

T.C.
ANAkkALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS TEZİ

BETON KALİTESİNİN FARKLI JEOFİZİK
YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ VE MEVCUT
BETON SINIFLANDIRMALARI İLE
KARŞILAŞTIRILMASI

N. Şebnem KARAHAN

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı
Tezin Sunulduğu Tarih: 24/01/2013

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

ANAkkALE

YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU

N. ŞEBNEM KARAHAN tarafından DOÇ. DR. AYDIN BÜYÜKSARAÇ yönetiminde hazırlanan “BETON KALİTESİNİN FARKLI JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ VE MEVCUT BETON SINIFLANDIRMALARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

Danışman

Prof. Dr. Hasan Orhun KÖKSAL

Yrd. Doç. Dr. Cahit Çağlar YALÇINER

Jüri Üyesi

Jüri Üyesi

Sıra No:

Tez Savunma Tarihi: 24/01/2013

Prof. Dr. İsmet KAYA

Müdür

Fen Bilimleri Enstitüsü

Hazırlanan bu Yüksek Lisans Tezi Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Başkanlığı (ÇOMÜ-BAP) tarafından 2012/011 no’lu projeden desteklenmiştir.

İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

N. Şebnem KARAHAN

TEŞEKKÜR

“Beton Kalitesinin Farklı Jeofizik Yöntemlerle İncelenmesi Ve Mevcut Beton Sınıflandırmaları İle Karşılaştırılması” isimli bu yüksek lisans tez çalışmasında, tez konusunun belirlenmesinden itibaren beni yönlendiren, araştırma ve çalışmalarımın her aşamasında destek ve katkılarını esirgemeyen değerli danışmanım, hocam Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ’a çok teşekkür ederim.

Tezin başından itibaren yorum ve tecrübelerini benimle paylaşan, ayrıca laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Öğr. Gör. Ferruh ALTINSOY’a ve bina çalışmalarında ve yorumlanmasında yardımlarını esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Cahit Çağlar YALÇINER’e çok teşekkür ederim.

Tez çalışmam esnasında deneyler için Çanakkale Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Yapı Malzemeleri Laboratuvarı ve Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümü Yer ve Yapı Jeofiziği Laboratuvarını kullanmam esnasında yardım ve imkanlarını esirgemeyen Yüksekokul Müdürlüğü’ne ve Bölüm Başkanlığı’na çok teşekkür ederim.

Bina üzerinde çalışmalarım esnasında yardımlarını esirgemeyen laboratuvar çalışanı İnş. Tek. Halil İbrahim GÜNEY’e ve İnşaat Teknolojileri bölümü öğrencilerine, Jeofizik Bölümü öğrencileri Yunus Can KURBAN ve İkbal TOPÇU başta olmak üzere bitirme ödevleri sırasında katkıda bulunan öğrencilere çok teşekkür ederim.

Çalışmalarım sırasında beni sabırla destekleyen eşime ve kızıma çok teşekkür ederim.

N. Şebnem KARAHAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

R	Geri tepme değeri
V	Ultrases geçiş hızı
t	Zaman
C / BS	Beton sınıfı
TS	Türk Standardı
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
UPV	Ultrasonic Pulse Velocity, Ultrases geçiş hızı
kHz	Kilo Hertz
GHz	Giga Hertz
MPa	Mega Pascal
μs	Mikro saniye
s	saniye
PÇ	Portland çimentosu
R ²	Regrasyon katsayısı
YR	Yapı radarı
IP	İndüksiyon Polarizasyon
WPDY	Windsor Probe deney yöntemi
RFY	Rezonans frekansı yöntemi
UHY	Ultrases hız yöntemi
EN	European Norm, Avrupa Normu
<i>f</i>	Basınç dayanımı
ASTM	American Society for Testing and Materials, Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
BSI	British Standards Institution, İngiliz Standartları Enstitüsü
ISO	International Organization for Standardization, Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
CEN	Comite Europeen De Normalisation, Avrupa Standardizasyon Birliği
IAEA	International Atomic Energy Agency, Uluslar arası Atomik Enerji Ajansı

ÖZET

BETON KALİTESİNİN FARKLI JEOFİZİK YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ VE MEVCUT BETON SINIFLANDIRMALARI İLE KARŞILAŞTIRILMASI

N. Şebnem KARAHAN

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

24/01/2013, 121

Beton kalitesinin denetlenmesi için numunelerin beton basınç deney düzeneğinde kırılarak basınç dayanımının bulunması yöntemi standart yöntem olarak uygulanır. Ancak bu yöntem hem zor, zaman alıcı hem de maliyeti fazla olan bir yöntemdir. Dolayısıyla daha çabuk ve maliyeti daha az olan tahribatsız yöntemlerin kullanılmasının gerekliliğinden yola çıkarak bu tez çalışması yapılmıştır.

Tezde iki aşamalı bir uygulama yapılmıştır. İlk aşamada, laboratuvar ortamında beş farklı kalitede beton numunesi hazırlanmıştır. Numuneler üzerinde ultrases geçiş hızları bulunmuş, yüzey sertliği deneyi uygulanarak Schmidt çekici değeri elde edilmiş ve sonunda beton basınç deney düzeneğinde kırılarak basınç dayanım değerleri elde edilmiştir. İkinci aşamada ise donatılı beton üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Bu amaçla mevcut bir binada çeşitli taşıyıcı elemanlar üzerinde ultrases geçiş hızları ve Schmidt çekici değerleri belirlenmiştir. Bazı elemanlardan da karotlar alınmış ve bu karotlar beton basınç deney düzeneğinde kırılmıştır. Ancak karot almadan önce yüksek frekanslı radar (yapı radarı) ile taşıyıcı elemanlarda görüntüleme yapılmış böylece beton içerisinde bulunan donatıların yerleri tespit edilmiştir.

Bu çalışmadaki amaç, tahribatsız yöntemlerden olan ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici yöntemleri ile bulunan değerlerin, standart yöntemle bulunan değerler ile karşılaştırılmasıdır. Ayrıca beton kalitesini tahribatsız yöntemlerle belirleyebilmek için bir bağlantı çıkartılmasıdır.

Çalışmanın sonunda da tahribatsız yöntemler ile tahribatlı yöntemler karşılaştırılmıştır. Ayrıca tahribatsız yöntemlerle ayırık ve birleşik yöntemlerin kullanıldığı bağıntılar elde edilmiş ve bu bağıntılarla kalite değerlendirilmesi yapılmıştır.

Anahtar Sözcükler: Tahribatsız Yöntemler, Basınç Deneyi, Ultrases Geçiş Hızı, Schmidt Çekici, Beton Kalitesi, Yapı Radarı

SUMMARY

INVESTIGATION OF CONCRETE QUALITY BY GEOPHYSICAL METHODS AND COMPARISON WITH KNOWN CONCRETE DESIGNATIONS

N. Şebnem KARAHAN

Çanakkale Onsekiz Mart University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geophysical Engineering
Master Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Aydın BÜYÜKSARAÇ

24/01/2013, 121

For detection of the concrete quality finding the pressure strength by breaking the samples is used as standart method. But this method is hard, slow and expensive. So, based on the necessity of non-destructive test (NDT) methods which are faster and economical, this thesis has been studied.

In this study, there are two different applications. In the first step, five groups of concrete cube samples were prepared in different quality at the laboratuary. Ultrasonic velocity, Schmidt rebound hammer using hardness of the surface and to find pressure strength sample breaking tests were applied to cube concrete samples. In the second step, the same DT and NDT methods were used on some structure elements of abuilding to examine the armed concrete. From some elements the core samples were taken (Destructive test –DT methods), and they were broken to find the strength. Before taking the core samples, the elements were scanned by using high-frequency radar (concrete radar) to determine the places of the steel bars in the concrete.

The scope of this thesis is, to compare the values determined by using NDT methods such as ultrasonic pulce velocity, Schmidt rebound hammer and DT methods such as breaking the samples on the press test machine and to evaluate a formula for determination of concrete quality by using NDT methods.

At the end of study, NDT and DT methods were compared. The formulas could be obtained separately by NDT methods and combined methods. The evaluation of quality was made by that new formulas.

Key Words: Non-Destructive Test Methods (NDT), Destructive Test Methods, Ultrasound Pulse Velocity, Schmidt Rebound Hammer, Concrete Quality, Building Radar

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
YÜKSEK LİSANS TEZİ SINAV SONUÇ FORMU.....	ii
İNTİHAL (AŞIRMA) BEYAN SAYFASI	iii
TEŞEKKÜR	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	v
ÖZET.....	vi
SUMMARY.....	viii
BÖLÜM 1 – GİRİŞ	1
BÖLÜM 2 – ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	4
BÖLÜM 3 – BETON KALİTESİNİN BELİRLENMESİ	9
3.1. Beton Kalitesinin Belirlenmesinin Önemi	10
3.2. Beton Kalitesinin Yerinde Belirlenmesinin Önemi ve İhtiyacı	12
3.3. Beton Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler	13
3.3.1. Tahribatlı Yöntemler	15
3.3.1.1. Standart Deney Yöntemi	15
3.3.1.2. Beton Karot Deneyleri	18
3.3.2. Tahribatsız Yöntemler	22
3.3.2.1. Rezonans Frekans Yöntemi	25
3.3.2.2. Windsor Probe Deney Yöntemi	25
3.3.2.3. Pull-Out Deney Yöntemi	26
3.3.2.4. Break-Off Deney Yöntemi	26
3.3.2.5. Pull-Off Deney Yöntemi	27
3.3.2.6. Pin Penetrasyon Deney Yöntemi	27
3.3.2.7. Ultrases Hız Deney Yöntemi	27
3.3.2.7.1. Deneyin Amacı	28
3.3.2.7.2. Deneyin Yapılışı	29
3.3.2.8. Schmidt Çekici Yöntemi	31
3.3.2.8.1. Deneyin Yapılışı	32
3.3.2.9. Birleşik Yöntem	33
BÖLÜM 4 – MATERYAL VE YÖNTEM	35
4.1. Model Beton Tasarımı	35
4.1.1. Agrega	35
4.1.2. Çimento	40

4.1.3. Karışım Suyu	41
4.1.4. Tasarlanan Betonların Karıştırılması ve Numunelerin Hazırlanması.....	41
4.2. Küp Model Betonlar Üzerinde Yapılan Ölçümler	44
4.2.1. Kullanılan Cihazlar	44
4.2.1.1. Ultrases Test Cihazı	44
4.2.1.2. Schmidt Çekici	45
4.2.1.3. Beton Basınç Deney Düzeneği	46
4.2.2. Yapılan Ölçümler	47
4.2.2.1. Ultrases Geçiş Hızlarının Ölçülmesi	47
4.2.2.2. Betonun Yüzey Sertliğinin Belirlenmesi	48
4.2.2.3. Küp Beton Modellerin Basınç Deney Cihazı İle Kırılması	49
4.3. Mevcut Bir Bina Üzerinde Yerinde Yapılan Ölçümler	49
4.3.1. Kullanılan Cihazlar	51
4.3.1.1. Karotiyer	51
4.3.1.2. Yapı Radarı (YR)	52
4.3.1.3. Ultrases Test Cihazı	52
4.3.2. Yapılan Ölçümler	52
4.3.2.1. Ultrases Geçiş Hızlarının Ölçülmesi	52
4.3.2.2. Betonun Yüzey Sertliğinin Belirlenmesi	53
4.3.2.3. Yapı Radarı (YR) İle Taşıyıcı Elemanların Donatılarının Görüntülenmesi...	54
4.3.2.4. Karotların Alınması	56
4.3.2.5. Karotlar Üzerinde Yapılan Deneyler	57
BÖLÜM 5 – ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	59
5.1. Farklı Yöntemlerle Beton Kalitesinin Belirlenmesi	59
5.1.1. Küp Beton Modeller Üzerinde Yapılan İncelemeler	59
5.1.2. Mevcut Bina Üzerinde Yerinde Yapılan Donatılı Beton İncelemesi	78
BÖLÜM 6 – SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	108
KAYNAKLAR.....	119
ÇİZELGELER.....	I
ŞEKİLLER.....	IV
ÖZGEÇMİŞ.....	VIII

BÖLÜM 1**GİRİŞ**

Ülkemiz, dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birisi olan Alp-Himalaya deprem kuşağı üzerinde yer almaktadır. Bu durum ülke genelinde çok ciddi bir deprem tehlikesinin varlığını ortaya koymaktadır. Bu gerçeğe yüz yüze olan yerleşim yerleri, kent ölçeğinde planlamadan, arsa ölçeğindeki yapılaşmaya kadar gerekli önlemlerle tasarlanmalıdır. Deprem zararlarının azaltılması kavramı çerçevesinde yapıların depreme dayanıklı hale getirilmesi, varolan yapıların kontrollerinin gerçekleştirilerek gerekli iyileştirmelerin yapılması, bu çerçevede yapılacak en önemli çalışmalar içerisinde yer almaktadır.

Ülkemizde yapılan çok büyük bir kısmı betonarme olarak yapılmaktadır. Burada kullanılan malzemeler arasında çelik donatının kalitesinin değişkenlik riski betona göre daha azdır. Beton homojen bir malzeme olmadığından kalitesindeki değişkenlik riski çok daha fazladır. Günümüzde inşaatlarda artık otomatik tartım usulü beton imalatı, 2000 yılında yürürlüğe giren TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları standardı ile zorunlu hale gelmiştir. Böylece betonların standart bir kalitede üretilebilmesine olanak sağlanmıştır.

Beton, agregada adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelen, heterojen yapı malzemesidir. Betondan beklenen en önemli özellik genellikle basınç dayanımıdır (Doğangün, 2010). Beton basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında bir ilişki bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilebilmektedir (Erdoğan, 2004).

Son yıllarda yürürlüğe giren yönetmelikler gereği yapılarda kullanılan betonların kalitelerinin denetlenmesi zorunlu hale gelmiştir. Kalite kontrol denetiminin ana amacı, üretimin başlangıçta yapılan proje kabullerine uygunluğunu ve ekonomik koşullarda gerçekleşmesini sağlamaktır. Betonun projede belirtilen sınıf dayanımıyla, üretim sonrası dayanım ortalaması arasında yönetmeliklerce saptanan durumun gerçekleşmesi gerekir. Bu konu, yapı güvenliği açısından şarttır. Diğer taraftan bu sonuca ekonomik koşullarla ulaşılmalıdır. Ekonomik koşullarla yapısal güvenliğe ulaşılması için tek araç, kalite kontrol denetimidir (Aydın, 2005; Erdal, 2002; Şimşek, 2009).

Beton basınç dayanımını belirlemek için kullanılan standart deney yöntemi, beton taze halde iken, inşaatta döküm esnasında belirli ölçülerdeki küp veya silindir kalıplara yerleştirilerek alınan numuneler üzerinde uygulanan deneydir. Laboratuvar ortamında kürü

yapılan numuneler 7 ve 28 gün sonrasında beton basınç deney cihazında kırılır ve 28 gün sonunda kırılma sonucu elde edilen değer ile basınç dayanımı elde edilmiş olur. Bu yöntem ile betonun yerinde/yapıdaki basınç dayanımına ulaşmak mümkün değildir. Ancak bazı hallerde betonun mekanik özelliklerinin yerinde belirlenmesi de gerekmektedir. Örneğin, beton döküm esnasında sıkıştırma ve yerleştirme esnasında gerekli özenin gösterilmemesi betonun döküldükten sonraki özelliklerinin zaman içerisinde standartlarda kabul edilen basınç değerlerinden daha farklı daha düşük bir değere ulaşmasına neden olmaktadır. Öte yandan yapıda veya yapı elemanlarında kullanılan betona ilişkin taze beton standart deney sonuçlarının olmayışı ya da var olan sonuçların yetersiz oluşu veya kullanılan betonun dayanımında bir kuşkunun ortaya çıkması durumunda da betonun yerinde dayanımının belirlenmesi gerekir (Başka, 2006). Diğer taraftan eğilmeye çalışan kirişler veya ön gerilmeli elemanlar standart numuneye benzer gelişim göstermezler. Bu nedenle, betonun yerinde istenen zamandaki gerçek dayanımını belirleme testleri gereklidir (Şimşek, 2009).

Beton kalitesinin yerinde belirlenmesindeki standart yöntem, beton yapı elemanlarından silindir biçiminde numuneler alınarak, bunların üzerinde deney yapılmasıdır. Farklı çaplarda alınan numuneler, beton basınç deney cihazında kırılır ve bulunan değer beton dayanımı olarak kabul edilir. Ancak bu yöntemin bazı dezavantajları bulunmaktadır. Betonlardan karot alma işlemi, diğer basınç dayanımı belirleme deneylerine göre çok maliyetli olmasının yanı sıra, karot alınırken taşıyıcı elemanlarda oluşan boşlukların elemanlarının taşıma kapasitesini azaltması nedeniyle özenle gerçekleştirilmesi gereken bir mühendislik işlemidir (Arioğlu ve Arioğlu, 2005). Karot alırken, beton bloktaki donatının kesilmemesine ve karotun içerisinde donatı parçasının bulunmamasına özen gösterilmelidir. Karot alma işlemi, yeterince sertleşmiş durumdaki betonlara uygulanmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2006).

Beton kalitesinin yerinde belirlenebilmesi için son yıllarda çeşitli tahribatsız yöntemler geliştirilmiştir. Tahribatsız deney yöntemleri, yapıların gerek yapım kusurlarını gerekse geometrik ve kompozisyon özelliklerini, yapı elemanlarına zarar vermeden araştırma işlemi olarak tanımlanabilir (Yüksel, 1995). Tahribatsız yöntemle beton basınç dayanımı yapı elemanına zarar vermeden belirlenir. Ayrıca tahribatsız yöntemler, kalıp alma, kür işlemine son verme, dikmelerin sökülmesi gibi inşaatın yapım süresini hızlandıran işlemler olması yanı sıra güvenlik içinde yapılmasında pratik olarak çözüme ulaştırmak için kolay deney yöntemleridir. Yerinde tahribatsız deney yöntemleri ile yatırım süresi kısaltılarak ekonomik kazanç ve zaman tasarrufu sağlanabilir (Şimşek, 2011).

Tahribatsız deneylerle, hem yapım aşamasında istenen zamanda, hem de önceden yapılmış bir yapının belirli bir tahribat ya da afet (deprem, yangın vb) sonucunda betonun yerindeki dayanımını kontrol etme olanağı vardır (Şimşek, 2009). Tahribatsız deney yöntemleri değişik şekil ve boyutlardaki betonlar üzerinde uygulanabilmektedir. Bu yöntemlerin uygulanması daha basit ve çabuktur. Ayrıca hasar vermeden deneyler gerçekleştirildiğinden çok sayıda yapı elemanına uygulanabilir (Erdoğan ve Erdoğan, 2006).

Afet riski altındaki alanların dönüştürülmesi hakkında kanunun da yürürlüğe girmesiyle beton kalitesinin yerinde belirlenmesi ihtiyacı gittikçe artmıştır. Özellikle deprem sonrası hasar gören yapıların daha çabuk ve daha az maliyet ile incelenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Standart karot alma yöntemiyle yapılara zarar verildiğinden kısıtlı sayıda numune alınabilmekte ve sadece karotun alındığı yerler hakkında fikir edinilebilmektedir. Oysa tahribatsız yöntemler ile istenilirse yapının tamamı hakkında bilgi toplanabilmektedir. Bu amaçla yapılan çalışmalar, tarama mantığı ve düzeneği ile yapıldığından elde edilen veriler, noktasal değil alansal ve karşılaştırmalar çok daha hassas hale gelebilmektedir.

