değerlerini, basınç cihazında kırım sonuçlarıyla birleştirerek bir korelasyon kurmuşlardır. Birleştirilmiş yöntemle beton dayanımını $\pm 3,7$ MPa farkla tahmin etmişlerdir. Ayrıca iki test yönteminin yanında yoğunluk göz önüne alındığında dayanımı $\pm 3,1$ MPa farkla tahmin etmişlerdir.

Qasrawi (2000), beton dayanımının tahmininde tahribatsız test yöntemlerini birleştirerek sonuca varmayı hedeflemiştir. Bu amaçla çalışmasında geleneksel olarak iyi bilinen Schmidt çekici ve ultrases dalga hızı yöntemlerini birlikte kullanmıştır. Sonuçları, çeşitli grafik ve abaklara dökmüştür. Bütün grafikler % 95 tahmin aralığını göstermekte, böylece beton dayanımı tahmini basit ve güvenilir olmaktadır.

Kheder (1999) yılında yaptığı çalışmada, iki farklı tahribatsız yöntem olan ultrases dalga hızı yöntemini ve Schmidt çekici yöntemlerini birlikte kullanmış, betonun dayanım tahmini için çoklu regresyon analizi yapmıştır. Regresyon analizi hem ıslak hem de kuru haldeki beton numuneler için yapmıştır. 103 farklı numune üzerinde 7-90 gün sonunda testler uygulamıştır. Bir sonraki adımda, ilk çalışmadan elde edilen beton dayanımları arasında doğrusal korelasyon yaparak daha kesin sonuçlar elde etmiştir. Bu çalışmada testleri iki kısma ayırmıştır. İlk kısımda dayanımı 15.7-33.8 MPa aralığındaki numuneler için ± 2.95 MPa, ikinci kısımda dayanımı 12.5-23 MPa aralığındaki numuneler için ± 0.91 MPa sapma gözlemlenmiştir.

Uyanık vd. (2012), yaptıkları çalışmada ultrases dalga hızı yöntemiyle beton dayanımını tahribatsız şekilde belirlemeye çalışmışlardır. Bu amaçla, 15x15x15 cm ve 20x20x20 cm boyutlarında küp, L=14 cm ϕ 10 cm boyutlarında silindir numuneler hazırlayarak üzerlerinde 28 günlük ölçümler yapmışlardır. 28 günlük numuneler üzerinde önce ultrasonik okumalar yapmış, daha sonra basınç deneyleri yapmışlardır. Ultrasonik okumalar ile basınç deney sonuçları arasında analizler yapılarak eğriler oluşturmuşlardır. Elde edilen eğrilerin yetersizliğine vurgu yapmışlardır. ‘Avrupa standardı EN 13791 ‘e göre bulunan formülasyona göre $V=4,8$ km/s iken $f_c= 42$ MPa, $V=4$ km/s iken $f_c=0$ MPa çıkmaktadır. Ancak ultrases dalga hızı 4 km/s olan bir numunenin dayanımı yaklaşık 30 MPa olmalıdır. Bu da formülasyonun diğer hızlarda kullanılamayacağını göstermektedir. Kendi yaptıkları çalışmanın sonucunda elde ettikleri formülasyonda $V= 4.8$ km/s iken $f_c= 43.7$ MPa olmaktadır. Bu yakınlık diğer hızlarda gözlenmemektedir. Bu nedenle daha düşük hızlarda kullanıcılar deneysel yöntemleri kullanarak eğrinin son şeklini vermelidirler’ şeklinde sonuca varmışlardır.

Subaşı vd., (2010) yaptıkları çalışmada beton içerisine çimento ağırlığının % 0-30 oranlarında uçucu kül ikame ederek 15x15 cm boyutlarında küp numuneler hazırlamışlardır. 28 günlük kür sonucunda beton yüzey sertliği deneyi, pull-off direkt çekme deneyi, ultra ses geçiş hızı deneyi ve basınç dayanımı deneylerini gerçekleştirmişlerdir. Elde edilen test sonuçları kullanılarak çeşitli ampirik formüllerle beton basınç dayanımı değerlerini karşılaştırmışlardır.

Yazıcı vd., (2006) yaptıkları çalışmada, ‘Sertleşmiş beton basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan TS 10465 ve TS EN 12504/1 üzerine bir değerlendirme’ yapmışlardır. Bu çalışmada, ilgili standartları inceleyerek, bu standartların eksiklikleri ve çelişkileri hakkında çözüm önerileri sunmaya çalışmışlardır. Karot çapı, narınlığı, yatay ve düşey alınması, örneklerin basınç dayanımlarının değerlendirilmesi konusunda, karot ile test çekicinin birlikte kullanılarak değerlendirilmesi konusunda irdelemeler yapmışlardır.

Breysse 2012 yılında yaptığı çalışmada, betonun dayanımının yerinde tahribatsız test yöntemleriyle niçin ve nasıl belirleneceğini analiz etmiştir. Bu analizi;

- a) Var olan modelleri detaylı olarak inceleyerek,
- b) Çeşitli araştırmacıların yerinde ve laboratuvarında yaptığı deneysel çalışmalarını bir araya getirerek,
- c) Gerçek verileri çoğaltmak için gerçek değerlerle etkin parametreleri kontrollü olarak yapay simülasyonlarla analiz edip geliştirerek yapmıştır.

Dayanım tahmini kalitesini model hatasından çok ölçüm hatalarının etkilediğini belirlemiştir. Laboratuvar çalışmaları ve yerinde yapılan çalışmalar kıyaslandığında 4 MPa'lık fark ortaya çıkmıştır. Hatada rol oynayan etkenleri daha iyi anlamak için yapay simülasyonlar geliştirilmiştir. Numune sayısının artırılmasının sonuçları olumlu etkileyeceğini belirtmiştir.

2008 yılında Breysse vd. beton yapıların daha iyi değerlendirilmesi için tahribatsız yöntemleri birleştirmişlerdir. Tahribatsız teknikleri var olan betonarme yapıların yerinde yapısal değerlendirmesinin etkili ve pratik bir yolu olarak görmektedirler. Bu çalışmada, birkaç tekniğin (kızılötesi termografi, elektriksel direnç ve direnç) birleştirilmesiyle ne tür gelişmelerin beklenebileceği ve sorunların oluşabileceği üzerinde durmuşlardır. Çalışmayı saha ortamında ve laboratuvar ortamında yapılan deneylerle hazırlamışlardır. Değerlendirmelerinde su içeriği ve beton kalitesi ilişkisini incelemişlerdir.

Aydın vd., 2010 yılında var olan betonarme yapılar için Schmidt geri tepme değeri ve tahribatlı basınç testi arasında korelasyon kurmayı amaçlamışlardır. Yazarlar çalışmalarında, beton üzerinde Schmidt geri tepme değeri testi ve basınç cihazında kırma tekniklerini uygulayarak, aralarında korelasyon kurmuşlardır. Çeşitli yaşlarda betonlara Schmidt geri tepme değeri uygulamak için, 28-90 günlük küp numuneler hazırlamış ve farklı birkaç betonarme yapıdan karot numuneler alınarak test etmişlerdir. Beton basınç dayanımı- Schmidt okumaları arasındaki ilişki için en uygun sonuçların, veriler arasında korelasyon kurularak elde edildiğini belirlemişlerdir.

Qasrawi vd. (2003), 'Basınç altındaki betonlarda hasar tespitinde ultrasonik hız testinin kullanımı' adlı bir çalışma yapmışlardır. Ultrases dalga hızı yönteminin betonarme yapıların ilk çatlaklarının ortaya konması için kullanılabileceğini belirlemişlerdir. Ultrases dalga hızı deneyleri laboratuvar koşullarında, çeşitli beton numuneler üzerinde göçme gerçekleşene kadar yüklemeye birlikte yapmışlardır. Ultrases dalga hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi çeşitli grafiklerle ortaya koymuşlardır.

Szilagyi vd., (2011) 'Betonun yüzey sertliği derecesi: Gözlemsel bir model kurmaya giriş' adlı bir çalışma yapmışlardır. Araştırmacılar, bu çalışmada, s/ç oranı ve betonun basınç dayanımıyla yüzey sertliği arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Zamana bağlı olarak betonun karbonatlaşma derinliğinin gelişimini ve yüzey sertliğine etkisini incelemişlerdir. SBZ, CEM I- 42.5 , CEM II / A-V 42.5 ve CEM III /B 32.5 çimentolarını, 0.38-0.60 aralığında s/ç oranı ve 7-180 gün kür edilmiş beton numunelerle çalışmışlardır. Bu çalışmanın geçmişteki 60 yıllık çalışmaları daha da ileriye taşıyacağını vurgulamışlardır.

Brucklehurst vd., 1992 yılında yaptıkları çalışmada, asfalttaki bozuklukları ve betonarme yapılarıdaki boşlukları tespit edebilmek için bir lazer sistemi araştırmışlardır. Bu araştırmanın amacı, ultrasonik testlerin geleneksel yöntemler gibi doğru sonuçlar verip vermediğini denetlemek ve sahada yerinde uygulanabilirliğini belirlemektir.

Bilgin vd., 2002'de İstanbul metro tünellerinin performansını darbe çekiciyle tahmin etmeye yönelik çalışmışlardır. Önceki çalışmalar da incelenerek Schmidt çekiciyle anlık bir model oluşturmuşlardır.

Maiti vd., (1992) polimer emdirilmiş betonların mekanik özelliklerini tahribatsız bir yöntemle test etmeyi amaçlamışlardır. Betonun basınç dayanımı, eğilme dayanımı gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesini araştırmışlardır. Beton-polimer kompozit sisteminin içinden geçen ultrasonik hız değişimi, beton tabanlı polimer yüklemesinin birleşimine dayanmaktadır. Betonarme numunelerin mekanik özellikleri ile ultrasonik hız arasında logaritmik olarak ampirik korelasyonlar kurmuşlardır.

Mohammed vd., (2011), kırıntı kauçuk katkılı taze ve sertleşmiş betonun Schmidt geri tepme değeri testi ve ultrasonik hız testi ile dayanımını belirlemeye çalışmışlardır. Üç farklı s/ç oranı için beş farklı kauçuk içerikli beton karışımları hazırlanarak 3, 7, 28 günlük geri tepme sayısı ve ultrasonik hız değerleri elde edilmiştir. Her birinin beton dayanımını nasıl etkilediğini incelemişlerdir.

Ravindrajah 1992 yılında, yüksek dayanımlı betonların dayanımını ultrasonik hızla bulmayı amaçlamıştır. Tahribatsız yöntemlerin inşaat mühendisleri açısından, ekonomi, hız ve en az zarar verme yönlerinden birçok faydası olduğunu vurgulamıştır. Çalışmada, çimento tiplerinin etkisi, silis dumanı katkısı, betonun yaşı ve kür koşulları dikkate alınmıştır.

1.6. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonda, nitelik güvencesi (kalite kontrol) yöntemlerinin en önemli ayağını tahribatlı yöntemler oluşturmakla birlikte, yapıya verdikleri zarar ve uygulamalarındaki zorluklar sebebiyle, kolay ve pratik bir şekilde uygulanabilen tahribatsız yöntemler de gün geçtikçe önem kazanmaktadır. Tahribatsız yöntemler uzun yıllardan beri kullanılmalarına rağmen, bu yöntemlerden elde edilen sonuçların güvenilirliği ya da değerlendirilmesindeki zorluklar bu yöntemlerin olumsuz yönleridir. Yıllarca süren çalışmalar ve geliştirilen formüller arasındaki tutarsızlıklar, bu konudaki çalışmaların sürdürülmesi gerektiğinin kanıtıdır.