Bu çalışmada laboratuvar ortamında hazırlanan farklı kalitelere sahip betonlar $150 \times 150 \times 150$ mm boyutundaki küp kalıplara dökülmüş ve model beton numuneler elde edilmiştir. Standartlara uygun olarak küre tabii tutulan numuneler üzerinde 28 ve 90 günün sonunda çeşitli deneyler yapılmıştır. Tahribatsız yöntemler arasında en fazla tercih edilen yüzey sertliği deneyi Schmidt çekici kullanılarak ve ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi de ultrases test cihazı kullanılarak yapılmıştır. Aynı numuneler daha sonra beton basınç deney cihazında kırılmış ve basınç dayanımı elde edilmiştir. Hazırlanan beton numunelerin yanı sıra mevcut bir binada çeşitli yapı elemanları üzerinde de deneyler gerçekleştirilmiştir. Düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde Schmidt çekiciyle değerler alınmış ayrıca ultrases geçiş hızları da belirlenmiştir. Aynı elemanlar üzerinde önce yapı radarı (YR) ile görüntüleme yapılmış ve çelik donatıların yerleri hakkında bilgi edinilmiştir. Donatı sıklığından dolayı karot alınamamıştır. Yatay taşıyıcı elemanlar üzerinde de benzer çalışmalar gerçekleştirilmiş ve yaklaşık 10 cm çapında 20 cm yüksekliğinde silindirik numuneler alınabilmektedir. Numunelerin beton basınç deney cihazında kırılmasıyla basınç dayanımı elde edilmiş ve yapının beton kalitesi hakkında fikir edinilmiştir.

Elde edilen tüm veriler yardımıyla beton basınç dayanımı ile tahribatsız yöntemlerle elde edilen değerler arasında çeşitli grafikler çizilerek bir ilişki aranmıştır. Böylece beton kalitesinin belirlenmesinde kullanılabilecek bir bağıntı bulunmasına çalışılmıştır.

BÖLÜM 2

ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Altundaş (2010), çalışmasında, 5 adet prizma ve 5 adet silindir olmak üzere toplam 10 adet numune, bazıları çelik parça donatılı bazıları da sünger donatılı, yapılarak üzerlerinde farklı testler uygulanmıştır. Böylece yapılar üzerinde yapılan tahribatsız deney yöntemlerinden; elektrik özdirenç, IP ve ultrases yöntemleri denenerek beton numunelerin yapıları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Hazırlanan numuneler basınç, çekme ve eğilme deneylerine tabi tutularak sonuçlar yorumlanmıştır.

Yapılan tüm numuneler üzerinde farklı dizilimlerle hem elektrik özdirenç yöntemi hem de IP yöntemi uygulanmıştır. Ancak hem donatılı ve donatısız numunelerde hem de prizmatik numuneler ile silindirik numunelerde, modeller içerisindeki değişimler ve çeşitli etkiler farklı dizilimler ile belirlenebilmiştir. Bazı modellerde numune içerisinde bulunan değişimler Wenner dizilimi ile daha iyi gözlemlenebilmekteyken, bazılarında dipol-dipol dizilimi ile belirlenebilmiştir.

Çalışma sonucunda, kullanılan farklı dizilimlerden en uygun olanları Wenner ve dipol-dipol dizilimleri olarak ortaya çıkmıştır. Ancak daha net sonuçlar elde edilebilmesi için farklı beton türleri üzerinde diğer farklı dizilimler ile benzer çalışmaların yapılmasının da gerekliliği belirtilmiştir.

Aydın (2005), deprem görmüş binaların beton kalitelerinin tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle belirlenmesini amaçlamıştır. Bunun için önce tahribatsız yöntemler içerisinde en çok tercih edilen Schmidt ve Ultrases yöntemlerinde kullanılan cihazların mevcut malzeme ve şartlara göre kalibre edebilmek için deneysel çalışmalar yapılmıştır. Laboratuvarında hazırlanan beton küp numuneler ile mevcut binalardan alınan karot örnekleri kullanılmıştır. Schmidt çekici ve Ultrases cihazı tahribatlı yöntemlerle kalibre edilmiş ve bölgede bulunan 1999 Marmara depremini görmüş, ayakta kalmış binaların beton kaliteleri incelenmiştir. Beton kaliteleri incelenen deprem görmüş fakat ayakta kalmış binaların beton sınıfları ile önceki yıllarda aynı bölgede yıkılan binaların betonları üzerinde yapılan araştırma sonuçları ile karşılaştırma yapılmıştır.

Karşılaştırmalar sonucunda ayakta kalan binalar lehine beton kalitesinde büyük farklar ortaya çıkmıştır. Ayrıca, Schmidt, Ultrases ve Birleşik yöntem gibi tahribatsız deney yöntemlerinin çeşitli ön kalibrasyon çalışmaları yapılarak, yapıların beton kalitelerinin belirlenmesinde kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Yüksel (1995), bir yapıda beton dayanımının tahribatsız yöntemlerle tahmin edilmesine çalışmıştır. Bunun için, Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızında oluşan birleşik yıkıntısız yöntem kullanılmış ve yöntem üç aşama ile gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın birinci aşamasında, kullanılacak aletlerin yerel koşullarına göre kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Laboratuvar ortamında hazırlanan farklı basınç dayanım değerlerinde küp numunelerin geri tepme sayıları N tipi Schmidt çekici ile ultrases geçiş hızları da 54 kHz frekanslı ultrases geçiş hızı ölçüm aleti ile ölçülmüştür. Daha sonra küp numunelerin basınç dayanımları ise hidrolik bir pres yardımı ile belirlenmiştir. İkinci aşamada ise mevcut bir yapı üzerinde seçilen kolon ve perde duvarlara ultrases geçiş hızı+geri tepme indeksinin birlikte kullanıldığı birleşik yıkıntısız yöntem uygulanmıştır. Betonun yerinde gerçek dayanımının tespiti ve tahribatsız yöntemler ile kıyaslamak üzere aynı elemanlardan karotlar alınmıştır. Üçüncü aşamada ise, özel olarak üretilmiş dayanım denklemi ile birleşik yıkıntısız deney sonuçlarından yapıdaki beton dayanımı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bununla birlikte başka araştırmacıların türettikleri kalibrasyon denklemleriyle de yapıdaki beton dayanımı hesaplanarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, en çok tercih edilen yöntemlerden ultrases geçiş hızı ve geri tepme indeksinin birlikte kullanılması halinin ayırık durumda kullanılmasında ortaya çıkan sakıncaların ortadan kalktığı, tahribatsız beton deneyleri ile beton dayanımının daha doğru ölçülebilmesi için deneylerde kullanılan cihazların yerel yapım koşullarına göre kalibre edilmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır.

Erdal (2002), yapılan çalışmada Amerika ve Avrupa ülkelerinde yaygın olarak kullanılan tahribatsız deney yöntemlerinden Windsor Probe Penetrasyon Testi (WPPT) ile betonun basınç dayanımının belirlenmesini amaçlamıştır. Ayrıca belirlenen basınç dayanım değerleri diğer bazı tahribatsız deney yöntemleri (Schmidt çekici ve birleşik yöntemler) ve karotlardan elde edilen basınç dayanım değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bunun için üç farklı şartta hazırlanan aynı boyutlardaki C 20 test numuneleri WPPT, geleneksel ve diğer tahribatsız yöntemlerle teste tabi tutulmuştur.

Sonuç olarak, karotların preste kırılmasıyla elde edilen basınç dayanımlarını, WPPT ortalama % 2,5 yaklaşıklıkla belirlemiştir. Bu yaklaşıklık Schmidt çekicinde % 5,4 ve bileşik yöntemde ise % 3,5 olarak belirlenmiştir.

Küçük (2006), doğrudan, doğrudan olmayan ve yarı doğrudan UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) ölçümlerinin karşılaştırılabilmesi için, küp basınç dayanımları 18,8 ile 79,9 MPa arasında değişen, farklı karışımlarda, boyutları 30 × 30 × 25 cm olan toplam 30 beton blok üzerinde deneysel bir inceleme yapılmıştır. İstatistiksel analizler kullanılarak

doğrudan UPV, beton döküm yönünde ve beton döküm yönüne dik doğrultuda doğrudan olmayan UPV ve yarı doğrudan UPV ölçümleri arasında ilişki kurulmuştur.

İstatistiksel analizler sonucunda, ortalama doğrudan UPV değerlerinin beton döküm yönündeki doğrudan olmayan UPV'den % 9, yatay yöndeki doğrudan olmayan UPV'den % 4 ve yarı doğrudan UPV'den % 4 kadar daha büyük olduğu görülmüştür. Yatay yönde doğrudan olmayan UPV değerinin, döküm yönündeki değerden % 5 daha büyük olduğu saptanmıştır.

Sonuç olarak, elde edilen regresyon denklemleriyle doğrudan olmayan veya yarı doğrudan UPV'yi, doğrudan UPV'ye dönüştürerek, Schmidt çekiç sayısı ve doğrudan UPV değerleri ile regresyon modellerinden herhangi birisinin betonun basınç dayanımının bulunmasında kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.

Qaswari (2000), beton basınç dayanımının basit ve güvenilir bir biçimde tahmin edilmesinde kullanılan tahribatsız birleşik yöntem ile ilgili olarak yaptığı çalışmada, genelde iyi bilinen geri tepmeli çekiç ve ultrases hızı testini birlikte kullanmıştır. % 95'lik tahmin aralığını gösteren grafiklerle beton basınç dayanımını basit ve güvenilir bir şekilde tahmin edilebildiğini göstermektedir. Diğer çalışmaların yanı sıra çalışmada, beton bileşenleri hakkında bilgi sahibi olunmasına gerek duyulmadan basit bir grafik hazırlamıştır. Mevcut yapılarda yapılan çalışmalarla ve alınan örneklerle kıyaslamalar yapıp çalışmasını sonuçlandırmıştır.

Turgut (2004), çalışmada farklı yaşlarda ve karışım oranları bilinmeyen farklı donatılı betonlardan alınan karotlardan elde edilen verilerle beton dayanımı ile UPV arasındaki ilişkiyi belirlenmeye çalışmıştır. Ayrıca, değişik karışım oranları ile hazırlanmış beton numuneleri üzerinde önceden yapılan laboratuvar araştırmalarında elde edilen veriler ve beton dayanımı-UPV arasındaki ilişkiyi bulmak için ilişki kurulmuştur. Bunu için en uygun formül elde edilmiştir. Bu nedenle, bu çalışma ile karışım oranlarını dikkate almadan genel beton dayanımı-UPV ilişkisi formülü geliştirilmiştir. Bu formül, karışım oranları bilinmeyen mevcut binaların beton dayanımlarını pratik olarak bulunmasını sağlar. Formül aynı zamanda, incelenmesi gereken mevcut binaların sayısının çokluğu durumunda veya zamanın sınırlı olması durumunda kullanılabilmektedir.

Güner ve ark. (2000), çalışmalarında betonun yapıdaki dayanımının, kolaylıkla bulunabilme, kullanım pratikliği, sıkça tekrarlanabilme ve ekonomik özellikleri ile ön plana çıkan yıkıntısız yöntemler (Yüzey sertlik ve ultrases hız ölçümleri) ile belirlenmesine yönelik olarak Karadeniz Teknik Üniversitesi Rize Meslek Yüksekokulu Laboratuvarlarında 16 adet BS 16 ve 17 adet BS 22,5 kalitesinde toplam 33 adet 150 mm'lik küp numune ve

toplam 18 adet 200 mm'lik küp numune üretilmiştir. Üretilen normal dayanımlı betonlar üzerinde bir seri deneysel çalışma gerçekleştirilmiş ve sonuçlar istatistik matematiği ile değerlendirilmiştir. Ayrıca, çalışmada çıkartılan bağıntıların pratik uygulanabilirliğini daha da arttırabilmek için sayısal bir uygulama yapılmıştır.

Çalışmanın sonucunda; BS 22,5 kalitesindeki betonlarda 150 mm'lik küp numune-basınç dayanım kazanımı-kür süresi ilintisi en düşük Toplam Mutlak Hata (IAE) değeri %3,79 olan $f_b = \frac{At}{B+t}$ modundaki hiperbolik bağıntı ile elde edilmiştir, Yüzey sertliği, ultrases hızı ve basınç dayanımı-150mm küp- arasında en yüksek ilişki katsayısı (r) $f_b = A.(R^3V^4)^B$ modunda belirlenmiştir, yüzey sertlik ölçümlerinden yararlanarak ultrases hız değerlerinin kestirimi için uygulanan regresyon analizinde en yüksek ilişki, $V = A.R^B$ bağıntısı ile elde edilmiştir.

İnan ve ark. (2003), çalışmalarında ilk olarak 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara depreminde yıkık ve çok ağır hasar düzeyinde etkilenen 4 adet betonarme binadan alınan molozlar üzerinde gerçekleştirilen fiziksel deneylerden elde edilen büyüklükler (birim ağırlık, su emme, kılcallık katsayısı, ses hızı) rapor edilmektedir. Bu büyüklükler arasında çıkartılan istatistiksel ilişkiler verilmekte ve ölçülen fiziksel büyüklüklerden hareketle “beton kalitesine” yönelik sayısal değerlendirmeler yapılmaktadır.

Hola ve Schabowicz (2010)'in çalışmalarında, binaların taşıyıcı sistemlerinin tanımlanmasında kullanılan tahribatsız yöntemler incelenmekte ve uygulama örnekleri verilmektedir. Son yıllardaki hızla gelişmelerinden dolayı akustik yöntemlere üzerinde daha çok durulmuştur. Ayrıca taşıyıcı elemanların testinde, karmaşık veriler ve algoritmanın analiz edilerek düzgün bir yazılımla işlenmesiyle elde edilmiş akustik sinyaller ile bilgi toplanması son dönemlerde çok tercih edilen bir yöntem olmuştur. Özellikle beton ve betonarme elemanların dayanımdan başka özelliklerinin de değerlendirilmesinde, tahribatsız yöntemlerin kullanılması tercih edilmeye başlanmıştır.

Bu çalışma, yüzeylerde görülmeye hasarların tespiti, çatlak derinliklerinin belirlenmesi, tem yönden ulaşarak özellikle betonarme elemanların boyutlarının 2D ve 3D olarak görüntülenmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Son olarak da gelecekte bu alandaki gelişmelerin yönü ortaya konmaya çalışılmıştır.

Uyanık ve Tezcan (2012), çalışmalarında betonarme elemanların dayanımlarının tarihsel olarak bakıldığında daima laboratuvarda kırılması yolu ile bulunduğunu ancak V_p ultrases dalga yayılma hızının tahribat yapmadan ölçerek de betonun karakteristik basınç

dayanımının güvenilir bir hassasiyetle bulunabileceğinin mümkün olduğunu belirtmişlerdir. Bu çalışma özellikle, inşaatı bitmiş beton elemanlarının dayanımlarının yerinde yapılan ultrases ölçümleri ile tayin edilmesinin hasar vermeyen bir yöntem olduğunu, çok büyük bir ekonomik ve çabukluk avantajı sağladığını belirtmiştir.

Çalışmada kireçtaşı ve mermerin tek eksenli basınç dayanımı ile V_p boyuna dalga hızları arasında ilişki bulunduğu üzerinde durulmuş, benzer şekilde karışık zemin çeşitleri için de çeşitli ilişkiler olduğuna değinilmiştir. Benzer şekilde betonda da bunun gibi bir ilişki olduğunu göstermek amaçlı, bazıları $150 \times 150 \times 150$ mm küp, bazıları $200 \times 200 \times 200$ mm küp boyutunda ve bazıları ise $L=140$ mm boyutunda $\varnothing 100$ mm çapında silindirik karotlar üzerinde deneyler yapılmıştır. Çalışma sonucunda önerilen deneysel formül ultrases hızı 4,8 km/s olan betonların kalitesini Avrupa Standardı EN 13791'e benzer tarzda 43,3 MPa olarak verdiği, ancak bu uyuşumun diğer ultrases hızları için geçerli olmadığı belirtilmiştir.

BÖLÜM 3

BETON KALİTESİNİN BELİRLENMESİ

Beton, agregası adı verilen kum, çakıl, mıcır gibi taneli malzemenin, onları yapıştıran çimento ve su ile karıştırılması sonucu meydana gelen, en önemli yapı malzemesidir. Betondan beklenen üç ana nitelik vardır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Betonlarda olması beklenen nitelikler

Taze betonlar için	a) İşlenebilir olmalı
Sertleşmiş betonlar için	b) Beton taşıyıcı bir malzeme olduğundan projede öngörülen dayanımı güvenle sağlamalıdır
	c) Dış etkenlere dayanıklı olmalıdır. Çünkü hava, su veya kimyasal çevrenin etkisiyle, don-çözülme, ıslanma kuruma gibi fiziksel etkiler ve hatta beton içyapısında agregası ve çimento arasında oluşabilecek reaksiyonlar sonucu beton niteliklerini kaybedebilir, örneğin dayanımı azalır, geçirimsizliği artar ve parçalanabilir (Akman, 1990).

Betonun mekanik mukavemetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Betonun çekmeye karşı mukavemetinin zayıf olmasından dolayı betonarme sistemi ortaya atılmıştır. Bu yapı sisteminde meydana gelen çekme gerilmeleri çelik donatılar tarafından alınmaktadır (Postacıoğlu, 1987).

Günümüzde betonarme binaların taşıyıcı sistemlerinin malzemeleri hakkında bilgi edinebilmek amacıyla kullanılan birçok yöntem vardır. Bu yöntemler ile betonarme binalarda kullanılan beton ve çelik malzemelerin kaliteleri, çelik donatının korozyona uğrayıp uğramadığı, taşıyıcı elemanın içerisindeki yeri ve miktarı, betonda oluşan çatlak ve boşlukların yerleri belirlenebilir. Teknolojinin de gelişmesi ile kullanılan cihazlarda hata paylarının düşmesiyle de yapılar hakkında bilgi edinmek için gereken veriler çok daha kolay ve doğru olarak elde edilebilmektedir.

Binaların taşıyıcı sistemleri hakkında bilgi edinebilmek ve tanı koyabilmek için kullanılan yöntemler tahribatlı, yarı-tahribatlı ve tahribatsız olarak ayrılmıştır. Tahribatlı yöntemler hem hazırlanan numuneler üzerinde hem de mevcut bir bina üzerinde uygulanırken, hasar verdiği için mutlaka test sonrasında onarım gerekmektedir. Bundan

dolayı da ancak sınırlı sayıda yapı elemanı üzerinde uygulanabilir. Yarı-tahribatlı yöntemler de hem numune hem de mevcut yapı elemanları üzerinde uygulanabilir ve bir miktar hasar verir. Ancak tahribatsız yöntemlerde herhangi bir hasar verilmediğinden mevcut yapılar üzerinde rahatlıkla uygulanabilmektedir. Hasar vermediği için istenen sayıda yapı elemanı üzerinde tekrarlı olarak uygulanabilmektedir (Holla ve Schabowicz, 2010).

3.1. Beton Kalitesinin Belirlenmesinin Önemi

Beton taze halde iken ayrışmadan ve boşluğu en az olacak şekilde sıkışıp yerleşebilmeli ve sertleştikten sonra, ömrü boyunca karşılaşacağı çeşitli fiziksel ve kimyasal etkilere karşı yeterli dayanıklılığa sahip olmalıdır. Beton, değişik dış ve iç etkilere maruz kalır. Gerek maruz kaldığı dış etkiler altında (mekanik, fiziksel ve kimyasal), gerekse kendi içyapısında zaman içerisinde meydana gelecek değişikliklerden dolayı yapacağı şekil değiştirmelerin belirli değerleri aşmaması istenilen özelliklerdir (Şimşek, 2009).