Bu çalışmanın amacı, çeşitli karakteristik dayanımlara sahip betonların kontrollerini tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleriyle belirleyerek, betonun basınç dayanımları ile Schmidt geri tepme değeri ve ultrasonik dalga hızları arasında yeni ilişkiler kurmaktır. Bu amaca yönelik olarak Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Malzemesi Laboratuvarlarında gerçekleştirilen beton kalite kontrol deneylerine paralel olarak Ultrasonik Testler ve Schmidt geri tepme deneyleri yapılmıştır. Ultrasonik Test ve Schmidt geri tepme değerleri ile basınç dayanımları arasında ilişki kurularak, bu ilişkilerin uygunluğu yeni numuneler üzerinde denetlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca laboratuvarında yapılan çalışmalara ek olarak bu numunelerin sahadaki denetimleri de tahribatsız deney yöntemleriyle yapılmıştır. 90 ve 180 gün sonunda betonarme bir yapıda Ultrasonik test ve Schmidt geri tepme testi yapılarak 28 günlük laboratuvar test sonuçlarıyla mukayese edilmiştir. Üretilen beton yerinde birçok çevresel etkiye de (donma-çözülme, rüzgar, nem, sıcaklık vb.) maruz kalmaktadır. Bu etkiler altında betonda dayanım açısından sakıncalı bir durumun olup olmadığını gözlemlemek için yerinde ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümler neticesinde elde edilen değerlerle dayanım tahmini yapılmıştır.

Çalışmada, Gümüşhane Üniversitesi Kampüsünde bulunan çeşitli nitelikteki inşaatlardan alınan C16/20, C20/25, C25/30 ve C30/37 beton türlerinden oluşan toplam 101 farklı küp numunenin hem 7 hem de 28 günlük beton basınç deneyleri, Ultrasonik Test ve Schmidt geri tepme değerleri kullanılmıştır. Elde edilen değerler çoklu regresyon analizine tabi tutularak bir formülasyon geliştirilmiştir. Ayrıca 10 adet karot örnek üzerine de geliştirilen formüller uygulanarak formüllerin güvenilirlikleri denetlenmiştir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Malzeme

Beton numuneleri, Gümüşhane Üniversitesi Kampüsünde 2011-2012 yılları arasında devam eden inşaat alanlarından temin edilmiştir. Farklı inşaatlardan gelen 15×15×15 cm boyutlarında 101 adet küp numune deneylerde kullanılmıştır. Kullanılan betonların karakteristik dayanımları C16/20, C20/25, C25/30, C30/37 gibi 4 farklı sınıftadır. Yine bu numuneler farklı malzemeler kullanarak üretim yapan farklı santrallerden temin edilmiştir.

2.2. Yöntem

Kür havuzuna konulan numunelerin 7 ve 28 günlük dayanımlarını belirlemek için kırılmadan önce küp numunelerin ultrases dalga hızı ölçümleri ve Schmidt geri tepme okumaları yapılmıştır. Ultrasonik okumalar yapılırken bir küp numune üzerinde karşılıklı yüzeylerinden 3'er adet olmak üzere toplam 6 okuma yapılmıştır. Schmidt geri tepme okumaları yapılırken küp numunenin 3 farklı yüzeyine yaklaşık 1 cm aralıklarla 10' ar defa çekiç vurularak toplam 30 okumanın aritmetik ortalaması alınmıştır. Bu okumalar Gümüşhane Üniversitesi laboratuvarındaki Pundit Lab⁺ Ultrases Cihazı ve Proceq Schmidt çekici ile yapılmıştır.

Laboratuvar çalışmalarına ek olarak yerinde (sahada) 90 ve 180 günlük ölçümler yapılarak 28 günlük karakteristik dayanımları ile ilişkisi elde edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca mevcut yapılarda çekirdek numuneler alınarak tahribatsız deneylerin uygulanabilirliği araştırılmıştır.

2.2.1. Deney Numunelerinin Hazırlanması

Beton numunelerin hazırlanması, dökümü ve bakımı, TS 1247'ye (1984) göre yapılmıştır. Standartlara uygun şekilde beton numuneler hazırlanarak saklanmakta ve bakımı yapılarak 28 gün sonunda beton basınç cihazında kırılmaktadır.

Ayrıca taze betondan alınacak numuneler için de numune alma yöntemleri TS EN 12350-1'de (2010) belirtilmektedir.

Beton numuneler hazırlanırken plastik ve suyu emmeyen, iç yüzeyi pürüzsüz, şekil değişikliği göstermeyen kalıplar kullanılmaktadır.

Taze betonun yerleştirilmeden önce kalıbın iç yüzeyleri betonun kolay çıkarılması için yağlanmalıdır. Beton numuneler silindir veya küp şekilli numune durumuna göre tabakalar halinde dökülmeli, yerleştirilirken iyi sıkıştırılmalıdır.

Hazırlanan numuneler 24 saat üst yüzeyleri ıslak bir bezle örtülü durumda ve 21 - 25 °C sıcaklık ortamında tutulmaktadır.

2.2.2. Numunelere Uygulanan Kür

Kür işleminin amacı, betonda başlangıçta su ile dolu olan taze betonun boşluklarının olabildiğince hidrasyon ürünleriyle dolmasını sağlamaktır. Bu durum, betonun suya doygun veya olabildiğince doygun tutulması ile gerçekleşmektedir. Diğer bir faktör ise, hidrasyonun uygun bir şekilde gelişimini sağlayacak sıcaklıkların sağlanmasıdır (ACI 308-92, 2000; Baradan vd., 2012).

Betonun dayanımı ve dayanıklılığı yalnız doğru ve yeterli süre kür edilerek sağlanmaktadır. Kür işleminin yetersiz olması halinde, kapiler boşluklar hidrasyon ürünleri ile yeterli derecede dolmayacağından, dayanım ve dayanıklılık açısından yetersiz bir beton üretilmiş olmaktadır. Böylece, yapının servis ömrü boyunca bir takım sorunlar oluşacak, hatta servis ömrü kısalabilecektir (Baradan vd., 2012).

Kür, kalıpların kolay sökülebilmesi açısından da önemlidir. Yetersiz kür nedeniyle, dayanımı yeterli oranda gelişmeyen betonlarda kalıpların sökülmesi sırasında elemanlarda çatlamlar hatta göçmeler oluşabilmektedir (Baradan vd., 2012).

Yapının bulunduğu sahada üretilen beton numuneler, kalıplarından çıkarılıncaya kadar uygun sıcaklıkta, üst kısımları nemli bir bez ile örtülerek saklanmaktadır. Yapıdaki betonun yerleştirilmesi sırasında alınan numuneler, kalıplarından çıkarıldıktan sonra yapıda yer alan betona yakın bir yerde saklanmaktadır (Erdoğan, 2010).

Hazırlanan silindir veya küp numuneler, kalıplarından çıkarıldıktan sonra, deney anına kadar (28 gün) 23 ± 1.7 °C sıcaklık ve % 95 rölatif nem ortamına sahip olan bir kür odasında veya bu sıcaklıktaki su içerisinde bekletilmektedir.

2.2.3. DeneYlerin Uygulanması

2.2.3.1. Ultrases Deney Yöntemi, Schmidt Geri Tepme Değeri Yöntemi ve Beton Basınç Deneyinin Uygulanması

Ultrases, Schmidt ve beton basınç deney yöntemleri uygulanırken sırasıyla aşağıdaki işlemler uygulanmıştır.

7 veya 28 günlük kırım zamanları gelen numuneler kür havuzundan çıkarılarak deneye hazır hale getirilmesi için küp numuneler yüzeyinin ıslaklığı nemli bir bezle silinir (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Kür havuzundaki küp numuneler ve numunelerin deneye hazırlanışı

Ultrases cihazına gerekli veriler (küp numunelerin kenar uzunluğu=150 mm) girilerek ses verici-alıcı başlıklar tam karşılıklı olacak şekilde okumalar yapılır. Bu aşamada numune yüzeyi ile aparatlar arasında hiç boşluk kalmaması için ultrason jeli kullanılır (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3).



Şekil 2.2. Ultrases cihazı mesafe (m) ekranı



Şekil 2.3. Karşılıklı okuma yapılması

Pürüzsüz iki karşılıklı yüzeyden 3' er okuma, toplam 6 okuma yapılarak ortalaması alınmıştır. Ultrases dalga hızları (m/s) olarak kaydedilmiştir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. Ultrases dalga hızı sonuç ekranı

Ultrases dalga hızları belirlenen numunenin Schmidt çekiciyle yüzey sertliği okumaları yapılmış ve sonrasında basınç deneyine tabi tutularak kırılmıştır. Schmidt geri tepme okumaları yapılırken zeminden kaynaklanan yanılmaların önüne geçmek için laboratuvarında bina temelini üzerine erişilerek Şekil 2.5' de görüldüğü gibi beton platform yapılmıştır. Yüzeyi pürüzsüz ve yüksek dayanımlı bu beton blok üzerinde Schmidt geri tepme okumaları yapılırken, yüzey sert olduğundan okumalar doğru yapılabilmektedir.

Aksi takdirde yumuşak ve esnek bir zeminde test çekici uygulandığında uygulanan kuvvet zemin tarafından sönümlenir ve sonuçlar hatalı olabilir.

Ultras es dalga hızı ve Schmidt geri tepme değerleri belirlenen numuneler Şekil 2.6'da görüldüğu gibi basınç cihazına yerleştirilerek kırılır ve basınç dayanımı belirlenir.



Şekil 2.5. Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin okunması



Şekil 2.6. Küp numunelerin beton basınç cihazına yerleştirilmesi ve kırılması

2.2.3.2. Çekirdek Numune Deneyleri

Mevcut yapılarda çekirdek (karot) numuneler alınarak tahribatsız deney yöntemlerinin uygulanabilirliği ve doğruluğu denetlenmiştir. Yapıdan numune alınmadan önce ultras es dalga hızı deneyi ve Schmidt geri tepme deneyleri uygulanmıştır. Daha sonra çekirdek numune alınıp başlıklama işlemi yapılarak basınç cihazında kırılmıştır.

3. BULGULAR VE İRDELEMELER

Bu çalışma kapsamında beton basınç dayanımı tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemleriyle belirlenmeye çalışılmıştır. Bu amaca yönelik hazırlanan beton küp numunelere ultrasonik test yöntemi ve Schmidt geri tepme testi uygulanarak beton basınç deneyine maruz bırakılmıştır. Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen çalışmaların sahada (yerinde) uygulanabilirliği de incelenmiştir. Laboratuvarda 7 ve 28 gün sonunda numunelere uygulanan ultrasonik yöntem ve Schmidt geri tepme testi 90 ve 180 gün sonunda yerinde betonarme eleman üzerinde de uygulanmıştır. Burada amaç, daha ileri bir zaman diliminde 28 gün sonundaki beton kalitesini (karakteristik dayanım) tahmin edebilmektir. 28 günlük numunelere uygulanan deneyler sonucunda dayanım, tahmin edilmekte ve beton basınç cihazında kırılarak tam olarak elde edilebilmektedir. Ancak şantiyede özellikle donatılı betona yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri tam olarak uygulanamadığından laboratuvardaki dayanımla şantiyedeki dayanımlar birbirinden farklılıklar arz edebilmektedir. Bu çalışmada Schmidt geri tepme testi ve ultrases geçiş hızı ölçümleriyle bu ilişki de ayrıca ortaya konulmaya çalışılmıştır.