Beton, yapılarda çeşitli zorlamaların etkisi altında bulunmaktadır. Bu zorlamaların türüne göre betonun yeterli dayanım özelliklerine sahip olması gereklidir. Bu özellikler birbirinden bağımsız olmayıp bunlar arasında yakın ilişkiler vardır (Postacıoğlu, 1987).

Betondan beklenen en önemli özellik genellikle basınç dayanımıdır. Betonun dayanımı terimi, basınç, çekme ve kesme (kayma) gerilmesini oluşturan tüm dış etkilere karşı beton dayanımlarını kapsamaktadır. Bu dayanımlar değer olarak büyükten küçüğe doğru basınç, kesme ve çekme dayanımı şeklinde sıralanabilir (Doğangün, 2010).

Betonun basınç dayanımı yüksek, çekme dayanımı ise çok düşüktür ve betonda klasik kesme kırılmasına pek ender rastlandığından, kayma dayanımı çok önemli değildir. Kayma dayanımı, çekme dayanımından yüksek olduğundan basit kayma durumunda bile kırılma, çekme dayanımının tükenmesi ile meydana gelir. Bundan dolayı basınç dayanımı üzerinde durulur. Beton zamanla dayanım kazanan bir malzemedir. İlk 7 günde çok hızlı olan dayanım kazanımı, yavaşlayarak devam eder. Bu nedenle standart dayanımın belirli bir beton yaşı ile ifade edilmesi zorunlu olmuştur. Betonun standart basınç dayanımı, suda bekletilmiş 28 günlük, çapı 150 mm, boyu 300 mm olan silindir numunelerin eksenel basınç altındaki dayanımı olarak kabul edilmiştir (Ersoy, 2002).

Karışım için aynı malzemeler kullanılmış olsa bile bir beton karışımından alınan her numunenin dayanımı eşit olmayabilir. Karışımından alınarak hazırlanan numunelerin dayanımlarına boyut, geometri ve yükleme hızları gibi parametreler etkili olmaktadır. Küp

numunelerin ya da silindir numunelerin dayanım değerlerinin farklı çıkmasının sebebi budur. Geometrinin yanı sıra numune boyutları ve yükleme hızı da dayanımı etkileyen diğer faktörlerdendir (Doğangün, 2010).

Ülkemizde ve diğer bazı ülkelerde silindir yerine zaman zaman küp numuneler de kullanılmaktadır. Ancak küp numuneler kullanıldığında geometri değiştiği için basınç dayanım değeri değişeceğinden bu parametre dikkate alınarak değerlendirme yapılmalıdır (Ersoy, 2002).

Betondaki değişik dayanım türleri arasında, mühendislik uygulamalarında en çok basınç dayanımının araştırılması kullanılmasının nedenleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (Erdoğan, 2004):

- o Basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri, çekme ve eğilme dayanımları gibi diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir.
- o Hemen hemen tüm yapıların tasarımında, betonun basınç dayanım değeri esas alınmaktadır. Birçok yapıda betonun önemli miktarda çekme eğilmesi ve yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri oldukları kabul edilerek hesap yapılmaktadır.
- o Beton basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında bir ilişki bulunmaktadır. O nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir elde edilebilmektedir.
- o Basınç dayanımının bilinmesi, betonun diğer özellikleri hakkında kalitatif bilgi sağlamaktadır. Örneğin, basınç dayanımının yüksek olması betondaki su geçirimsizliğinin az olduğunu ve dayanıklılığın yüksek olduğunu işaret etmektedir.

Betonlar projelendirmede belirli sınıflara bölünmüştür. Bu sınıflandırmalardaki esas, betonun belirli bir özelliğini diğer tüm özelliklerinin ölçütü varsaymak kavramına dayanmaktadır. Bu belirgin özellik beton basınç dayanımıdır (Başka, 2006). 2000 yılında yürürlüğe giren “Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları-TS 500” tarafından kabul edilen beton sınıfları ve olmaları gereken 28 günlük karakteristik silindir basınç dayanımları ve eşdeğer küp dayanımları Çizelge 3.2’de verilmiştir

Çizelge 3.2. Beton sınıfları ve dayanımları (TSE, 2000)

Beton Sınıfı	Karakteristik Basınç Dayanımı	Eşdeğer Küp (150 mm) Basınç Dayanımı
C16	16	20
C18	18	22
C20	20	25
C25	25	30
C30	30	37
C35	35	45
C40	40	50
C45	45	55
C50	50	60

Beton teknolojisi son yıllarda hazır beton sektörünün yaygınlaşması sonucunda büyük gelişmeler göstermiştir. Bu süreçte beton üretimi endüstriyel bir üretime dönüşmüş ve her endüstriyel üretim gibi denetim altında tutulması gerekmektedir. Denetim altında tutulması, başka bir ifadeyle betonun kalitesinin kontrol edilmesi demektir (Aydın, 2005; Erdal, 2002).

Kalite kontrol denetiminin ana amacı, üretimin başlangıçta yapılan proje kabullerine uygunluğunu ve ekonomik koşullarda gerçekleşmesini sağlamaktır. Betonun projede belirtilen sınıf dayanımıyla, üretim sonrası dayanım ortalaması arasında yönetmeliklerce saptanan durumun gerçekleşmesi gerekir. Bu konu, yapı güvenliği açısından şarttır. Diğer taraftan bu sonuca ekonomik koşullarla ulaşılmalıdır. Ekonomik koşullarla yapısal güvenliğe ulaşılması için tek araç, kalite kontrol denetimidir (Aydın, 2005; Erdal, 2002; Şimşek, 2009).

3.2. Beton Kalitesinin Yerinde Belirlenmesinin Önemi ve İhtiyacı

Günümüz inşaat mühendisliğinin önündeki en önemli araştırma konularından biri betonun mekanik özelliklerinin yerinde (in-situ) belirlenmesidir. Betonun döküldükten sonraki özelliklerinin zaman içinde nasıl değiştiğinin izlenmesi, uygulamada karşılaşılan beton dayanıklılığı ile ilgili sorunlarda en önemli bir bilgi alt yapısı sağlamaktadır. Bu bilgi sayesinde beton yapıların ileride karşılaşılabileceği hasarlara karşı önceden önlem alınabilir (Aydın, 2005).

Betonu oluşturan malzemelerin oranlarındaki muhtemel farklılıklar, betonun dökümü sırasında yerleştirme ve sıkıştırmada gösterilen özen, yapı bileşenlerinin boyutlarının standart deneyler için kullanılan numunelerden çok büyük olması, betona uygulanan kür koşullarının standartlarda kabul edilen değerlerden farklı olabilmesi gibi nedenlerle betonun yerinde/yapıda basınç dayanımının, standart deney yöntemleriyle belirlenmiş basınç dayanımından her zaman daha düşük değerde olmasına yol açmaktadır (Arioğlu ve Arioğlu, 2005). Bu nedenle yapıda kullanılan sertleşmiş betonun yerinde/yapıda basınç dayanımının belirlenmesi zorunlu olmaktadır. Öte yandan yapıda veya yapı elemanlarında kullanılan betona ilişkin taze beton standart deney sonuçlarının olmayışı ya da var olan sonuçların yetersiz oluşu veya kullanılan betonun dayanımında bir kuşkunun ortaya çıkması durumunda da betonun yerinde dayanımının belirlenmesi gerekir. Yapıdaki betonun basınç dayanımı gerçek basınç dayanımı olarak adlandırılmaktadır (Başka, 2006).

Yapılarda 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 (Yüksel, 1995).

3.3. Beton Kalitesinin Belirlenmesinde Kullanılan Yöntemler

Beton basınç dayanımını belirlemek için kullanılan geleneksel yöntem beton taze iken küp veya silindir numuneler alarak bu numuneleri belirli yaşlarda kırarak, bulunan kırılma kuvvetine göre beton basınç dayanımını tayin etme işlemine dayanır (Aydın, 2005).

Beton basınç dayanımının her zaman geleneksel yöntemlerle belirlenmesi mümkün olmayabilir. Örneğin eski binalarda incelemeler yapılıyorsa veya bir yapıda beton basınç dayanımında herhangi bir şüphe ortaya çıkmışsa sertleşmiş betonun basınç dayanımının araştırılması gerekli olabilir. Bu durumda kullanılan en yaygın yöntem sertleşmiş betondan karotlar alarak basınç altında kırmak veya tahribatsız deney yöntemleriyle basınç dayanımını belirlemektir (Aydın, 2005).

Yıllardan beri betonun yerinde mukavemetini tespit etmek için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunların amacı, üretim aşamasında beton kalitesinin denetimini sağlamak ve servis yükleri altında oluşabilecek bozuklukları zamanında tespit etmektir. Oysa mevcut yönetmeliklerde yer alan tahribatlı beton denetim yöntemleri, hem zaman alıcı hem de

ekonomik değildir. Üstelik küp veya silindir numunelerin yerindeki betonu tam temsil edememesi, kür koşulları, döküm sırasındaki sıkıştırma işlemi ve test koşullarının her zaman aynı olmaması gibi nedenler de, beton dayanımını bulmak için araştırmacıları tahribatsız deney yöntemlerine yöneltmiştir. Tahribatsız deney yöntemleri, tümüyle tahribatlı deney yöntemlerinin yerine geçmek için geliştirilmemiş, sadece tahribatlı yöntemlere alternatif olarak daha pratik yapıya zarar vermeyen ve hızlı bir yöntem olarak düşünülmüştür (Yüksel, 1995).

Diğer yandan eğilmeye çalışan kirişler veya ön gerilmeli elemanlar, standart numuneye benzer gelişim göstermezler. Bu nedenle betonun yerinde ve istenen zamanındaki gerçek dayanımını belirleme testleri gereklidir. Tahribatsız deneylerle, hem yapım aşamasında istenen zamanda, hem de önceden yapılmış bir yapının belli bir tahribat ya da afet (deprem, yangın v.b.) sonucunda betonun yerindeki dayanımını kontrol etme olanağı vardır. Yapım programını hızlandırmak için kalıp alma, kür işlemlerine son verme, dikmelerin sökülmesi gibi işlemler olabildiğince erken ve güvenlik içinde yapılmalıdır. Yerinde tahribatsız deney yöntemleri sayesinde yatırım süresi kısaltılarak ekonomik kazanç ve zaman tasarrufu sağlanabilir (Yüksel, 1995).

Yapıdaki betonun basınç dayanımının belirlenmesinde kullanılan yöntemler yıkıntılı (tahribatlı) ve yıkıntısız (tahribatsız) olmak üzere iki gruba ayrılır (Başka, 2006).

Yıkıntılı yöntemler içerisinde en çok kullanılanı, yapıdaki betondan kesilerek çıkartılan silindir şekilli numunelerin (karotların) aksenal basınç kuvveti etkisinde kırılmaya tabi tutulandır. Bu yöntem maliyet, deney hızı ve yapıda yaptığı yıkıntı açısından sakıncalarına karşın, betonun yapıda/yerinde dayanımını en yüksek güvenle veren yöntemdir (Başka, 2006; Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005; Erdoğan, 2004).

Türkiye’de en çok uygulanan yıkıntısız yöntemler Schmidt çekici yöntemi, ultrases yöntem ve birleşik yöntemdir. Schmidt çekici yönteminde sertleşmiş beton yüzeyine Schmidt çekiciyle darbe uygulanarak geri sıçrama değerleri elde edilmekte ve bu değerlerin ortalaması kullanılmakla basınç dayanımı yaklaşık olarak tahmin edilmektedir. Ultrases yöntemde, ultrases ses aygıtı kullanılarak betonun içerisine gönderilen ultrases dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülerek dala hızı hesaplanmaktadır (Başka, 2006). Beton içerisinden geçen ses dalgasının hızı ile beton dayanımı arasında doğrudan bir ilişki yoktur. Ancak, hız ile betonun yoğunluğu arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır ve betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasında belirli bir ilişki bulunmaktadır (Erdoğan ve Erdoğan, 2006). Birleşik yöntem ise Schmidt çekici yöntemi ve ultrases yöntemin birlikte kullanıldığı bir yöntemdir (Başka, 2006).

3.3.1. Tahribatlı yöntemler

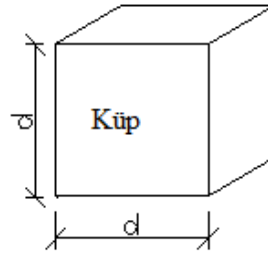
Bu yöntem ile genellikle standart yöntem ve karotlara uygulanan basınç dayanımı yöntemi kastedilmektedir. Her iki yöntemde de hazırlanan veya kesilen beton numunelerinin basınç deney düzeneğinde kırılması esasına dayanır. Tahribatsız test yöntemlerinin tersine beton numuneler tekrar kullanılamayacak şekilde tahrip edilir.

Tahribatlı yöntemin bazı dezavantajları bulunmaktadır (Aydın, 2005). Bunlar;

- o Uygulama, silindir veya küp şeklindeki özel deney numuneleri ile sınırlıdır.
- o Deney sonunda numune kırıldığı için bir numune üzerinde ancak bir kez basınç dayanımı ölçümü yapılabilmektedir.

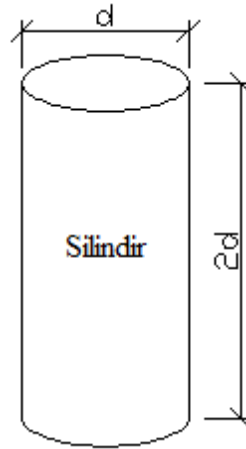
3.3.1.1. Standart deney yöntemi

Standart basınç dayanımı deneyinin uygulanmasında öncelikle beton, ölçüleri belli olan su sızdırmaz, su emmez özellikte kalıplara taze halde iken standartlara uygun şekilde yerleştirilmektedir. Küp, silindir ve prizma şekilli deney numunesinin temel boyutu, d , betonda kullanılan agrega anma büyüklüğünün en az üç buçuk katı olacak şekilde seçilmelidir (Şekil 3.1a-b-c) (TSE, 2002).



(a)

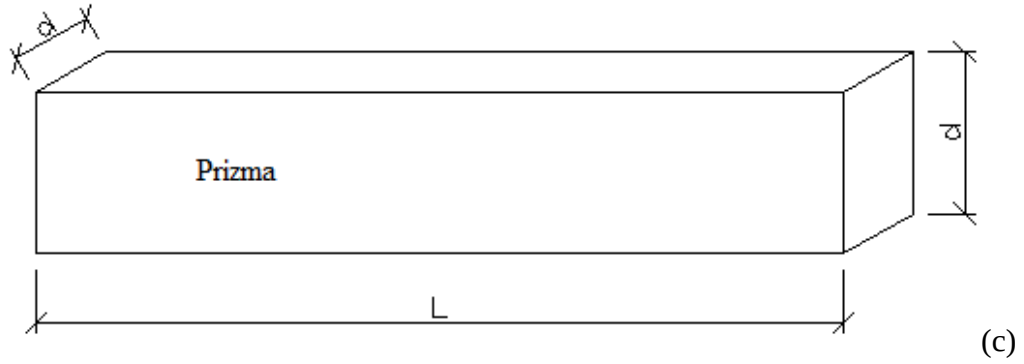
d, mm	100	150	200	250	300
-------	-----	-----	-----	-----	-----



(b)

d, mm	100	113 ^a	150	200	250	300
-------	-----	------------------	-----	-----	-----	-----

^a Bu Boyut için yükleme alanı 10 000 mm² dir.



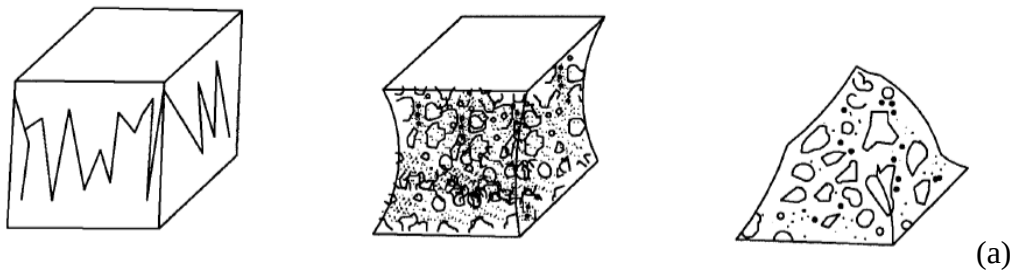
d, mm	100	113 ^a	150	200	250	300
$L \geq 3,5d$						

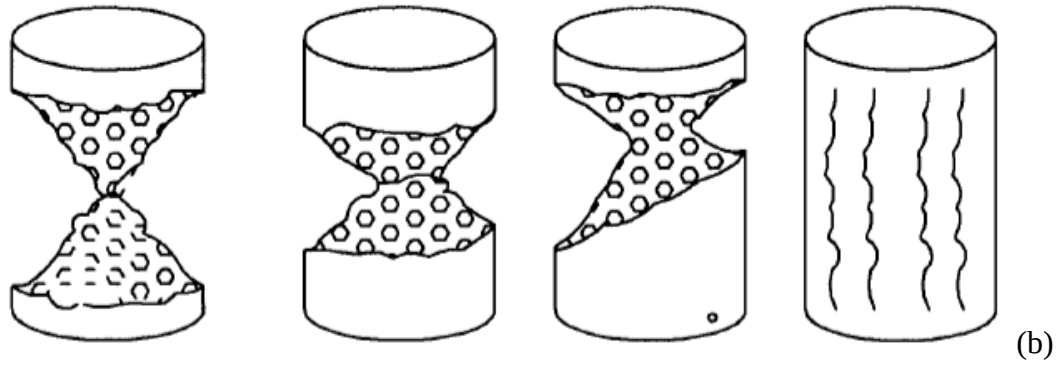
Şekil 3.1. Beton numunelerine ait standart ölçü ve şekiller, (a) küp numuneler, (b) silindir numuneler, (c) prizma numuneler.

Deney numuneleri, kalıp içerisinde, 16 saatten az, 3 günden fazla olmamak üzere, yeterli sertliğe ulaşıncaya kadar, şoktan, titreşimden ve kurumadan korunarak $20 \pm ^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki ortamda tutulmalıdır. Deney numuneleri, kalıptan çıkartıldıktan sonra, deney anına kadar $20 \pm ^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su içerisinde veya sıcaklığı $20 \pm ^\circ\text{C}$ ve bağıl nemi $\geq 95\%$ olan kür odasında küre tabi tutulmalıdır (TSE, 2010a).