3.1. Laboratuvarda Beton Dayanımı Belirlemeye Yönelik Deneyler

Bu testlerin sonuçları Tablo 3.1 ve Tablo 3.2' de detaylı olarak verilmiştir. 7 ve 28 günlük sonuçlar ayrı ayrı verilmiştir. Ultrasonik yöntem-Beton basınç dayanımı, Schmidt geri tepme değeri-Beton basınç dayanımı, ultrasonik yöntem; Schmidt geri tepme değeri-Beton basınç dayanımı arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Yine 28 günlük Ultrasonik yöntem ve Schmidt geri tepme değeri sonuçları ile 90 ve 180 gün sonunda yerinde yapılan test sonuçları ile karşılaştırılmıştır. 90 ve 180 günlük numunelerin 28 günlük dayanımları elde edilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.1. 7 günlük numunelere ait deney sonuçları

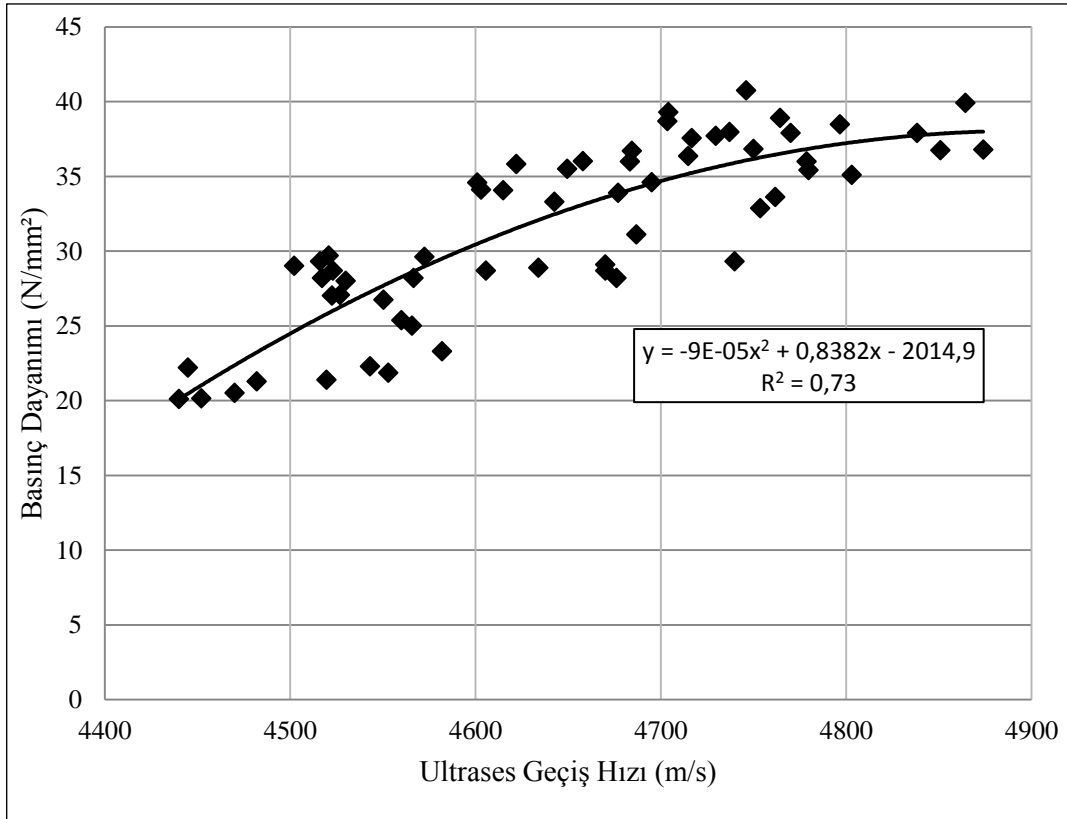
No	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Test Çekici Sonuçları	No	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Test Çekici Sonuçları
1	36.02	4658	25	31	37.9	4770.1	23
2	36.82	4750	25	32	35.5	4649.5	22
3	37.96	4737	26	33	37.2	4704.1	21
4	23	4452	18	34	37	4746.1	22
5	20.51	4470	17	35	38.9	4764.3	21
6	27	4440	23	36	29.4	4683.3	18
7	22.21	4444.8	17	37	28.7	4695	18
8	23.3	4582	18	38	33.3	4642.6	19
9	21.85	4553	17	39	21	4522.6	16
10	34.57	4601	23	40	20.6	4566.6	16
11	35.82	4622	22	41	21.2	4516.1	16
12	34.07	4615	21	42	31.3	4543.1	25
13	37.71	4729.6	22	43	26	4482	23
14	37.56	4716.6	23	44	28	4519.6	24
15	28	4530	20	45	37.9	4838.3	24
16	29.7	4520.83	22	46	33.9	4677	21
17	28.7	4523.1	20	47	35.1	4803.1	21
18	28.2	4517.1	21	48	33.62	4761.8	21
19	28.7	4670	21	49	32.86	4753.6	21
20	28.88	4634	21	50	31.1	4686.8	20
21	27.7	4670	19	51	27	4572.5	20
22	27.07	4526.8	19	52	29	4502.1	20
23	28.2	4676.1	19	53	26.75	4550.3	19
24	29.3	4739.8	24	54	25.38	4560	21
25	38.48	4796.6	24	55	28.69	4605.6	22
26	38.68	4703.6	24	56	27	4565.8	22
27	35.42	4779.8	24	57	34.1	4603.1	21
28	36.35	4714.8	25	58	36.75	4850.8	24
29	39.9	4864.3	22	59	35.99	4778.6	23
30	36.7	4684.3	23	60	36.79	4874	24

Tablo 3.2. 28 günlük numunelere ait deney sonuçları

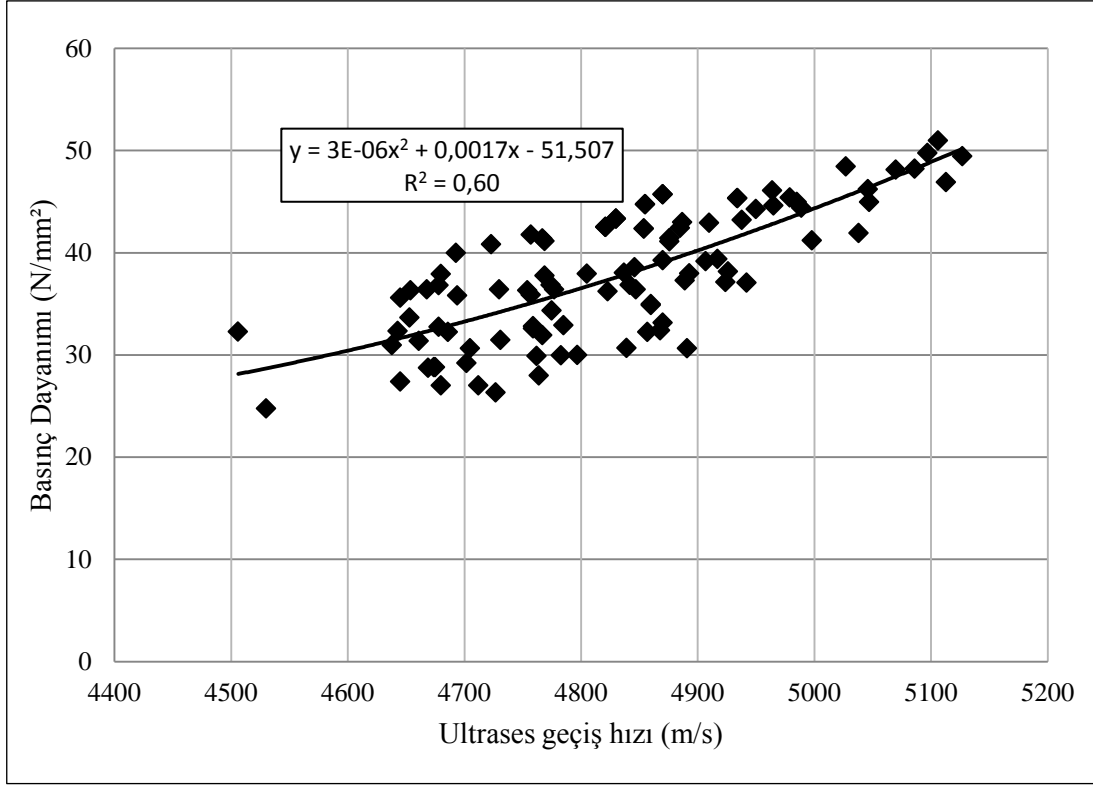
No	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Test Çekici Sonuçları	No	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Test Çekici Sonuçları
1	42.4	4885	33	46	37.9	4680	25
2	44.94	4985	34	47	32.33	4643	23
3	44.25	4950	34	48	34.96	4860	23
4	24.76	4530	20	49	34.33	4775	28
5	27.37	4645	21	50	42.51	4821	34
6	31.35	4661	23	51	43.31	4830	34
7	33.65	4653	24	52	44.73	4855	33
8	42.51	4821	33	53	45.7	4870	32
9	43.31	4830	34	54	36.4	4668	24
10	45.33	4934	34	55	32.39	4868	23
11	46.21	5046	35	56	38.55	4846	24
12	49.43	5127	33	57	41.19	4998	26
13	38.02	4837	31	58	42.9	4910	29
14	39.24	4870	29.5	59	43.19	4938	28
15	37.75	4769	31	60	30.68	4839	22.8
16	39.16	4907	31	61	33.14	4870	22.6
17	39.38	4917	30.5	62	32.22	4857	21
18	37.95	4893	30	63	32.27	4506	23
19	37.28	4889	30	64	32.9	4785	24.5
20	37.11	4924	30.5	65	30.65	4705	23
21	38.14	4926	30	66	35.79	4694	24.5
22	48.21	5086	34	67	35.6	4645	24
23	44.4	4989	35	68	36.8	4678	24
24	48.43	5027	34.5	69	31.44	4731	22
25	46.07	4964	35	70	32.8	4759	22.5
26	49.73	5097	34	71	32.57	4759	22.1
27	44.6	4965	36	72	26.31	4727	20
28	51.08	5306	35	73	27.96	4764	19
29	48.1	5070	36	74	29.89	4762	20
30	44.73	4855	34	75	36.29	4754	22
31	45.7	4870	33	76	36.4	4777	22
32	42.34	4854	27.5	77	35.86	4757	23
33	34.88	4860	29	78	41.37	4767	27
34	37.07	4942	27	79	41.12	4769	27
35	36.83	4842	27	80	39.96	4693	25.6
36	28.78	4675	21	81	26.99	4680	20
37	29.2	4702	21	82	30.65	4891	23
38	28.74	4669	21	83	36.29	4654	24.6
39	41.92	5038	33	84	36.4	4847	25
40	46.88	5113	34	85	32.75	4678	22
41	42.98	4887	31	86	31.92	4767	19
42	41.42	4876	31	87	30.94	4638	22.5
43	41.11	4876	28.5	88	36.39	4730	25.5
44	36.2	4823	29	89	36.85	4774	25.2
45	37.93	4805	29	90	40.83	4723	27
				91	41.74	4757	27.6

3.2. Ultrases Dalga Hızı ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

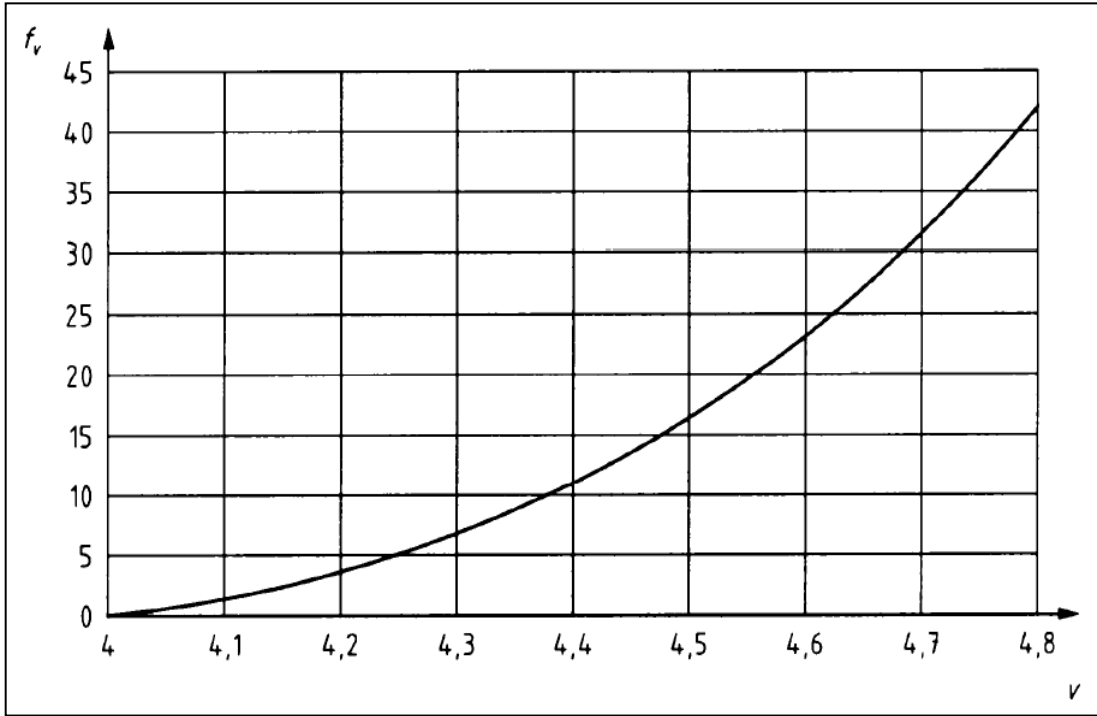
7 ve 28 günlük numunelere ait ultrases geçiş hızı-beton basınç dayanımı ilişkisi Şekil 3.1 ve Şekil 3.2' de, TS EN 13791'e (2010) göre ultrases dalga hızı deneyi için temel eğri Şekil 3.3'te verilmektedir. 7 ve 28 günlük numunelerin ultrasonik hızları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiye bakıldığında regresyon katsayıları % 73 ve % 60 olarak elde edilmiştir. Ayrıca 7 günlük numuneler için aralarındaki korelasyon katsayısı 0.79 iken 28 günlük numuneler için 0.75 olarak belirlenmiştir. 7 günlük basınç dayanımı için varyans değeri 30.39, ultrases dalga hızları için 12910 iken 28 günlük numuneler için 36.95 ve 18913 olarak belirlenmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus tahribatsız yöntemlerden ultrasonik hız yönteminin tek başına kullanıldığında çok da kötü olmayan sonuçlar vermesinin yanında 7 günlük değerlerin 28 günlük değerlere nazaran yüksek doğruluk göstermesidir. Bunun da nedeninin 28 günlük numune sayısının ve sonuç aralığının geniş olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Ayrıca bu yöntemi tek başına kullanmak daha önce de değinildiği gibi sakıncalı olabilmektedir.



Şekil 3.1. 7 günlük numuneler için ultrases dalga hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.2. 28 günlük numuneler için ultras ses dalga hızı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.3. Ultras ses geçiş hızı deneyi için temel eğri (TS EN 13791)

Tablo 3.3. Ultrases dalga hızlarına ve TS EN 13791'e göre belirlenen dayanımların gerçek beton dayanımlarıyla kıyaslanması

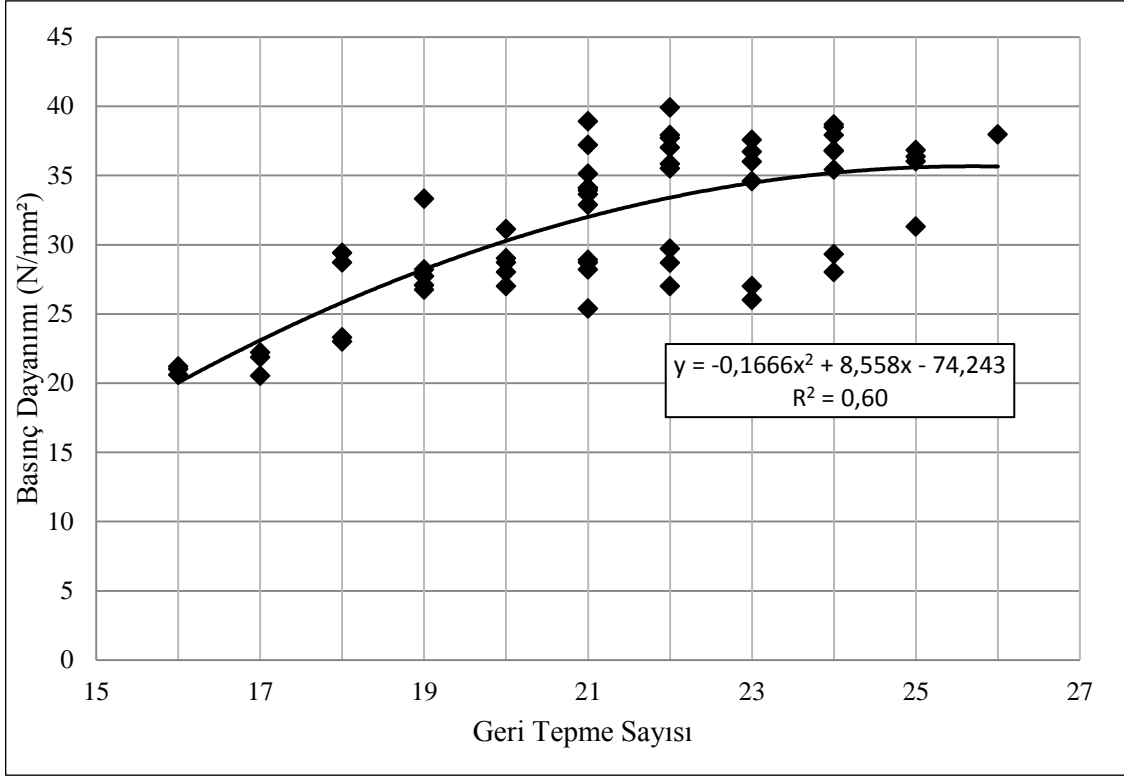
Numune no	Ultrases Dalga Hızı (m/s)	Beton dayanımı (basınç cihazında, N/mm ²)	Bu çalışmaya göre (Şekil 3.2) (N/mm ²)	TS EN 13791 (Ultrases hızı eğrisine göre, N/mm ²)
1	4674	28.8	32.39	27
2	4712	26.99	33.7	32
3	4783	29.94	36.3	40
4	4797	29.97	36.7	41
5	4686	32.24	32.8	29
Ortalama Hata (%)			16	21

Ultrases dalga hızlarına göre elde edilen denklemden öngörülen dayanımların ve EN 13791' de verilen eğriden elde edilen dayanımların gerçek dayanımlarla karşılaştırıldığı Tablo 3.3' e göre ortalama % 16 ve % 21 hata oranları elde edilmiştir. Hem bu çalışmadaki eğriden hem standarttaki eğriden elde edilen hata oranlarında da görüldüğü gibi bu yöntemin tek başına kullanılması çok güven vermemektedir. Hata oranları oldukça değişkendir.

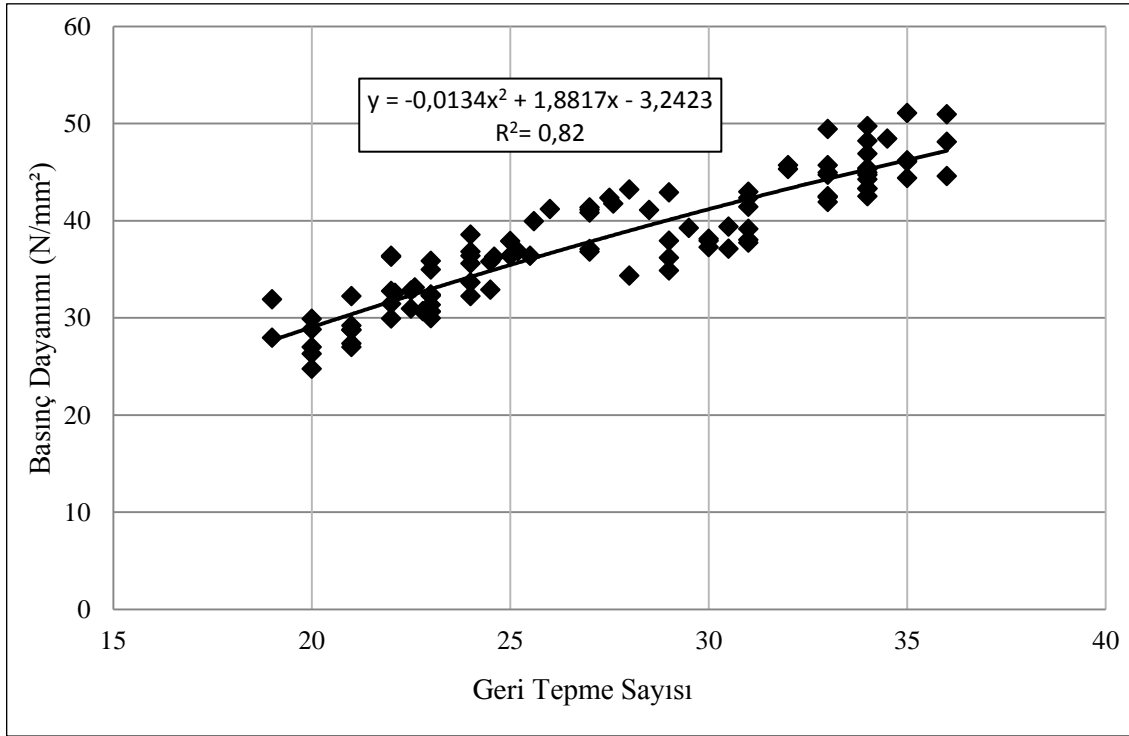
3.3. Schmidt Geri Tepme Değeri ile Beton Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

7 ve 28 günlük numunelere ait geri tepme sayısı-beton basınç dayanımı ilişkisi Şekil 3.4 ve Şekil 3.5' te ve TS EN 13791'e (2010) göre Schmidt geri tepme değeri için temel eğri Şekil 3.6'da verilmektedir.