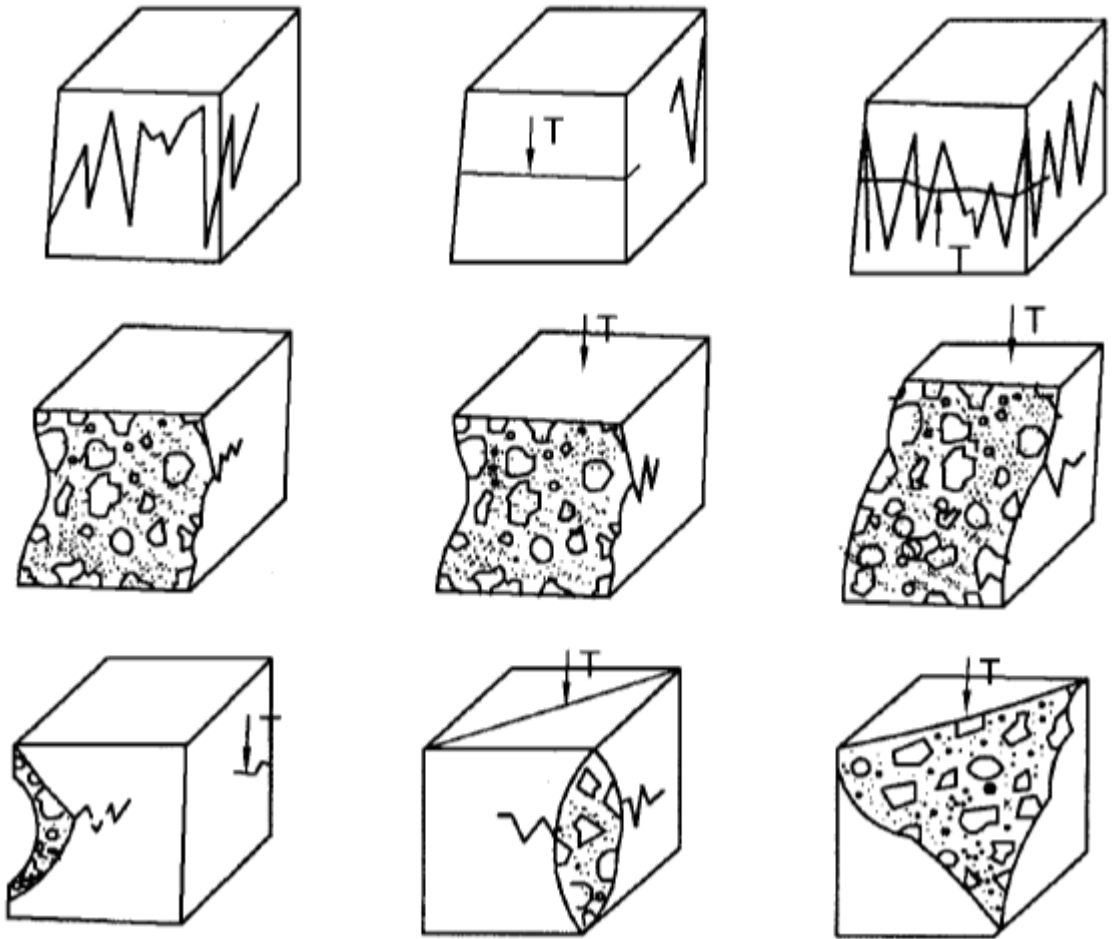
28. gün sonunda kür havuzundan çıkartılan numunelerin yüzeyindeki fazla sular kurulanır ve deney makinesine yük uygulama yönü beton döküm yönüne dik olacak konumda alt yükleme başlığı üzerine merkezlenerek yerleştirilir. $0,6 \pm 0,2$ MPa sınırları içerisinde kalmak üzere sabit bir hız seçilir. Yük, darbe etkisi oluşturulmadan, seçilen hız $\pm 10\%$ sapma sınırları içerisinde kalarak numune kırılıncaya kadar sabit hızda arttırılarak uygulanır. Deneyin kabul edilebilir ya da edilmeyen doğrulukta yapıldığının göstergesi olan numune kırılma tipine ait örnekler Şekil 3.2a-b ve 3.3’de verilmiştir.

Şekil 3.4’de küp numunelerin basınç dayanımı testinin uygulanmasına ilişkin şema gösterilmiştir (TSE, 2010b).

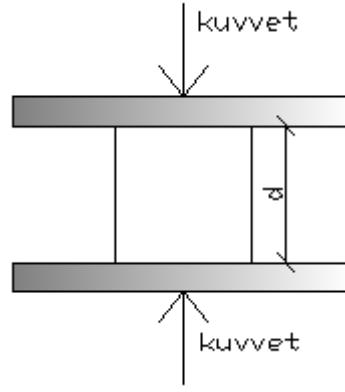




Şekil 3.2. Küp ve silindir numunelerin kabul edilebilir kırılma şekilleri, (a) küp numuneler, (b) silindir numuneler.



Şekil 3.3. Küp numunelerin kabul edilebilir olmayan bazı kırılma şekilleri.



Şekil 3.4. Küp numunelerin basınç dayanımı testinin uygulanmasına ilişkin şema gösterimi.

Kırılma şekilleri kabul edilebilir ise o zaman basınç dayanımı Eşitlik (3.1)'deki bağıntı ile bulunur (TSE, 2010a).

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.1)$$

f_c : Basınç dayanımı (MPa)

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük (N)

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı (mm²)

Standart deneyle elde edilen basınç dayanımına etki eden etkenler şu şekilde sıralanması olasıdır (Başka, 2006).

- o Boy/çap oranı
- o Beton numunenin şekli
- o Aynı boy/çap oranına sahip ancak farklı boyuttaki numuneler
- o Yükleme hızı
- o En büyük agrega boyu
- o Deney sırasında numunenin nem durumu
- o Deney sırasında numunenin sıcaklığı

3.3.1.2. Beton karot deneyleri

Standart deney yöntemi ile yerinde/yapıda basınç dayanımının belirlenmesi imkansızdır. Ancak, çeşitli sebeplerden dolayı betonun yerindeki basınç dayanımının bulunması gerekebilir. Böyle bir durumda oldukça yaygın olarak kullanılan yöntem, betondan kesilerek çıkartılan silindirik şekilli numunelerin eksenel basınç yükü altında kırılmaya tabi tutuldukları karot yöntemidir (Aydın, 2005).

Karot alma aletinde, kendi eksenini etrafında dönebilen içerisi boş ve ucu elmasan yapılmış silindir şeklinde bir kesici bulunmaktadır. Karot almadan önce, karot alınmasının yapı üzerinde oluşturacağı herhangi bir olumsuz etki dikkate alınmalıdır. Karot, tercihen beton elemanların kenarları veya herhangi bir birleşim yerinden uzaktaki ve donatının çok az olduğu veya hiç olmadığı noktalardan alınmalıdır. Karot, aksi belirtilmemişse beton yüzeyine dik olarak alınmalı ve işlem esnasında karota hasar verilmemelidir. İşlem esnasında karot alma makinesi hareket etmeyecek şekilde sabitlenmiş olmalıdır (TSE, 2011). Karot alma aletinin çalıştırılmasıyla yüksek hızla dönmeye başlayan silindirik kesicinin ucu, numune çıkartılmak istenen beton blok yüzeyine dik olarak temas ettirilmekte ve kesici döndükçe, betonun delinerek kesilmesi sağlanmaktadır. İçi boş silindir şeklindeki kesici, kesimin yapıldığı beton blok içerisinde ilerledikçe, kesilen beton parçası da silindirik bıçağın içerisinde kalmaktadır. Delme işlemi sonunda, karot alma aletinin kesicisi, içerisinde bulunan silindir şekilli beton parçası ile birlikte dışarıya çıkartılmaktadır. Delinme işlemi uygulanan beton bloğun derinliği çok fazla ise belirli bir derinliğe kadar delinme uygulandıktan sonra, çelik kesici hafifçe sağa sola oynatılarak, kesicinin içerisinde yer alan beton parçasının ana bloktan kopması sağlanmaktadır (Başka, 2006; Erdoğan ve Erdoğan, 2006).

Karotlarda tercih edilen boy/çap oranı birbirine eşit ve 100 mm ise bulunan dayanım değeri, aynı şartlarda oluşturulan ve küre tabii tutulan 150 mm'lik küp numune dayanımına eşittir. Anma çapı en az 100 mm ve en fazla 150 mm olan ve boy/çap oranı 2,0'ye eşit olan karotların deneye tabii tutulmasıyla elde edilen dayanım değerleri çapı 150 mm ve boyu 300 mm'lik silindir numune dayanımına eşittir. Karotun uç yüzeylerinin düzlükten sapmaları karot dayanımını azaltır. Uç yüzeyleri aşındırılarak düzeltilebilir. Ayrıca yüksek dayanımlı harç veya yüksek dayanımlı kükürt kullanılarak başlıklararak da düz bir yüzey elde edilmiş olur (TSE, 2010c).

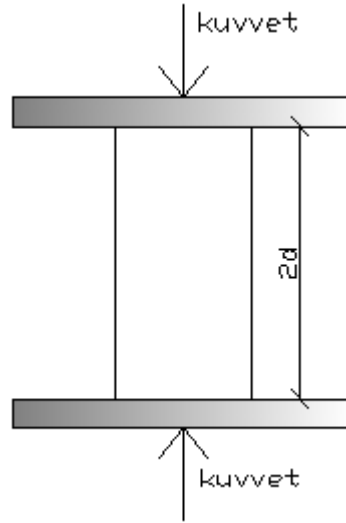
Betonlardan karot alma işlemi diğer basınç dayanımı belirleme deneylerine göre çok maliyetli olmasının yanı sıra, karot alınırken taşıyıcı elemanlarda oluşan boşlukların elemanlarının taşıma kapasitesini azaltması nedeniyle özenle gerçekleştirilmesi gereken bir mühendislik işlemidir (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005).

Beton kıvamı, sıkıştırma metodu ve zamanı, agrega maksimum dane boyutu ile donatı sıklığı ilişkilerine bağlı olarak özellikle ince ve sık donatılı kolonların alt ve üst kısımlarındaki beton mukavemetinde farklılıklar oluşabilir. Bu nedenle kolonlardaki ölçme ve karot alma yerleri belirlenirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır (Aydın, 2005). Karot alırken, beton bloktaki donatının kesilmemesine ve karotun içerisinde donatı

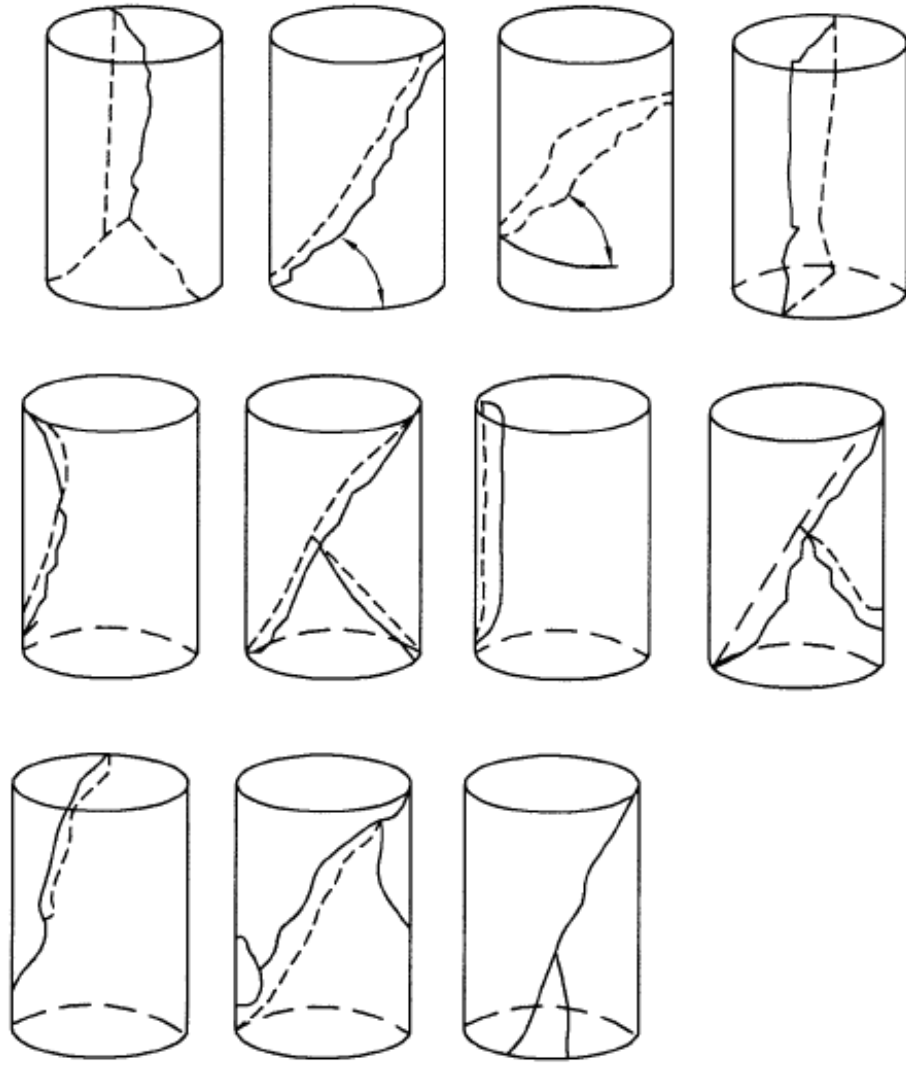
parçasının bulunmamasına özen gösterilmelidir. Karot alma işlemi, yeterince sertleşmiş durumdaki betonlara uygulanmaktadır. Aksi takdirde, beton numunenin kesilerek çıkartılması işlemi esnasında, betondaki agrega ve çimento hamuru arasındaki aderans zarar görmektedir. Bu nedenle, karot alınacak beton en az 14 günlük bir beton olmalıdır. Yapıdaki betonun çatlamış bir bölümünden karot alınmamalıdır. Alınan karotta anormal sayılabilecek özürlü bölümler bulunuyorsa, çıkartılma işlemi sırasında karot çatlamış ise bu tür karotlar üzerinde basınç deneyi yapılmamalıdır (Erdoğan ve Erdoğan, 2006).

Karotların dayanımı genellikle standart silindir numunelerin dayanımından düşüktür. Bu, kısmen karotun kesme işlemi sırasında gördüğü zarardan, kısmen de sahadaki kür koşullarının standart deney numunelerine uygulanan kür koşullarından daha olumsuz olduğundan dolayıdır. Her ne kadar dikkatli yapılırsa yapılsın, yine de karot alma esnasında karot bir miktar hasar görmektedir (Arıöz, 2004).

Şekil 3.5’de silindir karotların basınç dayanımı testinin uygulanmasına ilişkin şema gösterilmiştir. Ayrıca silindirik numunelerin kabul edilebilir olmayan bazı kırılma şekilleri Şekil 3.6’da gösterilmiştir (TSE, 2010b).



Şekil 3.5. Silindir karotların basınç dayanımı testinin uygulanmasına ilişkin şema gösterimi.



Şekil 3.6. Silindirik numunelerin kabul edilebilir olmayan bazı kırılma şekilleri.

Aynı kalitedeki betondan elde edilen karotların deneyleri sonucunda, elde edilen basınç dayanımı değerlerini etkileyen önemli etkenler aşağıda verilmiştir (Başka, 2006):

- o Karot çapı
- o Karotdaki boy/çap oranı
- o Karot alınırken uygulanan delme işleminin yönü
- o Karotun yüzeyinde bazı iri agrega tanelerinin kesilmiş durumda yer alması
- o Karotta bulunabilecek donatı parçaları
- o Karota yapılan başlık için kullanılan malzeme
- o Karotun ıslaklık durumu
- o Yükleme hızı
- o Deney sırasındaki sıcaklık

3.3.2. Tahribatsız yöntemler

Tahribatsız deney yöntemleri, yapıların gerek yapım kusurlarını gerekse geometrik ve kompozisyon özelliklerini, yapı elemanlarına zarar vermeden araştırma işlemi olarak tanımlanabilir (Yüksel, 1995).

Standart numuneler üzerinde yapılan deneyler, betonun yerindeki gerçek dayanımını belirlemek amacıyla yapılmaz. Çünkü silindir veya küp kırma deneyinin şantiyedeki betonu kalıba dökme, sıkıştırma ve kür şartlarının aynısı olması söz konusu değildir. Kaldı ki, bir yapıdaki betonun standart kür edilmiş numune ile aynı gelişimi göstermesi de beklenemez. Standart numunelerin 28 günlük basınç dayanımları beton kalıbının güvenlik içinde sökülmesi için yeterli dayanıma ulaşip ulaşmadığını belirlemede kullanılamaz. Beton basınç dayanımının kalıp sökülmesi için yeterli olup olmadığı, 28. günü beklemeden sadece tahribatsız deney yöntemleriyle belirlenebilir.

Diğer taraftan eğilmeye çalışan kirişler veya ön gerilmeli elemanlar standart numuneye benzer gelişim göstermezler. Bu nedenle, betonun yerinde istenen zamandaki gerçek dayanımını belirleme testleri gereklidir. Oysa tahribatsız deneylerle, hem yapım aşamasında istenen zamanda, hem de önceden yapılmış bir yapının belirli bir tahribat ya da afet (deprem, yangın vb) sonucunda betonun yerindeki dayanımını kontrol etme olanağı vardır (Şimşek, 2009).

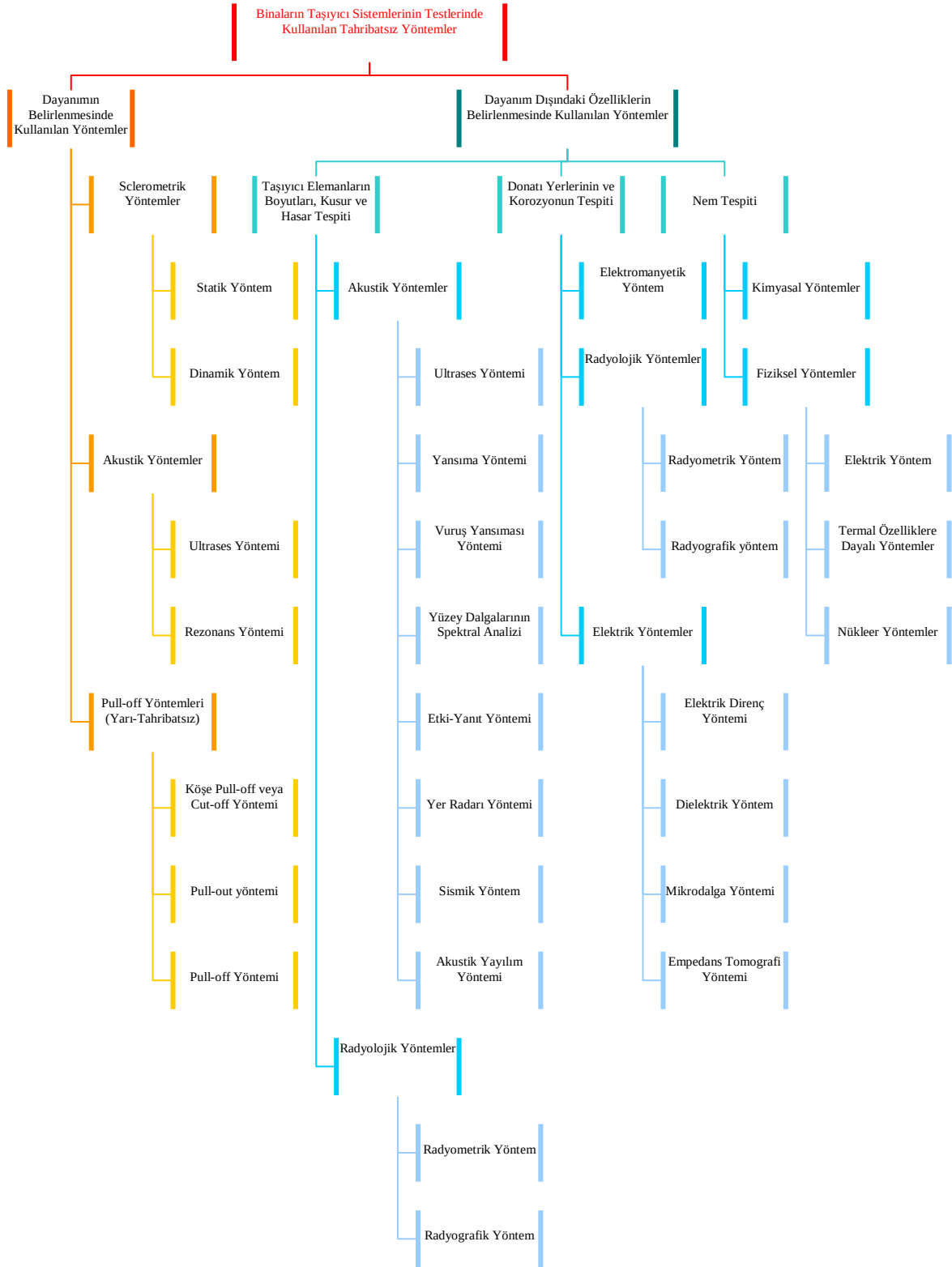
Tahribatsız yöntemle beton basınç dayanımı yapı elemanına zarar vermeden belirlenir. Ayrıca tahribatsız yöntemler, kalıp alma, kür işlemine son verme, dikmelerin sökülmesi gibi inşaatın yapım süresini hızlandıran işlemler olması yanı sıra güvenlik içinde yapılmasında pratik olarak çözüme ulaştırmak için kolay deney yöntemleridir. Yerinde tahribatsız deney yöntemleri ile yatırım süresi kısaltılarak ekonomik kazanç ve zaman tasarrufu sağlanabilir (Şimşek, 2011).