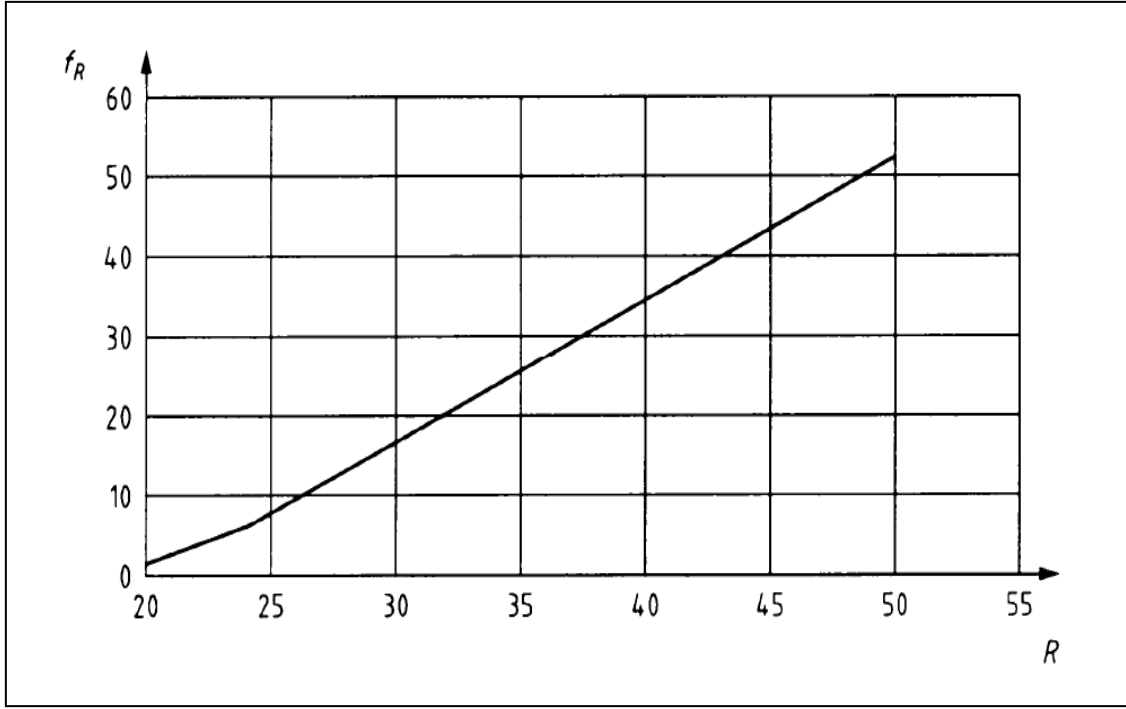
7 ve 28 günlük Schmidt geri tepme değeri okumalarıyla basınç dayanımı arasındaki regresyon katsayıları % 60 ve % 82 olarak belirlenmiştir. Yine aralarındaki korelasyon katsayısı 0.74 ve 0.90'dır. 7 günlük basınç dayanımı için varyans değeri 30.39, Schmidt geri tepme değerleri için 6.3 iken, 28 günlük numuneler için 36.95 ve 24.84 olarak belirlenmiştir. Test çekicinin çalışma mantığı yüzey sertliğini ölçmek olduğundan, 28 günlük numunelerin 7 günlük numunelere oranla çok daha iyi dayanım kazandığı açıktır. 28 günlük numuneler hidrasyonunu daha iyi kazanmış ve daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca bu yöntemle elde edilen sonuçlar daha fazla güven vermektedir. Ancak 7 ve 28 günler arasında çok büyük bir fark olduğu göz ardı edilmemelidir. Yine bu yöntem de tek başına kullanıldığında her zaman çok sağlıklı sonuçlar vermemektedir.



Şekil 3.4. 7 günlük numuneler için geri tepme sayısı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.5. 28 günlük numuneler için geri tepme sayısı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 3.6. Schmidt geri tepme deneyi için temel eğri (TSE, 2010).

Tablo 3.4. Schmidt geri tepme değerlerine göre gerçek beton dayanımı ile bu çalışmada elde edilen formülün ve EN 13791 kıyaslanması

Numune no	Geri tepme sayısı	Beton dayanımı (Basınç cihazında, N/mm ²)	Bu çalışmaya göre (Şekil 3.5) (N/mm ²)	Beton dayanımı (Schmidt'e göre, N/mm ²)	TS EN 13791 (Geri tepme sayısına göre, N/mm ²)
1	20	28.8	29	11	3
2	21	26.99	22.82	12	4
3	22	29.94	31.7	13	5
4	23	29.97	33	14.8	6
5	24	32.24	34.2	16	7
Ortalama Hata (%)			7.3	54.8	-

Bu çalışmada elde edilen Schmidt geri tepme değerleri, TS EN 13791 (2010) nolu standarttaki geri tepme eğrisine göre belirlenen dayanımlar ve Schmidt' in elde ettiği abağa göre bulunan basınç dayanımları ve basınç cihazında elde edilen dayanım sonuçları ile kıyaslanmıştır. Sonuçlar Tablo 3.4' te verilmektedir. Tabloya bakıldığında; bu çalışmadaki formüle göre hata oranı % 7.3' tür. Schmidt' in geliştirdiği abağa göre % 54.8 iken, EN 13791' e göre hata oranı çok yüksek çıkmaktadır. Standarttaki abakta 30' dan düşük olan geri sıçrama değerlerinde sonuçların çok kötü olduğu görülmektedir. Bu durumda bu

çalışmadaki eğrinin daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Ayrıca bu yöntem ultrases dalga hızına göre daha güvenilir sonuçlar vermiştir. Ancak tek başına kullanılması halinde yine sakıncalı sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Hata oranlarının aralığının geniş olması bu sakıncaları ortaya koymaktadır. Bu nedenle iki yöntemin birleştirilerek kullanıldığı birleştirilmiş yöntem daha güvenilir sonuçlar vermektedir.

3.4. Yeni Bir Birleştirilmiş Yöntem Geliştirilmesi

Bu çalışmada, Schmidt geri tepme değeri ve ultrasonik cihaz kullanılarak iki yöntemin birleştirilmesiyle daha doğru sonuçların elde edilebilmesi amacıyla 'Birleştirilmiş Yöntem' kullanılmıştır. Yapılan deneylerde ultrases dalga hızı ve geri tepme testleri birlikte kullanılmış, numuneler basınç cihazında kırılarak basınç dayanımları belirlenmiş ve çoklu regresyona tabi tutularak yeni formülasyonlar ve abak geliştirilmiştir.

Deneysel çalışmalar 7 ve 28 günlük numuneler için ayrı ayrı yapılmıştır. Beton dayanımı için genel olarak 28 günlük dayanım kabul görmektedir. 7 günlük sonuçlar esasında yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Çoklu regresyon hem 7 günlük hem de 28 günlük numuneler için yapılmıştır. Genelleştirilmiş abak ise sadece 28 günlük deney sonuçlarına göre oluşturulmuştur. Denklemler SPSS 7.2 programıyla grafik ise MATLAB 2010a programı yardımıyla elde edilmiştir.

3.4.1. 7 Günlük Numuneler İçin Çoklu Regresyon Denklemlerinin Bulunması

3.4.1.1. Lineer Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması

Lineer fonksiyona yardımıyla yapılan regresyon analizinden elde edilen denklem;

$$\text{Basınç Dayanımı} = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2 \text{ ' dir.} \quad (3.1)$$

Burada;

x_1 ; Ultrases geçiş hızı

x_2 ; Geri tepme sayısı

B_0, B_1, B_2 ; Sabit katsayılardır. $R^2=0,69$ olarak bulunmuştur.

Tablo 3.5. Lineer fonksiyona göre sabit katsayılar

B ₀	-163.0261858905772
B ₁	0.0413405918156178
B ₂	0.116165800306708

3.4.1.2. Logaritmik Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması

Logaritmik fonksiyon yardımıyla yapılan regresyon analizinden elde edilen denklem;

$$\text{Basınç Dayanımı} = B_0 + B_1 \cdot \ln x_1 + B_2 \cdot \ln x_2 \text{ ' dir.} \quad (3.2)$$

Burada;

x₁; Ultrases geçiş hızı

x₂; Geri tepme sayısı

B₀, B₁, B₂; Sabit katsayılardır. R=0,695 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.6. Logaritmik fonksiyona göre sabit katsayılar

B ₀	-1599.5316790041686
B ₁	192.25641491114493
B ₂	2.536063296413607

3.4.1.3. Ters Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması

Ters fonksiyon yardımıyla yapılan regresyon analizinden elde edilen denklem;

$$\text{Basınç Dayanımı} = B_0 + B_1/x_1 + B_2/x_2 \text{ ' dir.} \quad (3.3)$$

Burada;

x₁; Ultrases geçiş hızı

x₂; Geri tepme sayısı

B₀, B₁, B₂; Sabit katsayılardır. R=0,695 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.7. Ters fonksiyona göre sabit katsayılar

B ₀	226.6301565144119
B ₁	-894197.8615771392
B ₂	-53.13491008618384

3.4.2. 28 Günlük Numuneler İçin Çoklu Regresyon Denklemlerinin Bulunması

3.4.2.1. Lineer Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması

Lineer fonksiyona yardımıyla yapılan regresyon analizinden elde edilen denklem;

$$\text{Basınç Dayanımı} = B_0 + B_1 \cdot x_1 + B_2 \cdot x_2' \text{ dir.} \quad (3.4)$$

Burada;

x₁; Ultrases geçiş hızı

x₂; Geri tepme sayısı

B₀, B₁, B₂; Sabit katsayılarıdır. R²=0,85 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.8. Lineer fonksiyona göre sabit katsayılar

B ₀	-34.2106670734609
B ₁	0.009436872366512635
B ₂	0.9527716287900933

3.4.2.2. Logaritmik Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması

Logaritmik fonksiyon yardımıyla yapılan regresyon analizinden elde edilen denklem;

$$\text{Basınç Dayanımı} = B_0 + B_1 \cdot \ln x_1 + B_2 \cdot \ln x_2' \text{ dir.} \quad (3.5)$$

Burada;

x₁; Ultrases geçiş hızı

x₂; Geri tepme sayısı

B₀, B₁, B₂; Sabit katsayılarıdır. R²=0,85 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.9. Logaritmik fonksiyona göre sabit katsayılar

B ₀	-454.0152044928204
B ₁	47.9518203154099
B ₂	25.737381598095908

3.4.2.3. Ters Fonksiyon Yardımıyla Regresyon Denklemi Bulunması

Ters fonksiyon yardımıyla yapılan regresyon analizinden elde edilen denklem;

$$\text{Basınç Dayanımı} = B_0 + B_1/x_1 + B_2/x_2 \text{ dir.} \quad (3.6)$$

Burada;

x₁; Ultrases geçiş hızı

x₂; Geri tepme sayısı

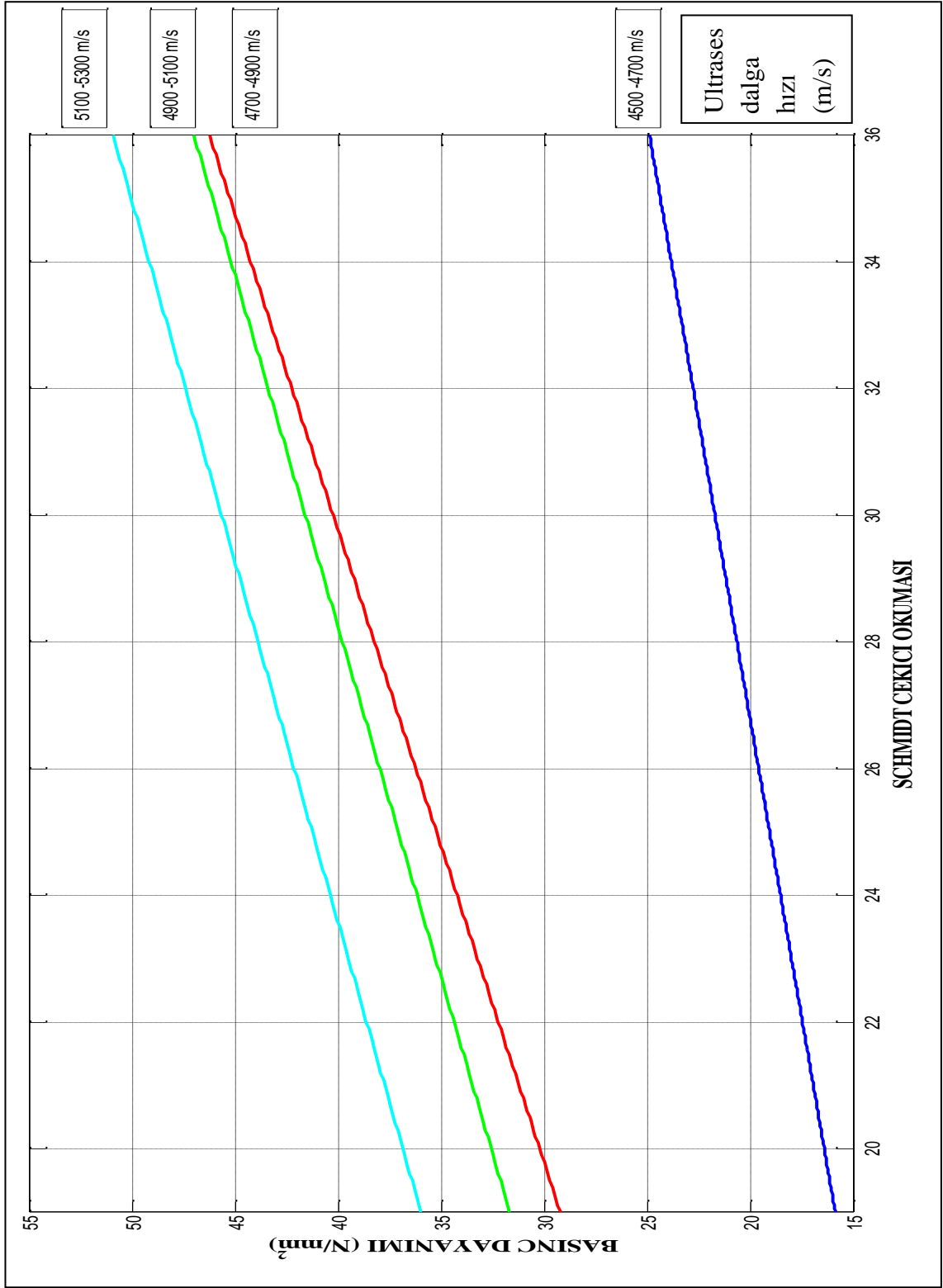
B₀, B₁, B₂; Sabit katsayılardır. R²=0,85 olarak bulunmuştur.