Beton kalitesini belirleme deneylerinde, tahribatsız deney yöntemleri diğer yöntemlere göre daha yenidir. Bu deney yöntemlerinin yavaş gelişmesinin sebebi, betonun yüksek miktarda heterojen ve kompozit bir malzeme olmasındandır. Yerinde dökülen beton, imalat yöntemleri ve doğası gereği yüksek oranda değişkendir. Son yıllarda tahribatsız deney yöntemlerinin gelişiminde ciddi ilerlemeler kaydedilmiştir. Bu yöntemlerin bir kısmı ASTM, ISO ve BSI tarafından standardize edilmiştir (Aydın, 2005; Erdal, 2002).

Tahribatsız deney yöntemlerinin çeşitli avantajlarını aşağıdaki şekilde özetlemek mümkündür (Erdoğan ve Erdoğan, 2006).

- o Hasarsız deney yöntemlerini değişik şekillerde ve boyutlardaki betonlar üzerinde uygulayabilmek mümkündür. Bu tür yöntemler laboratuvardaki silindir veya küp numunelere uygulanabilmektedir. Ancak, daha da önemlisi, bu tür yöntemlerle yapıda yer almakta olan betonun basınç dayanımı da yaklaşık olarak elde edilebilmektedir. Yapıdaki betonun basınç dayanımını bulabilmek için, betondan karot almaya ve kırmaya gerek olmamaktadır.
- o Hasarsız deney yöntemlerinin uygulanmasında kullanılan aletler, kırılma yöntemlerindeki aletlerden çok daha ucuzdur.
- o Hasarsız deney yöntemleri, betonun basınç dayanımını bulabilmek için uygulanan diğer yöntemlerden çok daha basit ve çabuktur.
- o Hasarsız yöntemlerin uygulanmasında betonun kırılması işlemi yer almadığı için aynı beton üzerinde değişik zamanlarda tekrar tekrar ölçüm yapabilmek mümkündür. Böylece yapıdaki yerine yerleştirilmiş olan betonun dayanım kazanma hızı kolayca takip edilebilmekte, kalıp sökme veya yapının hizmete sokulma zamanı kolayca belirlenebilmektedir.
- o Hasarsız deney yöntemleriyle, yapıdaki betonun değişik bölümlerinin aynı nitelikte olup olmadığı veya çok sayıdaki aynı elemanın (önyapımlı elemanlar gibi) aynı özelliklerde olup olmadıkları kolayca kontrol edilebilmektedir.
- o Hasarsız deney yöntemleriyle, normal koşullar altındaki betonun kalitesi ile anormal koşullara maruz kalmış betonun kalitesinin karşılaştırılabilmesi mümkündür. Böylece yangın veya don gibi etkenler altında, beton kalitesinin ne ölçüde değişmiş olacağı kolayca kontrol edilebilmektedir.

Binaların taşıyıcı sistem malzemelerinin kalitelerinin belirlenebilmesi için kullanılan birçok tahribatsız yöntem bulunmaktadır. Bu yöntemlerden bazılarını gösteren bir şema Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Binaların taşıyıcı sistem malzemelerinin kalitelerinin belirlenmesi için kullanılan bazı tahribatsız yöntemler (Holla ve Schabowicz (2010)'dan değiştirilmiştir).

Beton kalitesini belirlemek için kullanılan tahribatsız yöntemlerin birbirleriyle farklı değerler vermesi nedeniyle mekanik yönetime göre güvenilirlikleri azdır. Tahribatsız beton basınç dayanımı belirlemede kullanılan yöntemlerden bazıları aşağıda sıralanmıştır:

- o Rezonans frekansı,
- o Windsor probe
- o Pull-out
- o Break-off
- o Pull-off
- o Pin Penetrasyon
- o Ultrases hız
- o Schmidt çekici
- o Birleşik yöntem

Bu yöntemlerle ilgili kısa bilgiler aşağıda verilmiştir. Sadece Ultrases hız ve Schmidt çekici yöntemler bu çalışmada da kullanıldığı için daha detaylı olarak açıklanmıştır.

3.3.2.1. Rezonans frekans yöntemi

Titreşimin doğal frekansı, elastik sistemlerin doğal özelliklerindendir. Temel olarak titreşen bir kirişin dinamik elastisite modülü ile ilişkilidir. Bundan dolayı, bir kirişin titreşimin doğal frekansı dinamik elastisite modülünü belirlemek için kullanılabilir. Bu iki parametre homojen, izotropik ve mükemmel elastik katı malzemeler için geçerli olsa da numune büyüklüğünün malzemesinin büyüklüğünden fazla olması durumunda beton içinde uygulanabilir.

Titreşim yaratan kısmın temel parçası, elektronik ses-frekansı osilatörüdür. Osilatör, ses-frekansı voltajlarını oluşturur. Osilatör çıkışı yükseltilir ve sürücü birime mekanik titreşimlere çevrilmek üzere iletilir.

Rezonans frekans yöntemi (RFY), betonun dinamik elastisite modülünün belirlenmesinde sıkça kullanılır. Fakat bulunan sonuçlar, düşük yükleme hızlarında ve yüksek zorlama seviyelerinde standart statik deneylerinde bulunan sonuçlardan daha yüksektir. Bundan dolayı RFY ile bulunan dinamik elastisite modülü değerinin tasarımlarda kullanılması önerilmez (Malhotra, 2001).

3.3.2.2. Windsor probe deney yöntemi

Bu yöntem ile beton basınç dayanımı, dikkatli bir şekilde kullanılan patlayıcı yüklü çelik bir sondanın, betonun yüzeyinden içeri girmesi ve girme miktarlarının ölçülmesi ile belirlenir. Sonda, yüzeyden ne kadar az içeri girerse, beton o kadar iyi demektir. Windsor probe deney yöntemini (WPDY) kullanırken ihmal edilen kurallar, test edilen betonun

gerçek dayanımını tam olarak yansıtmayan sonuçlar alınmasına neden olabilir. Penetrasyon testinin kullanılabilirliği, sonda penetrasyonu ile basınç dayanımı arasında yeterli hassasiyette bağıntılar elde edilmesine bağlıdır. Bu bağıntıyı etkileyen önemli faktörlerden birisi, iri agreganın sertliğidir ve bu üretici firma tarafından sağlanan ilişki tablolarıyla göz önüne alınmalıdır. Sertliğin dışında iri agreganın tipinin ve boyutlarının da, sonda penetrasyonunda önemli bir etki yaptığı belirtilmiştir. Bununla birlikte karışım oranları, nem içeriği, kür şekli ve yüzey şartları gibi diğer parametreler de sonda penetrasyonunu etkileyebilir. Sonda penetrasyonu ile dayanım ilişkisini etkileyen önemli parametreler, karbonatlaşma derecesi ve betonun yaşıdır. Karbonatlaşma, betonun fiziksel ve kimyasal özelliklerini, yüzeyin altında belirgin bir derinliğe kadar değiştirebilir ve bu da sondanın penetrasyon derinliği üzerinde önemli bir etki yapabilir (Şimşek, 2011).

3.3.2.3. Pull-Out deney yöntemi

Bu yöntem, bir dinamometre ve reaksiyon taşıma halkası ile çekme kuvvetinin belirlenmesidir. Özel olarak şekillendirilmiş ve beton içerisinde genişleyen sistemin betondan çekilmesi esası ile belirlenir. Şeklinden dolayı sistem betondan konik bir şekilde çekilir. Beton hem gerilme hem de kesme etkisi altındadır, işlem sonunda çekme kuvveti basınç dayanımı ile ilişkilendirilebilir.

Bu yöntemin en büyük avantajı, betonun yerinde dayanımının ölçülebilmesine olanak sağlamasıdır. Yöntem basit ve hızlı uygulanabilir. Dezavantajı ise, betona verdiği hasarın onarılması gerekliliğidir. Ayrıca bu yöntem iyi planlanarak uygulanmalıdır. Yerinde uygulanan diğer yöntemlerden farklı olarak beton sertleştikten sonra uygulanmamasıdır (Malhotra, 2001).

3.3.2.4. Break-Off deney yöntemi

Bu yöntemde bir oturma halkasıyla birlikte bir plastik bilezik, silindirik bir numune alabilmek için sondaj deliği oluşturacak biçimde taze betonun içine yerleştirilir. Beton sertleştikten sonra, bilezik çıkartılır ve özel bir yükleme mekanizması sondaj deliğine yerleştirilir. Silindir numunenin üst kısmından elle kontrol edilebilen bir pompa ile kuvvet uygulanarak betondan ayrılması sağlanır.

Yükleme mekanizmasında ölçülen hidrolik basınç Break-off sayısı olarak kaydedilir ve en yüksek basınç değeridir. Plastik bileziğin kullanılmadığı sertleşmiş betonlarda özel bir şekil verilmiş ve benzer deney numunelerini çıkaran sondaj makinesi kullanılır (Malhotra, 2001). Yerinde dayanımın ölçülebilmesi önemli bir avantajıdır. Ayrıca, donanımın güvenli, basit ve uygulanması hızlı olması ve tek bir yüzeyde çalışabilmesi yöntemin avantajları arasındadır. Bu yöntemde sertleşmiş beton üzerinde deney

yapıldığından önceden planlama yapılmasına gerek yoktur. Deney sonuçları beton dayanımları ile karşılaştırıldığında kabul edilebilir hassasiyette sonuç verdiği görülür. Ancak en büyük agrega boyutu ve en az eleman kalınlığı bu yöntemin iki sınırlamasıdır (Naik, 2004).

3.3.2.5. Pull-Off deney yöntemi

Bu yöntemde, dairesel bir çelik disk test edilecek beton yüzeyine epoksi reçinesi ile yapıştırılır. Önce zımpara kağıdı ile beton yüzeyi düzeltilir ve uygun bir çözücü madde ile temizlenir. Yapıştırma işleminden sonra çelik diske çekme kuvveti uygulanır. Bağıın dayanımı betondan daha güçlü olduğundan beton uygulanan kuvvete karşı dayanım gösteremez ve kopar. Diskin yüzey alanı ve kopma anında uygulanan kuvvet ile betonun çekme dayanımı hesaplanabilir. Bu yöntem diğerlerine göre daha az tercih edilir ve 1992’de sadece İngiltere’de standartlaştırılmıştır (Malhotra, 2001).

3.3.2.6. Pin penetrasyon deney yöntemi

1980’lerin sonlarında Nasser ve Al-Manaseer tarafından geliştirilen yöntem, kalıbın betondan ayrılma zamanının tespitinde kullanılmıştır. Cihaz 30,5 mm uzunluğunda ve 3,56 mm çapında, ucu 22,5 derece açılı bir çividen oluşmaktadır. Çivi, mekanik olarak basınç uygulayarak bir yay yardımı ile beton içerisine yerleştirilir. Sonrasında aparat kaldırılır ve oluşan küçük deliğin içi temizlenir. Oluşan deliğin derinliği ölçülür. Bu yöntemde sadece küçük bir delik açılmakta ve malzeme yüzeyinin durumuna göre sonuçlar etkilenmektedir. Ayrıca uygulama esnasında agregaya denk geldiği zaman sonuç geçersiz sayılır. Cihaz yerinde kullanım açısından oldukça ağırdır. Ayrıca yayın mekanizmasının yapısından ötürü, dayanım değeri 30 MPa’dan daha büyük olan betonlarda kullanılamaz (Malhotra ve Carette, 2004).

3.3.2.7. Ultrases hız deney yöntemi

Ultrases hız yöntemi (UHY) beton içerisinden geçen ultrases dalgalının, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık varış zamanına bölündüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir. Ölçülen bu hız betonun birçok özelliğinin belirlenmesinde kullanılır. Bu teknik, yerinde ve laboratuvar numunelerinde rahatlıkla kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar betonun şeklinden ve büyüklüğünden etkilenmemektedir. Ancak yine de çok küçük numuneler deneye tabi tutulurken dikkatli olunmalıdır. UHY, betonun dayanımının, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Çatlaklar tamamıyla suyla dolu ise çatlakların yerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır. Genel olarak çok yüksek hızların (>4570 m/s) çok kaliteli betonun

göstergesi ve çok düşük hızların da (<3050 m/s) kalitesiz betonun göstergesi olduğu bilinmektedir. Hızdaki periyodik ve sistematik değişimler, betonun kalitesinde değişimler olduğunu göstermektedir. Bütün bunlara rağmen araştırmacılar, hız ölçümünden dayanımı veya diğer özellikleri belirlemeden önce çalıştığı beton hakkında yeterli bilgiye sahip olmalıdır (Şimşek, 2011).

Yaklaşık olarak ultrases dalgası hızına ilişkin beton kalitesinin sınıflandırılması Çizelge 3.3’de gösterilmiştir (IAEA, 2002).

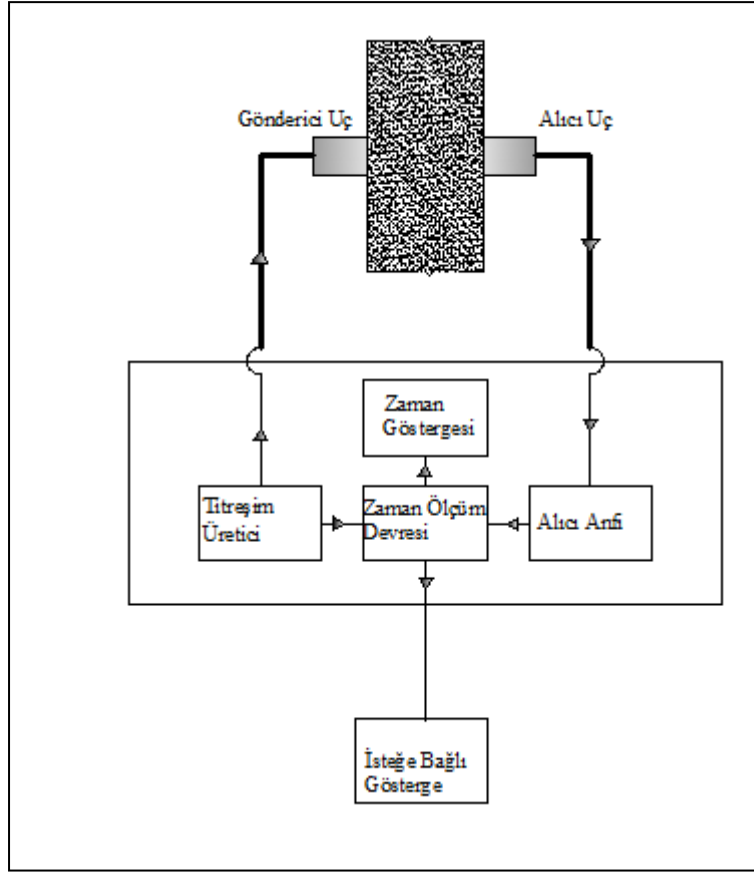
Çizelge 3.3. Ultrases dalgası geçiş hızı ve beton kalitesi ilişkisi

Geçiş Hızı (V) km/s	Beton Kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	Zayıf
<2,0	Çok zayıf

3.3.2.7.1. Deneyin amacı

Dalgalar elektroakustik iletici ve dönüştürücü uçlar tarafından yaratılır. Uçlar betonun yüzeyi ile temas halindedir. Dalgalar beton üzerinden geçtikten sonra elektrik enerjisine çevrilir Bu işlem ikinci bir uç tarafından gerçekleştirilir. Burada aradaki “L” mesafesi bilinmektedir. Geçiş süresi “T” elektronik olarak ölçülür ve dalga hızı hesaplanır (CEN, 2003).

Bu düzeneği gösteren şematik bir şekil aşağıda Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

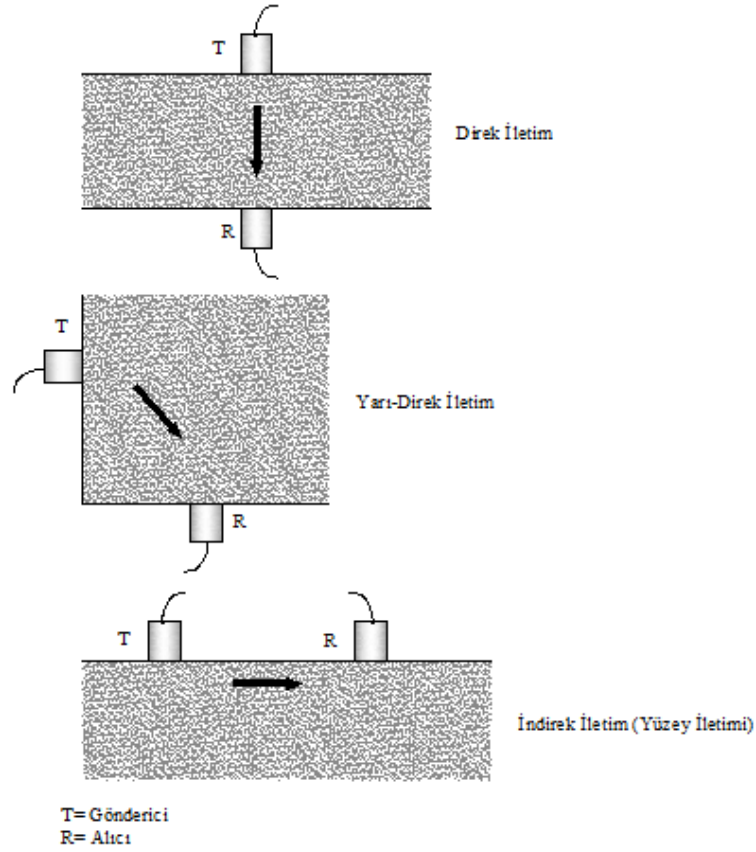


Şekil 3.8. Ultrases yöntemi deney düzeneği (Naik ve ark., 2004).