Tablo 3.10. Ters fonksiyona göre sabit katsayılar

B ₀	115.56102695461848
B ₁	-255046.97745341324
B ₂	-667.6873262428776

Bu denklemler, SPSS 7.2 programı kullanılarak elde edilmiştir. En yüksek doğruluk oranını veren 3 denklem seçilerek sunulmuştur. Denklemlerde, tahribatsız deney yöntemlerinden ultrasonik yöntem ve test çekici deneylerinin sonuçları kullanılarak beton basınç dayanımı yaklaşık olarak belirlenmektedir.

Bu çalışmada elde edilen grafik Şekil 3.7' de verilmiştir. Daha önceki çalışmalardan elde edilen grafikler ise Şekil 1.9 ve Şekil 1.10' da verilmiştir. Bu grafiklere bakıldığında; bu çalışmadaki grafiğin 4700-5100 m/s hız aralığını, diğer grafiklerin ise 3400-4800 m/s ve 3600-5000 m/s hız aralığını kapsadığı görülmektedir. Üç grafik de aynı hız ve geri tepme değerleri için farklı dayanım sınıfları vermektedir. Bu çalışma süresince üretilen betonların dayanımlarının yüksek olması nedeniyle ultrases geçiş hızları yüksek çıkmıştır. Bu yüzden düşük hızlar grafikte yer almamaktadır. Önceki çalışmalardan elde edilen grafiklerin hız aralığı geniştir. Bu nedenle daha geniş kapsamlı çalışmalarla düşük hızların ve yüksek hızların yer aldığı grafiklerin oluşturulması için bu çalışmaların devam ettirilerek tahribatsız deneylerin yaygın hale getirilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.



Şekil 3.7. Ultrasonik Dalga Hızı, Schmidt Geri Tepme Değeri ve Basınç Dayanımı arasındaki üçlü ilişki

Tablo 3.11. Düşük dayanımlı numuneler için üç birleştirilmiş yöntem grafiğinin kıyaslanması

Numune no	Gerçek basınç dayanımı (N/mm ²) (Şekil 3.5)	Bu çalışmaya göre (Şekil 3.7) (N/mm ²)	Bellander abağına göre (N/mm ²)	Ultrasonik yöntem abağına göre (N/mm ²)
1	28.8	18	23	26
2	26.99	30	27	28
3	29.94	32	30	30
4	29.97	34	31	33
5	32.24	33	28	28
Hata oranı ortalaması (%)		14	8	8

Tablo 3.12. Yüksek dayanımlı numuneler için üç birleştirilmiş yöntem grafiğinin kıyaslanması

Numune no	Gerçek basınç dayanımı (N/mm ²) (Şekil 3.5)	Bu çalışmaya göre (Şekil 3.7) (N/mm ²)	Bellander abağına göre (N/mm ²)	Ultrasonik yöntem abağına göre (N/mm ²)
1	45.4	45.5	43	48
2	50.96	52	54	53
3	42.34	42	46	45
4	45.33	44	48	46
5	44.95	44	49	48
Hata oranı ortalaması (%)		1.6	6.7	4.8

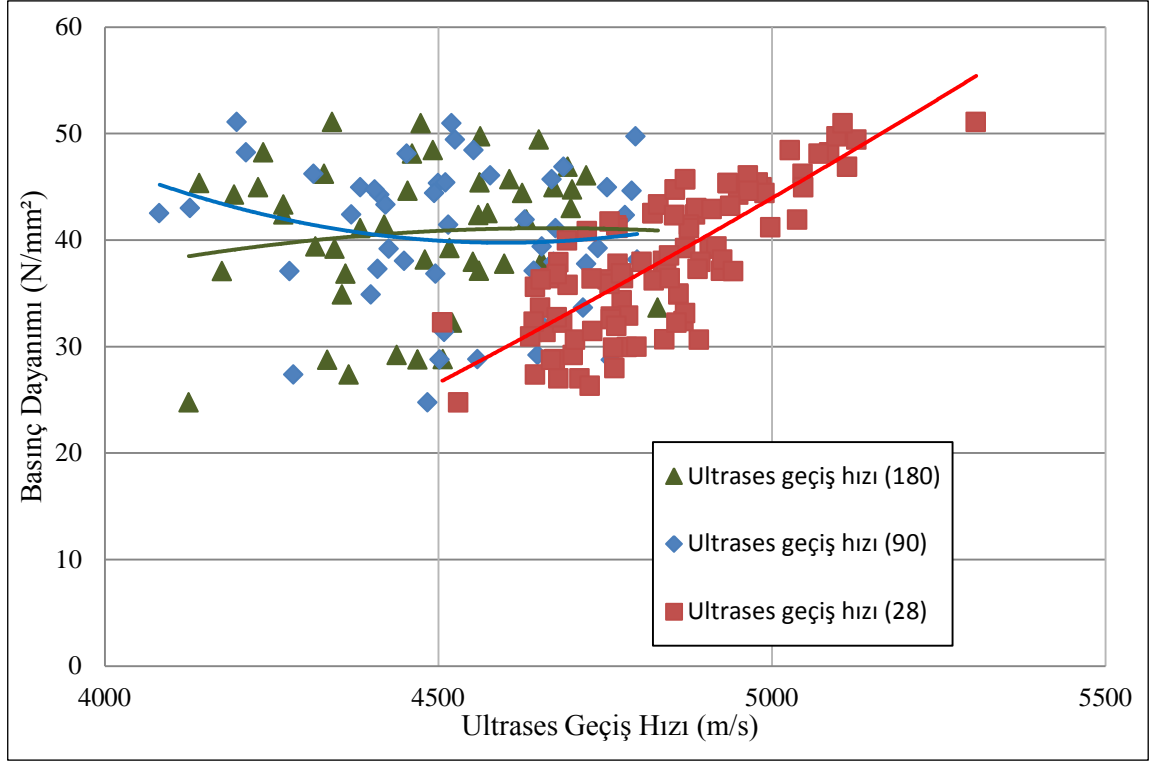
Bu çalışmada elde edilen grafiğin (Şekil 3.7) ve diğer çalışmaların (Şekil 1.9 ve 1.10) kıyaslandığı Tablo 3.11 ve Tablo 3.12' de üç grafiğin birbirine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Ancak düşük dayanımlı numuneler için Bellander ve Ultrasonik yöntem abağının biraz daha doğru sonuç verdiği gözlenmektedir. Yüksek dayanımlı numuneler için de bu çalışmadaki abağın daha iyi sonuçlar verdiği Tablo 3.12' de belirlenmiştir. Bizim bulduğumuz abak yüksek dayanımlı numuneler için % 1.6 gibi çok düşük hata oranı vermektedir. Bu durum da abağın yüksek dayanımlı betonlar için kullanılabileceğinin göstergesidir.

3.5. Yerinde Beton Dayanımı Belirlemeye Yönelik Deneyler

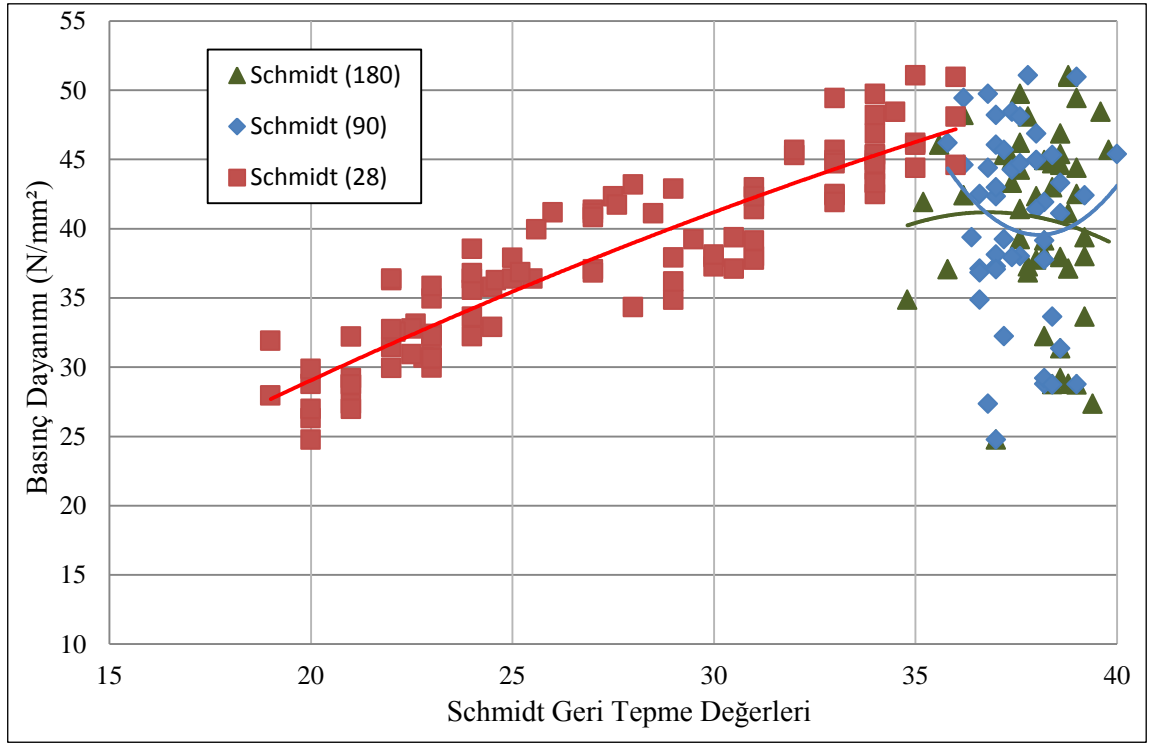
3.5.1. 28 günlük Basınç Dayanımı ile Yerinde Muayene Arasındaki İlişki

Karakteristik dayanımlar 28 günlük basınç deneyleri ile belirlenir. Oysaki yapı muayenelerinde genellikle betonun mevcut yaşı itibarıyla dayanımı belirlenir. Bu

çalışmada 28 günlük laboratuvar deneyleri ile 90 ve 180 günlük yerinde yapılan deneylerin sonuçları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8' de verilmektedir. Yapılan bu ölçümlerin amacı, betonun 90 ve 180 günlük ultrases geçiş hızı ve Schmidt geri tepme değerleriyle 28 günlük basınç dayanımına varmaktır. Betonun karakteristik dayanımının belirlenmesinde 28 günlük dayanım sonuçları kullanıldığından betonun yerinde denetimi yapılırken de 28 günlük dayanıma ulaşmak istenmektedir. Bu sebeple elde edilen deneysel sonuçlar belli katsayılarla iyileştirilmektedir. 90 ve 180 günlük Schmidt geri tepme değeri ölçümleri ve ultrases geçiş hızı değerleri 28 günlük ölçümlerle karşılaştırılarak basınç dayanımları arasındaki ilişki belirlenmiştir. Bunda amaç katsayılarla iyileştirmek yerine grafik değerlerini kullanmaktır. 28 günlük laboratuvar deneylerinde; ultrases geçiş hızı değerlerinin ve Schmidt geri tepme değerlerinin yükselen bir eğilim izlediği görülmektedir. 90 ve 180 günlük yerinde yapılan ölçümlerde; ultrases dalga hızlarının 90 günlük ölçümler için küçük bir miktar düştüğü, 180 günlük ölçümlerde ise bir miktar yükseliş gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca genel olarak 90 ve 180 günlük ultrases dalga hızlarının 28 günlük değerlerden düşük olduğu da göze çarpmaktadır. Bunun da 28 günlük numunelerin laboratuvar ortamında kürlendiğinden dolayı hidrasyonunu daha iyi kazanmış olmasından kaynaklandığı söylenebilir. Schmidt geri tepme değerlerine bakıldığında; 90 ve 180 günlük ölçümlerin birbirine yakın bir eğilim izlediği gözlenmektedir. Ayrıca 28. günden 180. güne doğru geri tepme değerlerinin arttığı da gözlenmektedir. 90 ve 180 günlük numunelerin geri tepme değerleri 35-40 aralığında değişkenlik gösterirken 28 günlük değerler daha geniş aralığa yayılmıştır. Bu da betonun ilerleyen günlerde daha iyi dayanım kazandığını ortaya koymaktadır. Bu iki yöntemin ayrı ayrı kullanılması beton dayanımının tahmin edilmesinde çok da güvenli olamamaktadır. Bu nedenle iki yöntemin birlikte kullanılarak hata payının düşürülmesi mümkün olabilmektedir. İki yöntemin birleştirilerek kullanıldığı 'Birleştirilmiş Yöntem' bu alanda ihtiyaca cevap verebilecek gibi görünmekte ve halen çalışmaların sürdürüldüğü bir metottur.



Şekil 3.8. Laboratuvarında 28 ve yerinde 90,180 günlük Ultrasonik dalga hızı-Basınç dayanımı ilişkisi



Şekil 3.9. Laboratuvarında 28 ve yerinde 90, 180 günlük Schmidt geri tepme değeri-Basınç dayanımı ilişkisi

3.5.2. Çekirdek Numuneler Üzerinde Sonuçların Değerlendirilmesi

Bu çalışmada elde edilen grafiğin (Şekil 3.7) ve elde edilen formülasyonların kullanılabilirliğinin araştırılması ve güvenilirliğinin denetlenmesi için mevcut yapılardan karot numuneler alınmıştır. Karot numune alınmadan önce yerinde ultrasonik hız testi ve Schmidt geri tepme testi uygulanmıştır. Tahribatsız testlerin uygulanması ve sonuçlarının değerlendirilmesine ilişkin TS EN 13791' de yer alan yaklaşımlar da dikkate alınarak, bu çalışmada elde edilen formülasyon, İngiliz standartları ve TS EN 13791' deki grafik değerleri gerçek basınç değerleriyle mukayese edilmiştir. Alınan numunelerin başlıklama işlemi yapılarak basınç cihazında kırılmış, basınç dayanım değerleri belirlenmiştir. Tahribatsız deney sonuçları daha önce elde edilen denklemlerde yerine konularak gerçek basınç dayanımıyla ilişkisi incelenmiştir.

İngiliz standartlarına göre karot numunelerin ortalama basınç dayanımı elde edildikten sonra bu değer yapıdaki dayanıma çevrilmesi için;

$$\sigma_{\text{küp}} = \frac{D}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} (\sigma_{\text{karot}}) \quad (3.7)$$

eşitliği kullanılmaktadır (C. S. T. R., 1976).

D: 2.5 veya 2.3

λ : boy/çap oranıdır.

Karot numunelerin ortalama dayanımını taze betondan üretilen 15 cm'lik küp numunelerin 28 günlük dayanımına çevirmek için;

$$\sigma_{\text{küp}} = \frac{D'}{1.5 + \frac{1}{\lambda}} (\sigma_{\text{karot}}) \quad (3.8)$$

eşitliği kullanılmaktadır (Erdoğan, 2010).

D': 3.25 veya 3

λ : boy/çap oranıdır

Ayrıca TS EN 13791 (2010) nolu standartta karot numunelerin değerlendirilmesine ilişkin kullanılacak yaklaşımlar belirtilmiştir. Numune alınacak bölgeler belirlendikten

sonra Schmidt geri tepme, ultrases dalga hızı veya çekip çıkarma deneylerinden uygun olanları uygulanarak betonun yerinde dayanımı belirlenebilmektedir. Karot numunelerin dayanımları bu standarda göre belirlenmiştir. Standarda göre deney bölgesinin yapıdaki karakteristik basınç dayanımı,

$$f_{ck, is} = f_{is, en \text{ düşük}} + 4 \quad (3.9)$$

$$f_{standart} = f_{ck, is} / 0.85 \quad (3.10)$$

bağıntıları ile belirlenmektedir.

Bu bağıntılara göre elde edilen karot numune dayanımları da Tablo 3.13' te verilmektedir.

Standartta verilen eğriler Şekil 3.3 ve Şekil 3.6'da verilmişti. Bu eğrilere göre geri sıçrama sayısı ve ultrases dalga hızına göre beton dayanımı belirlenebilmektedir (TS EN 13791).

Bu çalışmada TS EN 13791 nolu standarda göre bulunan dayanımlar baz alınarak, elde edilen formülasyona göre öngörülen basınç dayanımları ve İngiliz standartlarına göre öngörülen dayanımlar kıyaslanmıştır. Ayrıca TS EN 13791 nolu standartta verilen eğrilere göre de dayanım mukayesesi yapılarak Tablo 3.13' te verilmiştir. Bu çalışmada, eğrilere Schmidt geri tepme yöntemi için verilen eğri kullanılabilir. Çünkü ultrases hızları 4 km/s' den küçük olduğundan grafikte bu değerler okunamamaktadır. Bu çalışmada elde edilen denkleme göre [(3.4) bağıntısı] hata oranı ortalama % 5.5 iken İngiliz standardına göre % 7.3 olmaktadır. Geri sıçrama eğrisine göre karot numunelerin dayanımlarının belirlenmesinde hata oranı % 26 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen (3.4) bağıntısı İngiliz standartlarına ve geri sıçrama eğrisine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Elde edilen sonuçlar tahribatsız test yöntemlerinin birleştirilmiş metotla mevcut yapılarda gayet iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Yapıda tahribat oluşturarak uygulanan metotların yerine tahribatsız test yöntemlerinin kullanılabilmesi bu sonuçlarla desteklenmektedir.

Tablo 3.13. Karot numunelere ait ultrases dalga hızı-Schmidt geri tepme değeri-basınç dayanımı sonuçları

Numune No	Ultrases Geçiş Hızı (m/s)	Geri Tepme Sayısı	TS EN 13791 (N/mm ²)	Bu çalışmaya göre (3.4 bağıntısı) (N/mm ²)	İngiliz standardı (N/mm ²)	TS EN 13791 (Geri tepme eğrisine göre)
1	3928	33	27.38	34.3	25	21
2	3021	31	22.30	23.8	19.5	18
3	3432	34	30.83	30.6	28.8	25
4	4071	34	29.78	36.6	27.7	25
5	4043	29	30.62	31.6	28.6	17
6	3837	35	37.71	35.3	36.5	26
7	3610	28	26.27	26.5	23.8	16
8	4066	33	29.02	35.6	26.8	23
9	3836	34	34.87	34.4	33.3	25
10	3254	31	23.11	26	20.4	18
Hata oranı (%)				7.3	5.5	26

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde laboratuvar ortamında; 28, 90 ve 180 günlük yerinde yapılan ölçümlerde ve yapıdan çekirdek (karot) numuneler alınarak uygulanan tahribatlı ve tahribatsız deneylerden elde sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

- 7 ve 28 günlük numunelerin ultrasonik hızları ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiye bakıldığında regresyon katsayıları % 73 ve % 60 olarak elde edilmiştir. Ayrıca 7 günlük numuneler için aralarındaki korelasyon katsayısı 0.79 iken 28 günlük numuneler için 0.75 olarak belirlenmiştir. 7 günlük basınç dayanımı için varyans değeri 30.39, ultrases dalga hızları için 12910 iken 28 günlük numuneler için 36.95 ve 18913 olarak belirlenmiştir.

- 7 ve 28 günlük Schmidt geri tepme okumalarıyla basınç dayanımı arasındaki regresyon katsayıları % 60 ve % 82 olarak belirlenmiştir. Yine aralarındaki korelasyon katsayısı 0.74 ve 0.90'dır. 7 günlük basınç dayanımı için varyans değeri 30.39, Schmidt geri tepme değerleri için 6.3 iken, 28 günlük numuneler için 36.95 ve 24.84 olarak belirlenmiştir.

- 7 ve 28 günlük laboratuvar çalışmaları sonucunda Schmidt geri tepme okumaları, ultrases dalga hızları ve beton basınç dayanımları çoklu regresyon analizine tabi tutularak 3'er denklem elde edilmiştir. 7 günlük numunelerde regresyon katsayısı % 69, 28 günlük numunelerde ise % 85'tir. 28 günlük numune sayısının fazla olması ve 7 günlük test aralığının geniş olması nedeniyle bu farkın ortaya çıktığı söylenebilir. Ayrıca 28 günlük numuneler dayanımları daha iyi kazandıkları için doğruluk oranı da yüksek çıkmıştır.

- 28 günlük numunelerin test sonuçları kullanılarak genelleştirilmiş abak (Şekil 3.7) elde edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen abak ile Bellander ve Ultrasonik yöntem abaklarının kıyaslandığı durumlarda düşük dayanımlı numuneler için % 14, % 8 ve % 8' lik hata oranları elde edilirken, yüksek dayanımlı numuneler için sırasıyla % 1.6, % 6.7 ve % 4.8 hata oranları belirlenmiştir. Bu durumda bu çalışmada elde edilen abağın düşük dayanımlı numuneler için makul bir hata payı verdiği, yüksek dayanımlı numuneler için ise çok iyi sonuçlar verdiğini söylenebilir.

- Bu çalışmada TS EN 13791 nolu standarda göre bulunan dayanımlar baz alınarak, elde edilen formülasyona göre öngörülen basınç dayanımları ve İngiliz standartlarına göre

öngörülen dayanımlar kıyaslanmıştır. Ayrıca TS EN 13791 nolu standartta verilen eğrilere göre de dayanım mukayesesi yapılmıştır. Bu çalışmada elde edilen denkleme göre (3.4) hata oranı ortalama % 5.5 iken İngiliz standardına göre % 7.3 olmaktadır. Geri sıçrama eğrisine göre karot numunelerin dayanımlarının belirlenmesinde hata oranı % 26 olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada elde edilen (3.4) bağıntısı İngiliz standartlarına ve geri sıçrama eğrisine göre daha iyi sonuçlar vermektedir.