3.3.2.7.2. Deneyin yapılışı

Cihazı alıcı ve gönderici uçları karşılıklı yüzeylere yerleştirilerek ölçüm yapılabildiği gibi, komşu yüzeylere ve aynı yüzeye yerleştirilerek de yapılabilir. Burada en iyi sonuç dalgaların yayılmalarından ötürü, karşılıklı olarak paralele okunan değerlerle elde edilir. Ancak yüzeylerin düzgün olmaması ya da köşe elemanlar gibi karşılıklı yüzeylerin görülememesi durumunda komşu yüzeylere uygulama veya aynı yüzeye uygulama gerçekleştirilir (CEN, 2003).

Farklı şekillerde ölçümler şematik olarak Şekil 3.9’da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Ultrases yöntemi deneyinin farklı şekillerde uygulanma düzeneği (Naik ve ark., 2004).

Ölçüm yolu uzaklığı, cihazın alıcı ve gönderici uçları arasındaki uzaklık (beton ölçüm noktaları arasındaki uzaklık) olarak alınır ve direk ölçümlerde (doğrusal iletim) en kısa olan dik mesafedir ve % 1 hassasiyette ölçülerek kaydedilir. Yarı-direk ölçümlerde (yarı-doğrusal iletim) ise iki ucun merkezden merkeze uzaklığı olarak alınarak kaydedilir. İndirek (dolaylı iletim) ölçümlerde ise farklı aralıklara göre ölçümler yaparak kaydedilir. Beton ile uçlar arasında yeterli akustik bağlanmanın sağlanması gerekir. Bunun için tüm uçlara kontak maddesi sürülür.

Uçlar beton ölçüm noktalarına sıkıca bastırılır ve cihazdan geçiş süresi (μs) mikro saniye cinsinden okunur ve kaydedilir.

Ölçümler, gelişigüzel seçilen birçok noktada tekrarlanır.

Okunan ses geçiş süresi ses hızına (3.2)'de verilen bağıntı ile çevrilir (CEN, 2003).

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.2.)$$

V : Ultrases hızı (km/s)

L : Ölçü boyu (km)

T : Ultrases geçiş süresi (saniye)

Ses hızını olumlu veya olumsuz etkileyen faktörler betonun rutubet durumu (ıslak veya kuru olması) yanında diğer faktörler ise betondan beklenen özellikleri etkileyen faktörlerin aynısıdır (Şimşek, 2011).

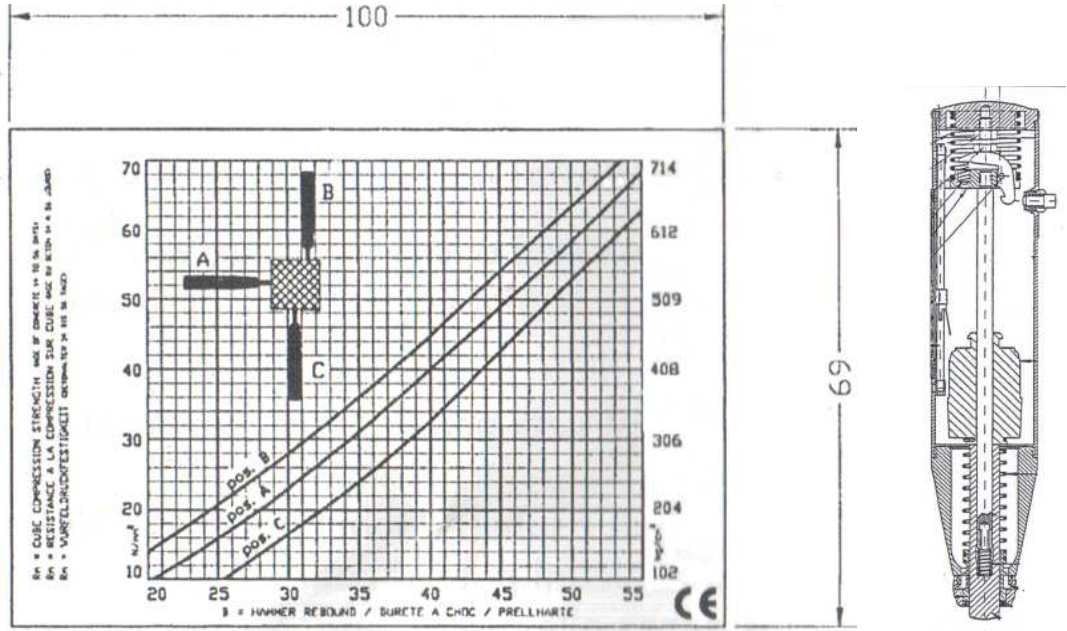
Sonuçları etkileyen etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir (CEN, 2003).

- o Nem içeriği
- o Betonun sıcaklığı
- o Geçiş yolu uzunluğu
- o Numunenin şekli ve büyüklüğü
- o Betonun içersindeki donatı
- o Çatlak ve boşluklar

3.3.2.8. Schmidt çekici yöntemi

Bu yöntem, 1948 yılında İsveçli mühendis Ernst Schmidt tarafından geliştirilen çekiç ile geri tepme ilkesine dayanarak betonun yüzey sertliğinin ölçülmesi esasına dayanır. Çekiç temel olarak betonun dayanımı ile geri tepme değeri arasında küçük de olsa bir ilişkinin olduğu esasına dayanan yüzey sertliği ölçme cihazıdır. Bununla beraber, sınırlar dahilinde geri tepme değeri ve dayanım özellikleri arasında deneysel ilişkiler geliştirilmiştir (Malhotra, 2004).

Schmidt geri tepme çekici, hem laboratuvar hem de arazide kullanılmaya uygundur. Deney, yatay, dikey, yukarıya ve aşağıya doğru yapılabilir. Geri tepmedeki değişik yerçekimi etkilerinden dolayı, geri tepme değeri değişiklik gösterecektir. Bu durumun düzeltilmesi için kalibrasyon veya düzeltme abakları kullanılmalıdır. Bu abaklardan örnek olarak Şekil.3.10'da gösterilmiştir. Yüzey sertliği ölçümünde birden çok test çekici tipi kullanılabilir. Bunlar deney yapılacak yerin veya elamanın özelliğine göre N tipi, L tipi, M tipi, P tipi, bilyeli çekiç tiplerinden biri seçilir (Şimşek, 2011).



Şekil 3.10. Schmidt çekici ve üretici firma tarafından verilmiş Schmidt çekici dönüşüm tablosu.

3.3.2.8.1. Deneyin yapılışı

Deney yapılacak beton elemanlar en az 100 mm kalınlıkta ve yapı içerisinde sabitlenmiş olmalıdır. Küçük deney numuneleri oynamayacak şekilde desteklenmelidir. Bal peteği görünümlü, pul pul kabarmış, pürüzlü yüzey veya yüksek boşluklu alanlarda deney yapmaktan kaçınılmalıdır. Gerçeğe yakın iyi bir ortalama bulmak için 300 mm × 300 mm'yi geçmeyen bir alan üzerinde okuma yapmak gerekir. Aşırı pürüzlü, yumuşak yüzeyleri veya gevşek harçlı yüzeyleri düzgün hale getirilebilmek için aşındırma taşı kullanılarak zımparalanır. Kalıptan çıkmış düzgün yüzeyler veya masterlanmış yüzeyler zımparalamadan deneye tabi tutulabilirler.

Uygun bir çekiç seçildikten sonra doğru çalışıp çalışmadığı denetlenir. Çekiç çarpma ucu deneye tabi tutulacak yüzeye dik olacak şekilde sıkıca tutulur. Çelik çarpma ucu üzerindeki basınç yavaş yavaş arttırılır ve çarpmadan sonra geri sıçrama değeri kaydedilir. Güvenli bir değer elde etmek için en az 9 okuma elde etmek gerekir. İki çarpma noktası arasındaki mesafe 25 mm'den az olmamalı ve çarpma noktaları kenarlardan en az 25 mm içeride olmalıdır. Bunun için düzenli karelej çizilerek deneyin yapılması önerilir.

Okunan değerlerin ortalaması alınırken en küçük ve en büyük değerler hariç olmak üzere bütün okumalar kullanılmalıdır. Bütün okumaların % 20'sinden daha fazlası ortanca değerden sapması 6 birimden fazla ise okumaların tümü iptal edilir (TSE, 2004).

Sonuçları etkileyen etmenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- o Çimentonun çeşidi
- o Çimento oranı
- o Agreganın çeşidi
- o Yüzeyin çeşidi
- o Yüzey nemlilik durumu
- o Karbonatlaşma
- o Betonun yaşı
- o Başlangıçtaki sertleşme hızı
- o Bakımdaki değişiklik
- o Sıkıştırma

3.3.2.9. Birleşik yöntem

Betonun özelliklerindeki değişimler deney sonuçlarını etkilediği zaman, istenen özellikleri incelemek için tek bir yöntem yeterli olmayacaktır. Bu nedenle birden fazla yöntemin kullanılması daha güvenilir sonuçlar vermektedir. Örneğin betonda nem içeriğinin yükselmesi ultrases geçiş hızını yükseltirken, Schmidt çekici değerini düşürmektedir. Bu nedenle iki yöntemin bir arada kullanılarak betonun değerlendirilmesi, tek bir yöntem kullanılarak değerlendirmede ortaya çıkan hataları azaltmış olacaktır. Ultrases geçiş hızı ve çekiç değeri ile birlikte kullanılarak üretilen formül, betonun basınç dayanımının tahmininde kullanılabilir. Ancak denklemin güvenilebilir ve öngörülebilir sonuçlar verebilmesi için beton hakkında bir ön bilgi olması gerekir (Qasrawi, 2000).

Schmidt çekici ile ultrases hızı birbiriyle ilişkilendirilerek beton basınç dayanımı tahmin edilebilmektedir. Betona zarar vermeden kalite kontrolünün etkin bir şekilde tahmin etmek amacıyla yapılmaktadır. Bu konuda birçok araştırmacının yaptıkları çalışmalar sonucunda Schmidt çekici ile ultrases hızı regresyon ifadeleri ile ilişki katsayısı elde edilmiştir. Bu ifadeler Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3.4. Farklı çalışmalardan elde edilen bağıntılar (Arioğlu ve Arioğlu, 2005).

Kaynak	Bağıntı Modeli
Meynink and Samarin (1979)	$f_b = -24,668 + 1,427R + 0,0294V^4$
Tanigawa et al. (1984) Ramyar and Kol (1996)	$f_b = -39,570 + 1,532R + 5,061V$
Yapı Merkezi (1994)	$\log f_b = 3,077\sqrt{\log(R^3V^4)} - 6,680$
Arioğlu ve Köylüoğlu (1996)	$f_b = 0,00153(R^3V^4)^{0,611}$

Bağıntılarda; f_b =15cm küp değerine eşdeğer basınç dayanımı (MPa)

V =Ultras ses hızı (km/s)

R =Yüzey sertliği (Schmidt çekici)

Yukarıdaki bağıntılar 150 mm'lik küp numuneler için verilmiştir. Bulunan değerlerin $\varnothing 100 \times 200$ mm'lik silindir değerlerine çevirmek için 1,25 katsayısına bölünmüş ve karot eşdeğer dayanımına dönüştürebilmek için 0,94 katsayısı ile çarpılmıştır. Alınan karotlarda yüzey sertliği değerleri karbonatlaşma etkisini de dikkate alabilmek amacı ile 0,90 katsayısı ile çarpılarak kullanılmıştır (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005).

BÖLÜM 4

MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında iki farklı ortam için inceleme planlanmıştır. Bir tanesi laboratuvar ortamında üretilen model küp betonlar üzerinde incelemeler, diğeri ise tamamlanmış bir bina üzerinde yapılan incelemelerdir. Her iki ortam için de aynı işlemler ve ölçümler sırası ile yerine getirilmesi hedeflenmiştir.

Bu amaçla, farklı beton kaliteleri hedeflenerek tasarlanan beton karışımları ile küp numuneler hazırlanmış ve üzerlerinde farklı zamanlarda ölçümler ile deneyler gerçekleştirilmiştir.

Mevcut bir binada da yapılan çalışmalar benzer şekilde tamamlanmıştır. Donatı görüntülenerek, beton kalitesi ile diğeri ölçümlerin sonuçları karşılaştırılarak tamamlanmıştır.

Çalışmanın birinci aşaması, küp beton modellerinin hazırlığı için agrega seçimi ve agrega deneylerinin yapılması, daha sonrasında da betonun tasarlanması ve dökülmesi şeklinde olup detaylar aşağıda verilmiştir.

4.1. Model Beton Tasarımı

Farklı yöntemlerle beton kalitesini belirleyebilmek için, farklı beton sınıfları (C10, C20, C25, C35 ve C40) hedeflenerek beton karışımları yapılmış ve bunlardan hazırlanan 150 × 150 × 150 mm ebadında küp beton modeller üzerinde çeşitli deneyler yapılmıştır. Beton karışımları yapılırken kullanılan malzemeler ve betonun hazırlanışı aşağıda açıklanmıştır.

4.1.1. Agrega

Agrega, doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin genellikle 63 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin bir yığındır. Son zamanlarda agrega olarak doğal taş bloklarının parçalanması sonucunda elde edilen kırma taş (mıcır) kullanımı yaygınlaşmıştır (Şimşek, 2009).

Farklı karışım oranları ile farklı granülometreye bağlı olarak kullanılan agrega, betonun kalitesinin belirlenmesinde önemli bir rol almaktadır ve betonu oluşturan malzemeler içerisinde %75 gibi en büyük orandadır. Beton üretiminde kullanılan agregalar TS 706 EN 12620 standardına uygun olmalıdır.

Model betonların hazırlanmasında agrega olarak, Çanakkale ilinde bulunan taş ocaklarından çıkartılan agregalar kullanılmıştır. Konkasörlerde kırılarak farklı tane

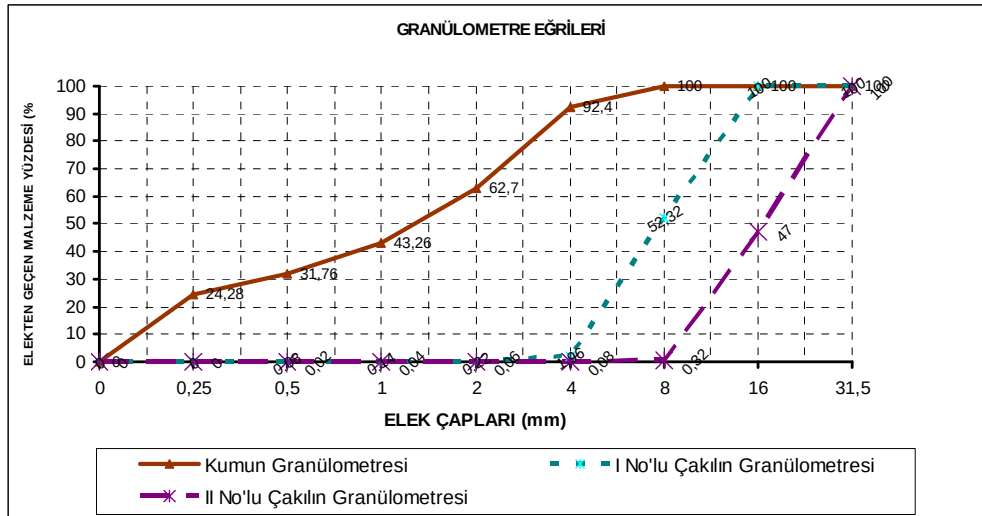
boyutlarına getirilmesi ile elde edilen agregalardan “Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi” standardına uygun olarak üç farklı büyüklükte agrega alınmış ve deneylerde kullanılmıştır (TSE, 1980).

Agregalar üzerinde ilgili standartlara uygun olarak ÇOMÜ Çanakkale Meslek Yüksekokulu Yapı Malzemeleri Laboratuvarı’nda parçalanma direnci tayini, ince malzeme tayini, tane yoğunluğu, su emme, yoğunluk tayini, metilen mavisi ve kuruma çekmesi deneyleri yapılmış ve değerleri bulunmuştur (Çizelge 4.2). Üç farklı büyüklükteki agrega üzerinde tane büyüklüğü dağılımı deneyi yapılarak incelik modülleri belirlenmiş ve ilgili sınırlar içerisinde kalacak şekilde farklı karışım oranlarında kullanılmıştır (Çizelge 4.1). Tane büyüklüğü dağılımı (granülometre) eğrileri Şekil 4.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.1. Tane büyüklüğü dağılımı deney sonuçları

Elek Çapları (mm)	Elek Üstünde Kalan (Yığılmış) Malzeme (g)			Elek Altına Geçen (Yığılmış) Malzeme (g)			Elek Altına Geçen % Malzeme Miktarları			Elek Üstünde Kalan % Malzeme Miktarları		
	Kırma Kum	I No'lu Çakıl	II No'lu Çakıl	Kırma Kum	I No'lu Çakıl	II No'lu Çakıl	Kırma Kum	I No'lu Çakıl	II No'lu Çakıl	Kırma Kum	I No'lu Çakıl	II No'lu Çakıl
31,5	0	0	0	5000	5000	5000	100	100	100	0	0	0
16	0	0	2646	5000	5000	2354	100	100	47,08	0	0	52,92
8	0	2384	4984	5000	2616	16	100	52,32	0,32	0	47,68	99,68
4	380	4902	4996	4620	98	4	92,4	1,96	0,08	7,6	98,04	99,92
2	1865	4989	4997	3135	11	3	62,7	0,22	0,06	37,3	99,78	99,94
1	2837	4993	4998	2163	7	2	43,26	0,14	0,04	56,74	99,86	99,96
0,5	3412	4996	4999	1588	4	1	31,76	0,08	0,02	68,24	99,92	99,98
0,25	3786	5000	5000	1214	0	0	24,28	0	0	75,72	100	100
Toplam										245,6	545,3	652,4
İncelik Modülü										2,456	5,453	6,524

Not: Çalışılan Numuneler 5000 g’dır.



Şekil 4.1. Agregaların tane dağılımı (granülometre) eğrileri.

Çizelge 4.2. Agregalar ile yapılan deneylerin sonuçları

	I No'lu Mıdır	II No'lu Mıdır	Kırma Kum
Los Angeles Deney Metodu ile Parçalanma Direncinin Tayini (%)	26,42	33,8	-
Parçalanma Direncinin Darbe Deneyi İle Tayini (%)	19,8	19,8	-
Agregalarda İnce Malzeme Tayini (%)	-	-	10
Metilen Mavisi Deneyi	-	-	0,50
Tane Yoğunluğu Deneyi (YKSD) (kg/dm ³)	2,70	2,70	2,60
Su Emme Deneyi (%)	0,67	0,63	0,88
Gevşek Yığın Yoğunluğu Deneyi (kg/dm ³)	1,44	1,49	1,90
Kuruma Çekmesi Deneyi	0,015		

Deneyler yapılmaya başlanmadan önce agregalar, büyüklüklerine göre ayrılıp istiflenmiştir. Deneyler için gereken miktarlar alınıp farklı büyüklüklerde yıkandıktan sonra kuruması için oda sıcaklığında bırakılmıştır (Şekil 4.2, 4.3a-b ve 4.4).



Şekil 4.2. Agregaların istiflenmesi.



Şekil 4.3. Agregaların, (a) küçük elekte, (b) büyük elekte yıkanması.



Şekil 4.4. Agregaların kuruması için oda sıcaklığında bırakılması.

Etüvde kurutulan gerekli miktarda agrega, çeşitli deneylerde kullanılmak üzere tartılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Hazırlanan agregalar üzerinde Çizelge 4.2’de belirtilen deneyler yapılmıştır (Şekil 4.5, 4.6, 4.7 ve 4.8).



Şekil 4.5. Agregaların etüvde kurutulması.



Şekil 4.6. Agregaların çeşitli deneyler için tartılarak hazırlanması.



Şekil 4.7. Los Angeles deneyi.



Şekil 4.8. Elek analizi.

4.1.2. Çimento

Çimento, hidrolik bağlayıcı maddeler olup, gerek kendi başına gerekse kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerle birlikte su ile karıştırılıp hamur haline getirildikten sonra hem havada hem de su içinde yavaş yavaş sertleşerek mekanik dirence haiz homojen bir kütle meydana getirmeye yarayan bir malzemedir (Şimşek, 2009).

Model beton numunelerinin hazırlanmasında kullanılmak üzere Çanakkale’de üretim yapan AKÇANSA Çimento Fabrikasından alınan TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilen CEM V/A (P-S) 32,5 N torbalanmış çimento kullanılmıştır. Firmanın tanıtım broşürlerinden elde edilen bilgiler ve standart değerler Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. AKÇANSA Firmasından ve standarttan alınan çimento bilgileri (TSE, 2012)

KOMPOZE ÇİMENTO TS EN 197-1 CEM V/A (P-S) 32,5 N	Standart Değer	AKÇANSA Değerleri
Rilem Harcının Basınç Dayanımı (N/mm ²)	10 (2 günlük) 32,5 (28 günlük)	15,5 (2 günlük) 36,5 (28 günlük)
Priz Süreleri (Başlangıç-Son)	1–10 saat	2 saat 20 dakika-3 saat
Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /gr)	2800	4000

4.1.3. Karışım suyu

Betonda karışım suyunun iki önemli işlevi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi, çimentonun kimyasal reaksiyonunu sağlaması ve çimentonun hidratasyonu tamamlayarak mukavemet kazandırmasıdır. İkincisi ise agrega ile çimento hamurunun aderansı, betonun boşluksuz yerleştirilip sıkıştırılmasını sağlamasıdır (Şimşek, 2009).

Laboratuvarında, model betonların hazırlanmasında kullanılan karışım suyu, içilebilecek nitelikte olan Çanakkale şebeke suyudur.

4.1.4. Tasarlanan betonların karıştırılması ve numunelerin hazırlanması

Yıkanmış ve elenerek sınıflandırılmış agregalar kullanılarak değişik dayanım değerlerinde beton üretebilmek için farklı beton karışım hesapları yapılmıştır. Bu hesaplardan yola çıkarak her bir beton sınıfından 10'ar adet model beton numunesine yetecek kadar agrega+çimento+su karışımı hazırlanmış ve bunlar beton mikseri kullanılarak taze beton elde edilmiştir (Şekil 4.9). Hazırlanan taze betonun çökme değerlerine (slump) bakıldıktan (Şekil 4.10) sonra hava miktarı belirlenerek (Şekil 4.11) 150 × 150 × 150 mm ebatlarında plastik küp kaplara doldurularak etiketlenmiş ve laboratuvar ortamında 24 saat bekletilmiştir (Şekil 4.12). 24 saatin sonunda laboratuvarında bekletilen numuneler kaplardan çıkartılarak 22°C'lik sıcaklıktaki kür havuzuna alınmış deney yapılacak güne kadar orada sabit sıcaklıkta küre bırakılmıştır (Şekil 4.13).



Şekil 4.9. Taze betonun mikserde hazırlanması.



Şekil 4.10. Hazırlanan taze betonun çökme değerine bakılması (slump).



Şekil 4.11. Taze betondaki hava miktarının belirlenmesi.



Şekil 4.12. Hazırlanan taze betonun plastik küp kalıplara dökülmesi.



Şekil 4.13. Küp beton modellerinin kürü için havuza yerleştirilmesi.

4.2. Küp Model Betonlar Üzerinde Yapılan Ölçümler

Hazırlanan $150 \times 150 \times 150$ mm boyutlarındaki küp model betonlar üzerinde, beton kalitesinin belirlenmesi için tahribatsız yöntemler ve tahribatlı yöntemler kullanılmıştır. Tahribatsız olarak kullanılan yöntemler; ultrases geçiş hızı yöntemi, beton yüzey sertliği belirleme yöntemleridir. Tahribatlı yöntem olarak da küp modeller beton basınç deneyi cihazında kırılma yöntemi kullanılmış ve değerler elde edilmiştir.

4.2.1. Kullanılan cihazlar

Tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerde kullanılan cihaz ve yöntemler aşağıda açıklanmıştır.

4.2.1.1. Ultrases test cihazı

Hazırlanan beton numunelerinin, mevcut binanın taşıyıcı yapı elemanlarının ve taşıyıcı yapı elemanlarından alınan karotların ultrases geçiş hızlarının bulunması için Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester (PUNDIT) - (Taşınabilir Ultrases Tahribatsız Dijital Göstergeli Test) adı ile de bilinen ultrases test cihazı kullanılarak ölçümler yapılmıştır. Cihaz, sahada ve laboratuvarında kullanılmak üzere tasarlanmış olup şarjlı olarak çalışmaktadır. Cihazda, biri gönderici diğeri ise alıcı olan 54 kHz frekans değerlerinde iki adet prob bulunmaktadır. PUNDIT cihazı, ultrases sinyallerin malzeme içerisine gönderilip algılanması sonucunda, sinyallerin malzeme içinden geçiş zamanını çok hassas olarak ölçebilmektedir. Cihaz, 0,1 μ s ile 999,9 μ s arasında 0,1 μ s hassasiyetle, 1 μ s ile 9999 μ s arasında 1 μ s hassasiyetle ölçüm yapmaktadır. Cihazın yaklaşık şarj süresi 16 saattir (Şekil 4.14).

PUNDIT
CihazıGönderici ve
alıcı prob lar

Şekil 4.14. PUNDIT cihazı.

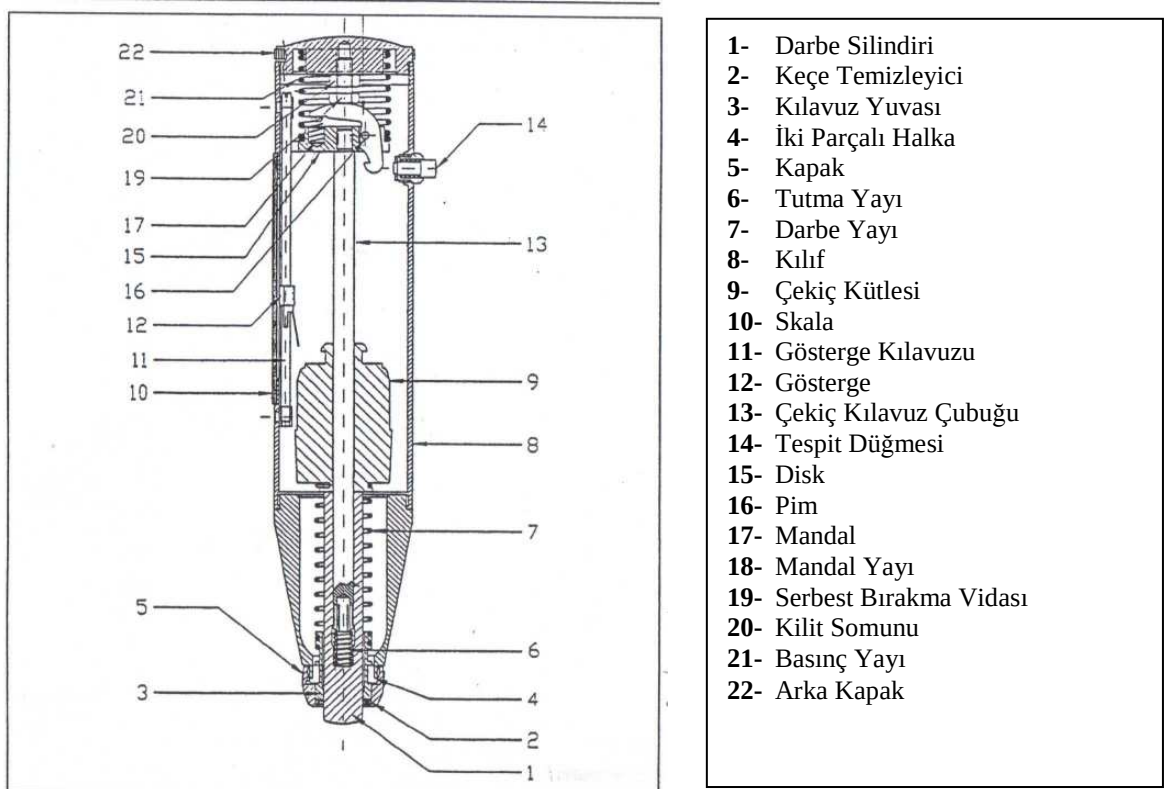
4.2.1.2. Schmidt çekici

Schmidt çekici olarak, beton malzemesi ile inşaa edilen yapıların basınç dayanımının yaklaşık olarak kısa sürede belirlenmesinde kullanılabilen geri sıçramalı N tipi çekiç kullanılmıştır. Cihazın çalışma prensibi, çekiç üzerindeki pistonun beton yüzeyine çarpıp geri sekmesi esasına dayanmaktadır. Cihaz Matest marka ve 1D0799 seri numaralı olup, vuruş enerjisi 2,207 Nm'dir (0,225 kgm) ve kalibrasyonu yapılmıştır. Yaklaşık ağırlığı 1,030 kg olduğundan hem laboratuvar da hem de şantiyelerde kullanımı kolaydır (Şekil 4.15).



Şekil 4.15. Schmidt çekici.

Testlerde kullanılan Schmidt çekicinin iç donanımı Şekil 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Schmidt çekicinin iç donanımı.

4.2.1.3. Beton basınç deney düzeneği

Hazırlanan model betonların ve mevcut binadan alınan karotların basınç dayanımlarının basınç deneyi cihazı ile kırılarak elde edilmesinde, ÇOMÜ Çanakkale Meslek Yüksekokulu Yapı Malzemeleri Laboratuvarı'nda bulunan ALFA Marka 200 ton basma kapasiteli beton basınç deney düzeneği kullanılmıştır. $150 \times 150 \times 150$ mm ve $200 \times 200 \times 200$ mm küp numuneleri ve 150×300 mm silindir numuneleri test etmeye uygun ve diğer değişik boyutlarda numuneler için yükseklik ara parçaları bulunan cihaz tam otomatik olarak bilgisayar tarafından ayarlanarak deney sonuçlarını bilgisayara kaydederek grafiklerini çıkartabilir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17. Beton basınç deney düzeneği.

4.2.2. Yapılan ölçümler

4.2.2.1. Ultrases geçiş hızlarının ölçülmesi

28. ve 90. günlerin sonunda kür havuzundan çıkartılıp 24 saat süre boyunca normal hava koşullarındaki nem oranına ulaşan küp numunelerin iki yüzünden de karşılıklı olarak ultrases geçiş süreleri bulunmuş ve ortalama değerleri alınarak, bağıntı 3.2'ye göre ultrases geçiş hızları bulunmuştur.

Geçiş sürelerinin hassas olarak ölçülebilmesi probların (ses gönderici - alıcı / transducers) beton yüzeyine tam olarak yerleştirilmesine bağlı olduğundan küp numuneler düz bir zemin üzerine konduktan sonra yüzeyleri temizlenerek testlere başlanmıştır. Karşılıklı yüzeyleri temizlendikten ve problara aderansı sağlayan jel sürüldükten sonra tam karşısına gelecek şekilde problar küplerin yüzeylerine yerleştirilmiş ve PUNDIT cihazında verilen değer kaydedilmiştir. Aynı işlem aynı küp modelin diğer yüzeyine de yapılmış ve işlem tekrarlanmıştır. Böylece bir küp beton model üzerinden karşılıklı yüzeyler olmak üzere iki değer elde edilmiş ve bunların ortalamaları alınarak küp beton numunenin geçiş hızı olarak kaydedilmiştir (Şekil 4.18).



Şekil 4.18. Küp beton modeller üzerinde ultrases geçiş hızının ölçülmesi.

4.2.2.2. Betonun yüzey sertliğinin belirlenmesi

28. ve 90. günlerin sonunda kür havuzundan çıkartılıp 24 saat süre boyunca normal hava koşullarındaki nem oranına ulaşan küp numunelerin bir yüzünden Schmidt çekici ile yüzey sertliği değerleri okunmuştur (Şekil 4.19).

Küp numuneler deney esnasında kaymaması ve sabit kalması için sabitlenerek deneye tabi tutulmuşlardır. Masaya sabitlenen küp numunelerin bir yüzü öncelikle temizlenmiştir. Temizlenen yüzey üzerinden Schmidt çekici ile toplam 10 farklı yerden yüzey sertliği değeri okuması yapılmıştır ve not edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması alınmış ve tek bir değer olarak modelin yüzey sertliği değeri olarak kaydedilmiştir.



Şekil 4.19. Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin belirlenmesi.

4.2.2.3. Küp beton modellerin basınç deney cihazı ile kırılması

7., 28. ve 90. günlerin sonunda kür havuzundan çıkartılıp 24 saat süre boyunca normal hava koşullarındaki nem oranına ulaşan küp numuneler tartıldıktan sonra beton basınç deney cihazının altına yerleştirilip sabit hızla yük uygulanarak kırılmıştır. Elde edilen sonuçlar yük-dayanım-zaman grafikleri şeklinde çıkartılmıştır. Böylece betonun dayanımı elde edilmiştir (Şekil 4.20).

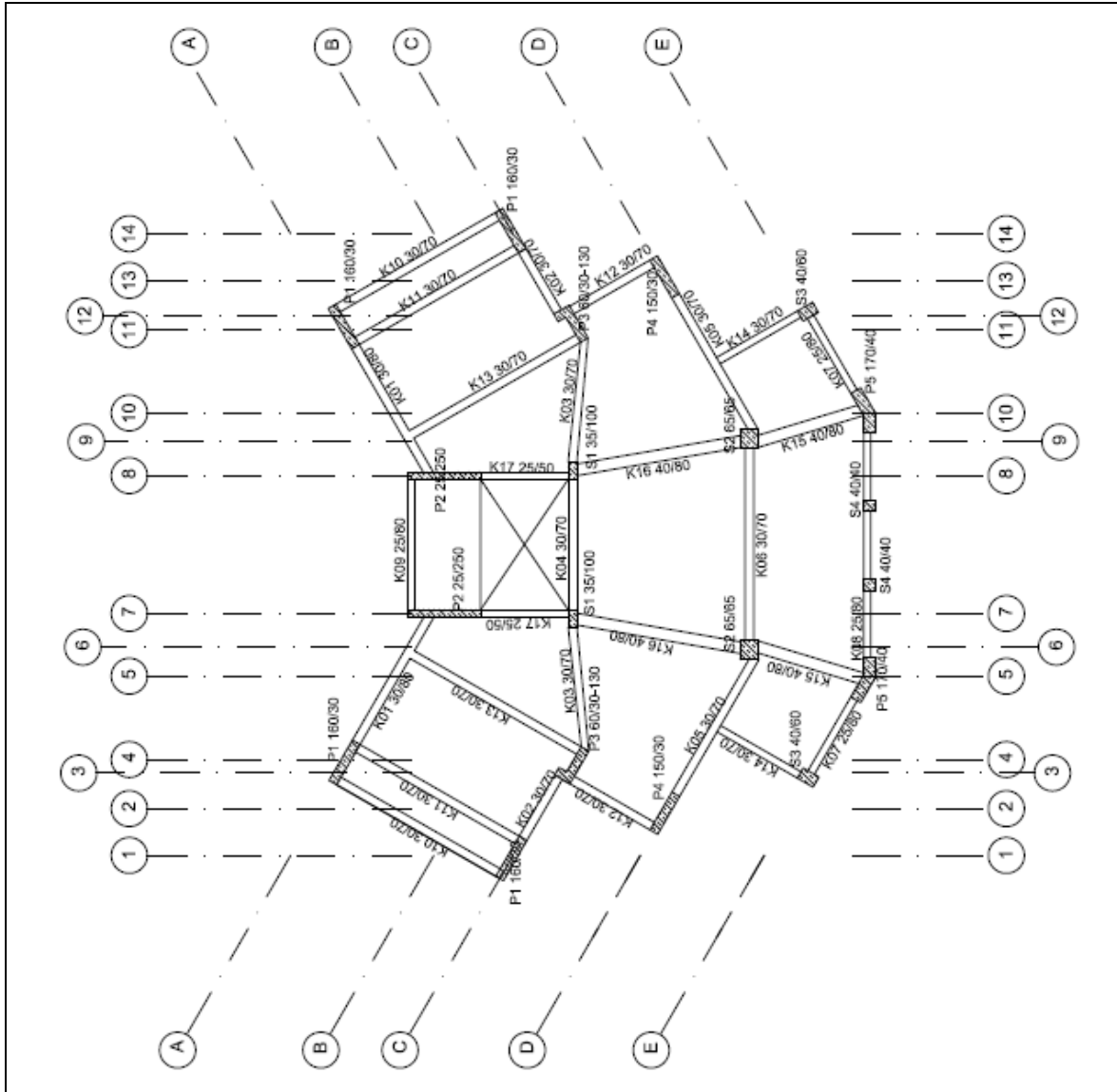


Şekil 4.20. Modellerin beton basınç deney cihazı ile kırılması.

4.3. Mevcut Bir Bina Üzerinde Yerinde Yapılan Ölçümler

Mevcut bir bina üzerinde betonun kalitesinin belirlenmesi için Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi binasının yanında bulunan zemin ve 5 normal kattan oluşan betonarme bina üzerinde çalışmalar yapılmıştır. Binanın, 1992 yılında yapımına başlanmış ancak çeşitli nedenlerden ötürü inşaatı durdurulmuştur. Zemin kat ve beş normal kattan oluşan binanın taşıyıcı elemanlarının (kolon, perde, kiriş ve döşeme) beton dökümü bitmiş ve o şekilde bırakılmıştır (Şekil 4.21).

Donatılı bir betonda ölçümler yapmak ve beton kalitesinin mevcut bir bina üzerinde belirlenmesi için kullanılan bina üzerinde farklı katlarda, farklı kolon, perde ve kirişler üzerinde çeşitli yöntemlerle testler yapılmıştır. Bu yöntemler yine tahribatsız yöntemler ve tahribatlı yöntemler olmak üzere iki şekildedir. Yöntemlerde kullanılan cihazlar aşağıda açıklanmıştır.



Şekil 4.21. Mevcut binanın kat planı.

4.3.1. Kullanılan cihazlar

Mevcut bina üzerinde, model betonlarda olduğu gibi belirlenen taşıyıcı elemanlar üzerinde betonun, ultrases geçiş hızı ve yüzey sertliği belirlenmiştir. Bu iki yöntemde kullanılan cihazlar, Madde 4.2.1.1’de anlatılan ultrases test cihazı, Madde 4.2.1.2’de anlatılan Schmidt çekici ve Madde 4.2.1.3’de anlatılan beton basınç deney düzeneği dışında aşağıda açıklanan yapı radarı (YR) ve karotiyerdir. Ayrıca, çalışmalar başladıktan sonra alınan ve laboratuvara ulaşan başka bir ultrases test cihazı ile çeşitli denemeler yapılmıştır.