Genel olarak test sonuçları göz önüne alındığında aşağıdaki öneriler sunulabilir:

- Tahribatsız test yöntemlerinin kullanılabilirliğinin genişletilmesi ve klasik tahribatlı yöntemlerin yerine kullanımının artırılması önerilmektedir.

- Yapıların yerinde denetimlerinin yapılmasının kolaylaştırılması ve beton kalitesinin denetlenmesi yönünden tahribatsız deney yöntemlerinin yüksek doğruluk oranları vermesi bu alana yoğunlaşmanın önünü açmaktadır.

- Schmidt geri tepme değeri ve ultrases geçiş hızı yöntemlerinin ayrı ayrı kullanılmasıyla hatalı sonuçlar elde edilmekte ve sonuçlar yanıltıcı olmaktadır. Bu anlamda mevcut standartlardaki grafikler de bunu desteklemektedir. Bu nedenle de birleştirilmiş yöntem iyi bir alternatif olmanın yanında verdiği yüksek doğruluk oranlarıyla gelecek çalışmalar adına umut vermektedir.

- 'Birleştirilmiş Yöntem'le elde edilen formüllerin yüksek doğruluk oranları vermesi, bu formüllerin kullanılabilirliğinin göstergesidir. Ayrıca bu alanda daha geniş kapsamlı çalışmalar yapılarak oranın daha da yükseltilebileceği düşünülmektedir.

- Ayrıca bu çalışmada elde edilen grafiğin (Şekil 3.7) de yüksek kaliteli numuneler için yüksek korelasyon verdiği saptanmıştır. Bu anlamda bu grafiğin de beton dayanımının tahmini açısından kullanılabileceği görülmektedir.

- Betonun ileriki yaşlardaki dayanımını belirlemek için yerinde yapılan çalışmalarda, iki yöntemin ayrı ayrı kullanılmasıyla çok güvenilir sonuçlar elde edilememektedir. İki yöntemin birleştirilerek kullanıldığı 'Birleştirilmiş Yöntem' bu alanda ihtiyaca cevap verebilecek gibi görünmekte ve halen çalışmaların sürdürüldüğü bir yöntemdir.

- Tahribatsız deney yöntemlerinin yapılardan çekirdek numune alınarak kullanılabilirliğinin denetlenmesi amaçlanarak yapılan çalışmalarda, elde edilen formülün dayanım öngörüsü açısından gayet iyi sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Klasik karot alma işleminin zor olması, pahalı bir yöntem olması ve kesin sonuçlar vermediği

düşünüldüğünde, tahribatsız yöntemlerin kolay ve her yerde uygulanabilmesi gibi avantajları ile kullanımının yaygınlaştırılmasının gerektiği düşünülmektedir. Yapılar için kalitenin göstergesi olan beton dayanımının daha pratik yollarla test edilmesinin önü açılmalıdır.

5. KAYNAKLAR

- ACI 308-92, (2000), Standard practice for curing concrete, ACI Manual of Concrete Practice.
- Akman, M. S., (1990), Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Baradan, B., Türkel, S., Yazıcı, H., (2012), Beton, İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.
- Başka, M. A., (2006), Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi, Yüksek lisans tezi, Atatürk Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Erzurum, 103s.
- Bellander, U., (1977), Concrete Strength in Finished Structures: Part 3, NDT Methods, Investigations in Laboratory and in-Situ, CBI Research 3:77, Swedish Cement and Concrete Research Institute.
- Bilgin, N., (2002), The performance prediction of impact hammers from Schmidt hammer rebound values in Istanbul metro tunnel drivages, Tunnelling and Underground Space Technology, 237-247.
- Breyse, D., (2012), Nondestructive evaluation of concrete strength: An historical review and a new perspective by combining NDT methods, Construction and Building Materials, 139-163.
- Brocklehurst, F., Moss, B., Smith, R., & Tasker, C., (1992), Evaluation of the use of laser ultrasonics for the rapid,. UKAEA Harwell Lab, 93.
- Brooks, A. N., (1987), Concrete Technology, New York: Longman Scientific & Technical.
- Bungey, J. H., Soutsos, M. N., (2001), Realibility of partially-destructive tests to assess the strength of concrete on the site, Construction and Building Materials, 15, 81-92.
- Buyukozturk, O., (1998), Imaging of Concrete Structures, NDT & E International, 233-243.
- Cement and Concrete Terminology,(1994), ACI Manual of Concrete Practice Part I, (116R-90), A. C.

- Concrete Society Technical Report No:11, (1976), Concrete Core Testing for Strength, The Concrete Society, Terminal House, Grosvenor Gardens, London.
- Day, R. L., (1993), Correlation between strength of small and standard concrete cylinders, ACI Materials Journal, 452-462.
- D. Breysse, G. K., (2008), How to combine several non-destructive techniques for a better assessment of concrete structures, Cement and Concrete Research, 783-793.
- Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, (2007), Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- Erdal, M., (2002), Beton Basınç Dayanımının Bazı Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 95s.
- Erdal, M., Şimşek, O., (2003), Betonun Kalite Kontrolünde İleri Teknoloji Kullanımı, 65-73, Ankara: 3RD International Advanced Technologies Symposium.
- Erdal, M., Şimşek, O., (2006), Bazı Tahribatsız Deney Metotlarının Vakum Uygulanmış Betonların Basınç Dayanımlarının Belirlenmesindeki Performanslarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 65-73.
- Erdoğan, T. Y., (1965), NDT of Concrete by Sonometer and Concrete Sclerometer, Ankara: METU.
- Erdoğan, T. Y., (1995), Çimentolar, ODTÜ Yayıncılık, Ankara.
- Erdoğan, T. Y., (2010), Beton, ODTÜ Yayıncılık, Ankara
- Ergün, A., Kürklü, G., (2005), Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi, Kocaeli.
- Ersoy, U., (1987), Betonarme Temel İlkeleri ve Taşıma Gücü Hesabı, Evrim Basın Yayınevi, Ankara.
- Etse, G., (1992), Finite element analysis of failure response behaviour of anchor bolts in concrete, Nuclear Engineering and Design, 179, 245-252.
- F. Aydın, Sarıbiyık, M., (2010), Correlation between Schmidt Hammer and destructive compressions testing for concretes in existing buildings, Scientific Research and Essays, 1644-1648.

- Grieb, W. E., (1958), Use of Swiss Hammer for Estimating the Compressive Strength of Hardened Concrete, Public Roads, 45-50.
- Hobbs, B., Kebir, M. T., (2007), Non-destructive testing techniques for the forensic engineering investigation of reinforced concrete buildings, Forensic Science International, 167-172.
- Instruction for Using C.S.I., (2009), Concrete Tester, Operation Manual for Ultrasonic Concrete Tester.
- Kheder, G. F., (1999), A two stage procedure for assessment of in situ concrete strength using combined non-destructive testing, Materials and Structures, 410-417.
- Küçük, Ö. F., (2006), Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Beton Dayanımının Bulunması, Yüksek lisans tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 36s.
- Long, A. E., Henderson, G. D. ve Montgomery, F. R., (2001), Why assess the properties of near-surface concrete?, Construction and Building Materials, 15, 65-79.
- Mohammed, B. S., vd., (2011), Evaluation of rubbercrete based on ultrasonic pulse velocity and rebound hammer tests, Construction and Building Materials, 1388-1397.
- Maiti, R., (1992), A non-destructive method for testing of mechanical properties, Indian Journal of Technology, 39-42.
- NDT James Instruments, (2013). <http://www.ndtjames.com/>.
- Neville, A. M.,(1981), Properties of Concrete, England: Longman Scientific & Tecnical.
- NTU Equipment, (2013). <http://www.NTUEquipment.com/>.
- Proceq SA, (2006), Concrete Test Hammer N., Operating Instructions.
- Qasrawi, H., (2000), Concrete strength by combined nondestructive methods Simply and reliably predicted, Cement and Concrete Research, 739-746.
- Qasrawi, H. Y., (2003), The use of USPV to anticipate failure in concrete under compression, Cement and Concrete Research, 2017-2021.
- Ravindrajah, R., (1992), Strength evaluation of high-strength concrete by ultrasonic, Non-Destructive Testing-Australia, 6-9.

- Subaşı, S., Çullu, M., Bolat, H., Emiroğlu, M., Erdal, M., (2010), Uçucu Kül İkameli Betonların Mühendislik Özelliklerinin Tahribatsız Test Yöntemleri ile Belirlenmesi. Engineering Sciences, 494-506.
- Schmidt, E. (1954). The Concrete Sclerometer . R. I. Structures, (s. 310-319). Paris.
- Standards, A. B., (1994), ASTM C31, Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Field.
- Standards, A. B., (1994), ASTM C39, Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens.
- Standards, A. B., (1994), ASTM C597, Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- Standards, A. B.,(1994), ASTM C805, Standars Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete, Annual Book of ASTM Standards.
- Standards, A. B., (1994), Standars Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM C597.
- Standards, A. B., (1994), Test for obtaining and drilled cores and sawed beams of concrete, ASTM C42-90, Annual Book of ASTM Standards.
- Standards, B., (1983), Method for determination of the compressive strength of concrete cores, BS 1881, British Standards.
- Szilágyi, K.,(2011), Rebound surface hardness of concrete: Introduction of an empirical constitutive model, Construction and Building Materials, 2480-2487.
- Tokyay, M., (1997), Specimen Shape and Size Effect on the Compressive Strength of Higher Strength Concrete. Cement and Concrete Research, 1281-1288.
- Troxell, G. E., (1968), Composition and Properties of Concrete, New York : McGraw-Hill Book Company.
- TSE, (2002), TS EN 206-1, Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Ankara.
- TSE, (2010), TS EN 12390-2, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabi tutulması, Ankara.

TSE, (2012), TS EN 12504-4, Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrasonik atımlı dalga hızının tayini, Ankara.

TSE, (2004), TS EN 12504-2, Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız deneyler - Geri sıçrama değerinin tayini, Ankara.

TSE, (2010), TS EN 13791, Basınç dayanımının yapılar ve öndökümlü beton bileşenlerde yerinde tayini, Ankara: TSE.

TSE, (2010), TS EN 12390-3, Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının, Ankara.

TSE, (2000), TS 500, Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Ankara.

TSE, (2011), TS EN 12504-1, Beton - Yapıda beton deneyleri - Bölüm 1: Karot numuneler - Karot alma, muayene ve basınç dayanımının tayini, Ankara.

TSE, (1984), TS 1247, Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları, Ankara.

TSE, (2010), TS EN 12350-1, Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 1: Numune alma.

Uyanık, O., (2012), Beton Dayanımının Tahribatsız Ultrasonik Yöntemle Tayini, Hazır Beton, 82-85.

Whitehurst, E., (1951), Soniscope Tests Concrete Structures, J. of American Concrete Institute, 443-444.

Yazıcı, Ş., Göktepe, A. B., Altun, S., Karaman, V., (2006), Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımının Belirlenmesinde Kullanılan TS-10465 ve TS EN 12504-1 Üzerine Bir Değerlendirme, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi, 119-128.

Zeal International, (2013, Mart), <http://www.zealinternational.com/>

ÖZGEÇMİŞ

Şinasi BİNGÖL, 1989 yılında Kocaeli ilinin Gebze ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Dilovası'nda tamamlayarak 2007 yılında Gebze Anadolu Lisesinden Mezun oldu. 2007 yılında girdiği ÖSS sınavı sonucu Karadeniz Teknik Üniversitesi, Gümüşhane Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü'nü kazandı. 2011 yılında bu bölümden mezun olarak lisans öğrenimini tamamladı. 2012 yılında Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans programına başlayan BİNGÖL halen bu programda öğrenimine devam etmektedir.