4.3.1.1. Karotiyer

Mevcut yapının taşıyıcı yapı elemanlarının sertleşmiş betonundan silindirik karot almak için REMS Picus S3 Marka karotiyer kullanılmıştır. Değiştirilebilen elmas uçları ile betonarme yapılarda 200 mm çapına kadar karot almaya olanak sağlayan cihazda, kuru veya sulu olarak gerçekleştirilen delme işlemlerinde el veya ayak destek tertibatlı ile yönlendirilerek kullanılabilir. Dar alanlarda veya duvar kenarlarında da gerçekleştirilecek uygulamalar için uygun olarak tasarlanmıştır 7,4 kg ağırlığı ile şantiyelerde kolaylıkla taşınabilir ve kullanılabilir. Yük altında delme mili için en uygun devir seçme olanağı sağlayan 3 hız kademeli dişli kutusu donanımına sahip cihazı delme derinliği 420 mm’dir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22. Karotiyer.

4.3.1.2. Yapı radarı (YR)

Mevcut yapının taşıyıcı elemanlarında donatıların yerinin tespiti için MALA GEOSCIENCE marka, GPR-CX model “Yapı Radarı” 1,0 GHz ve 2,3 GHz frekanslı antenler ile kullanılmıştır (Şekil 4.23). Cihaz, bir betonarme yapının tahribatsız yöntemlerle araştırılıp görüntülenebilmesi için tasarlanmıştır. YR sistemi elektromanyetik frekanslar ile bilgi toplamaya dayanmaktadır. YR sinyalleri seyahat ortamlarının fiziksel ve kimyasal özelliklerine göre hızlarını belirleyerek hedefe ulaşır ve hedef hakkında da bilgi toplar. YR sinyallerinin seyahat süreleri nanosaniye (10^{-9} ns) cinsinden belirlenir. Bu şekilde, incelenen yapı içerisindeki donatıların yerlerinin tespitinde de kullanılabilir. Bu da mevcut binaların güvenli bir biçimde incelenmesine ek bir katkı sağlamış olur.



Şekil 4.23. Yüksek frekanslı radar (2,3 ve 1,0 GHz) uygulaması.

4.3.1.3. Ultrases test cihazı

Mevcut yapının bazı taşıyıcı elemanlarında PUNDIT ile ölçümler yapılmıştır ayrıca deneme ölçümleri yapmak üzere MATEST marka ultrases test cihazı kullanılmıştır. Mikroişlemci kontrollü olan, ultrases dalganın malzeme içinden geçiş zamanı ve hızını ölçebilen MATEST marka cihaz, 0-9999,9 μ s zaman aralığında ve 24-220 kHz aralığında ölçüm yapabilmektedir.

4.3.2. Yapılan ölçümler**4.3.2.1. Ultrases geçiş hızlarının ölçülmesi**

Mevcut bina üzerindeki kolon ve perdelerde toplam 11 adet taşıyıcı elemanda ölçümler yapılmıştır. Bir eleman üzerinde 10 cm ara ile toplamda 20 adet noktadan karşılıklı olarak ölçümler PUNDIT ile yapılarak kaydedilmiş ve sonunda ölçüm noktalarının da gösterildiği bir çizim ile okunan değerler grafikler haline getirilmiştir.

Ayrıca yeni cihaz ile karşılaştırma yapmak üzere bir kolondan okuma yapılmıştır (Şekil 4.24). Kirişlerin yüzeyleri düzgün olmadığından sadece bir kiriş üzerinden ultrases hızlarının ölçümü yapılabilmiş, karot alınan yerlerde ölçümler yapılarak hem kiriş donatılarının etkileri hem de karot yerinin etkisi değerlendirilmeye çalışılmıştır (Şekil 4.25).



Şekil 4.24. Kolonlar üzerinde ultrases geçiş süresinin ölçülmesi.



Şekil 4.25. Kiriş üzerinde ultrases geçiş süresinin ölçülmesi.

4.3.2.2. Betonun yüzey sertliğinin belirlenmesi

Mevcut bina üzerinde ultrases geçiş hızlarının belirlendiği 23 taşıyıcı elemanın üzerinde yine daha önceden belirlenen 10 cm ara ile toplamda 20 adet noktada Schmidt çekici ile yüzey sertliği değerlerin ölçülmüştür ve noktalarının da gösterildiği bir çizim ile okunan değerler grafikler haline getirilmiştir (Şekil 4.26).



Şekil 4.26. Belirlenen elemanlar üzerinde Schmidt çekici ile yüzey sertlik değerlerinin okunması.

4.3.2.3. Yapı Radarı (YR) ile taşıyıcı elemanların donatılarının görüntülenmesi

Mevcut bina üzerinde 11 adet düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde 90×90 cm’lik bir alanda yapı radarı cihazı kullanılarak donatıların yerlerinin tespit edilmiştir (Şekil 4.27a). Bu bölgelerden elde edilen sonuçlar ile ultrases geçiş hızları ve yüzey sertliği değerleri karşılaştırılmaya çalışılmıştır.

Önceden hazırlanan 90×90 cm ebatındaki şablon düşey taşıyıcı elemanın bir yüzüne düzgünce yerleştirildikten sonra cihaz “0” değerinden başlayarak yatay olarak ilerletilmiş ve bu arada elde edilen bilgilerin görüntüleri ekrandan takip edilerek donatıların yerleri tespit edilebilmiştir. Şablonun yeri sabit tutularak, cihazla bu sefer “10” değerinde yatay olarak okumalar yapılmış ve kaydedilmiştir. İşlem 90 cm değerine kadar 10 cm’li aralar ile tekrarlanmıştır. Yatay olarak okumalar bittikten sonra bu sefer de düşey olarak 0–90 cm değerleri arasında 10 cm’lik aralar ile okumalar yapılmış ve her biri ayrı ayrı kaydedilerek görüntüler saklanmıştır. Böylece 90×90 cm’lik bir alan taranmış olup o bölge için veriler elde edilmiştir. Elde edilen veriler daha sonra işlenerek görsel olarak da donatıların yerlerini gösteren bir çizim şeklinde sunulmaya çalışılmıştır (Şekil 4.27b ve c).



Şekil 4.27. Yapı radarı ile okumaların (a) şablon yardımı ile (b) perde beton üzerinde yapılması (1,0 GHz anten ile), (c) kolonda yapılması (2,3 GHz anten ile).

4.3.2.4. Karotların alınması

Mevcut binada düşey taşıyıcı elemanlarının donatı sıklığı sebebi ile 9,4 cm çapında karot almak mümkün olmamıştır (Şekil 4.28). Bu nedenle, farklı katlardan ve farklı kirişlerden (Şekil 4.29) 9,4 cm çapında ve 18,8 cm yüksekliğinde toplam 12 adet karot alınmıştır (Şekil 4.30). Alınan karotlar etiketlendikten sonra deneyleri yapılmak üzere laboratuvara götürülmüştür.



Şekil 4.28. Düşey taşıyıcı elemanlardaki donatı sıklığı.



Şekil 4.29. Kirişlerden karot alınması.



Şekil 4.30. Binadan alınan karotların görüntüsü.

4.3.2.5. Karotlar üzerinde yapılan deneyler

Öncelikle alınan karotların başları çap/boy oranı 1/2 olacak şekilde kesilmiş ve PUNDIT ile ultrases geçiş hızları belirlenmiştir (Şekil 4.31). Bunun için karşılıklı iki yüzeyine yerleştirilen problara öncelikle jel sürülmüş ve sonrasında değerler okunmuştur. Daha sonra kükürt ile başlıklararak deneye hazır hale getirilen numuneler (Şekil 4.32) beton basınç deney cihazına yerleştirilerek sabit hızla yüklenmiş ve kırılmıştır (Şekil 4.33).



Şekil 4.31. Karotların ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi.



Şekil 4.32. Başlıklararak deneye hazır hale getirilen karotlar.



Şekil 4.33. Karotların basınç deney cihazı ile kırılması.

BÖLÜM 5
ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA**5.1. Farklı Yöntemlerle Beton Kalitesinin Belirlenmesi****5.1.1. Küp beton modeller üzerinde yapılan incelemeler**

Kür havuzunda bekletilen küp numuneler 7., 28. ve 90. günün sonunda havuzdan çıkartılarak 24 saat süre ile normal oda koşullarında kurutularak hava kurusu olana kadar bekletilmiştir. Normal hava koşullarındaki nem oranına gelen 7 günlük küp numunelerden bir tanesi, dayanımları hakkında bir ön fikir alabilmek için sadece beton basınç deney cihazında kırılmıştır. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. 7 günlük küp numunelerin beton basınç deney cihazında kırılma sonucu bulunan değerleri

Numune		Ağırlık (g)	Boyut (mm)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Kırılma yükü (N)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)
1	I-1	8025	150×150×150	2,38	395160	17,56
2	II-1	7729		2,29	167280	7,435
3	III-1	7763		2,30	844900	37,551
4	IV-10	8124		2,41	824520	36,645
5	V-1	7571		2,24	563180	25,03

Betonun asıl dayanım değerlerini alabilmek için 28. ve 90. günler sonunda, kür havuzundan çıkartılıp hava kurusuna getirilen numuneler üzerinde daha önceden değinilen 3 inceleme yöntemi kullanılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.2’de verilmiştir. Ölçümler için 28 günlük numunelerden altışar adet, 90 günlük numunelerden üçer adet (sadece V. grup numunelerden 90. günlüklerinden beş adet) kullanılmıştır.

Çizelge 5.2. 28 ve 90 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri

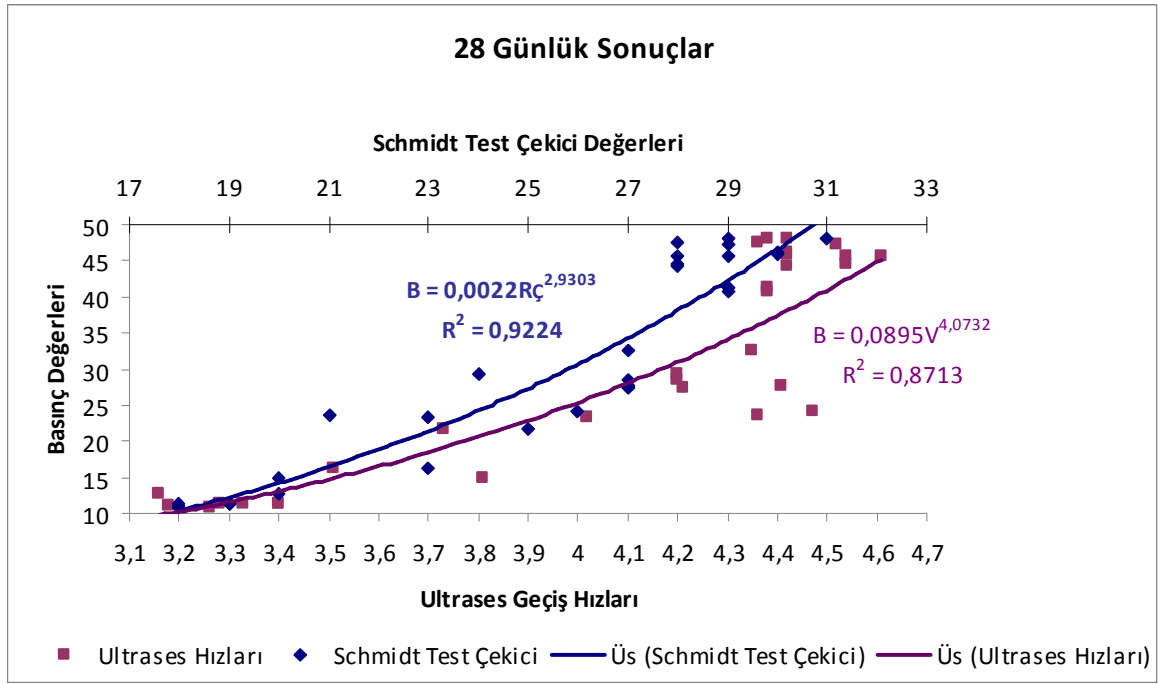
28 Günlük Değerler																
No	Numune	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)			Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)											Kırılma (Basınç) Değeri (MPa)
		I	II	Ortalama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama	
1	I-2	33,73	37,55	35,64	24	28	25	34	23	28	30	23	26	26	27	27,28
2	I-3	35,12	36,34	35,73	21	22	27	24	26	25	20	22	22	26	24	29,41
3	I-4	35,99	35,47	35,73	26	28	25	26	22	23	32	22	35	32	27	28,55
4	I-5	34,6	33,39	34	20	29	26	35	29	28	24	26	32	23	27	27,73
5	I-6	35,29	33,56	34,43	20	26	18	24	18	23	22	19	19	20	21	23,51
6	I-7	32,52	34,6	33,56	26	26	24	21	24	32	27	23	24	29	26	24,08
7	II-2	43,37	46,59	44,98	19	20	17	19	20	19	18	21	19	20	19	11,347
8	II-3	45,87	45,69	45,78	18	18	15	20	20	18	17	18	21	19	18	11,283
9	II-4	43,91	44,43	44,17	21	19	19	21	19	18	18	16	22	18	19	11,34
10	II-5	44,08	44,26	44,17	22	20	20	16	15	17	21	19	17	18	19	11,443
11	II-6	47,84	46,4	47,12	19	19	18	17	17	17	20	18	18	19	18	11,092
12	II-7	46,05	45,87	45,96	19	19	18	18	16	20	18	19	19	16	18	10,919
13	III-2	34,08	34,43	34,26	33	32	31	27	29	28	27	28	26	28	29	48,216
14	III-3	33,43	34,38	33,91	32	30	29	29	27	26	32	31	32	27	30	46,301
15	III-4	33,84	34,67	34,26	32	29	28	30	28	29	27	32	29	26	29	40,698
16	III-5	33,98	34,53	34,26	32	27	28	29	27	31	30	28	29	31	29	41,342
17	III-6	34,41	34,45	34,43	33	26	28	29	26	34	25	26	25	30	28	47,603
18	III-7	33,74	34,08	33,91	34	28	29	26	27	24	34	27	26	24	28	44,188
19	IV-1	32,88	33,56	33,22	32	32	26	27	30	28	28	27	31	30	29	47,163
20	IV-2	33,39	32,7	33,05	32	28	30	26	28	30	32	31	28	28	29	45,523
21	IV-3	33,06	33,04	33,05	33	31	25	26	27	28	26	28	27	31	28	44,604
22	IV-4	34,6	33,22	33,91	34	31	32	30	30	30	31	33	26	29	31	48,024
23	IV-5	34,43	33,39	33,91	32	31	33	31	28	30	29	30	31	25	30	45,988
24	IV-6	31,68	33,38	32,53	31	29	29	28	28	28	27	27	27	29	28	45,746
25	V-2	38,78	40,01	39,4	23	20	22	13	18	18	24	26	19	17	20	14,991
26	V-3	37,03	37,55	37,29	26	23	24	23	28	21	24	21	19	24	23	23,23
27	V-4	43,9	51,06	47,48	20	17	19	21	24	19	17	21	26	19	20	12,604
28	V-5	34,08	34,94	34,51	22	25	29	23	31	28	29	31	26	23	27	32,491
29	V-6	40,01	40,36	40,19	27	29	22	26	20	26	24	18	26	29	25	21,807
30	V-7	42,66	42,84	42,75	26	24	25	21	22	26	21	22	20	18	23	16,14

90 Günlük Değerler																
No	Numune	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)			Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)											Kırılma (Basınç) Değeri (MPa)
		I	II	Ortalama	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama	
1	I-8	34,08	34,43	34,26	25	27	21	25	28	26	25	26	30	25	26	32,73
2	I-9	35,38	36,59	35,99	32	29	29	33	26	27	27	31	25	24	28	33,077
3	I-10	34,28	34,24	34,26	32	29	28	28	25	25	30	22	24	29	27	34,143
4	II-8	40,01	40,01	40,01	25	19	22	20	21	21	19	22	17	18	20	14,116
5	II-9	40,72	40,72	40,72	21	20	19	19	17	20	15	18	19	15	18	14,429
6	II-10	39,73	41,35	40,54	22	18	17	17	20	18	18	17	19	21	19	14,168
7	III-8	33,42	31,63	32,53	30	34	29	25	28	27	26	26	24	30	28	48,535
8	III-9	33,74	34,08	33,91	29	28	28	28	27	22	29	25	26	27	27	47,616
9	III-10	34,95	34,24	34,6	32	29	31	29	31	26	25	26	26	29	28	47,578
10	IV-7	31,5	30,65	31,08	32	31	34	36	32	28	30	26	30	28	31	47,839
11	IV-8	31,5	31,5	31,5	32	31	34	31	24	32	35	33	26	30	31	48,522
12	IV-9	31,68	31,5	31,59	33	31	32	33	26	28	30	29	29	26	30	45,031
13	V-8	36,86	34,6	35,73	34	26	39	39	22	26	20	36	25	33	30	26,038
14	V-9	37,03	37,55	37,29	30	29	26	23	24	25	25	20	27	22	25	25,942
15	V-10	39,13	35,99	37,56	33	20	25	20	25	25	20	22	21	26	24	26,504
16	V-11	39,48	37,9	38,69	15	19	23	26	34	16	21	22	17	21	21	22,209
17	V-12	39,31	39,65	39,48	21	38	22	24	31	29	24	24	24	24	26	27,94

Elde edilen tüm değerler ve karşılaştırma grafikleri toplu olarak Çizelge 5.3’de ile Şekil 5.1’de verilmiştir. Burada basınç değerleri ile ultrases geçiş hızları ve Schmidt çekici değerleriyle oluşturulan grafikler üssel olarak çizilmiştir.

Çizelge 5.3. Toplu olarak 28 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri

Numune	Ağırlık (g)	Boyut (mm)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Kırılma yükü (N)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1	I-2	7922	2,35	613860	27,28	35,64	27
2	I-3	7962	2,36	661680	29,41	35,73	24
3	I-4	8022	2,38	642300	28,55	35,73	27
4	I-5	8130	2,41	623920	27,73	34	27
5	I-6	8256	2,45	528860	23,51	34,43	21
6	I-7	8175	2,42	541780	24,08	33,56	26
7	II-2	7887	2,34	255300	11,347	44,98	19
8	II-3	7803	2,31	253860	11,283	45,78	18
9	II-4	7786	2,31	255160	11,34	44,17	19
10	II-5	7769	2,3	257460	11,443	44,17	19
11	II-6	7647	2,27	249560	11,092	47,12	18
12	II-7	7694	2,28	245680	10,919	45,96	18
13	III-2	7765	2,3	1084860	48,216	34,26	29
14	III-3	7761	2,3	1041780	46,301	33,91	30
15	III-4	7748	2,3	915700	40,698	34,26	29
16	III-5	7863	2,33	930200	41,342	34,26	29
17	III-6	7800	2,31	1071060	47,603	34,43	28
18	III-7	7806	2,31	994240	44,188	33,91	28
19	IV-1	8137	2,41	1061160	47,163	33,22	29
20	IV-2	8151	2,42	1024260	45,523	33,05	29
21	IV-3	8169	2,42	1003580	44,604	33,05	28
22	IV-4	8169	2,42	1080540	48,024	33,91	31
23	IV-5	8168	2,42	1034740	45,988	33,91	30
24	IV-6	8202	2,43	1029280	45,746	32,53	28
25	V-2	7453	2,21	337300	14,991	39,4	20
26	V-3	7545	2,24	522680	23,230	37,29	23
27	V-4	7224	2,14	283600	12,604	47,48	20
28	V-5	7647	2,27	731040	32,491	34,51	27
29	V-6	7479	2,22	490660	21,807	40,19	25
30	V-7	7488	2,22	363140	16,14	42,75	23



Şekil 5.1. 28 günlük değerlerin toplu sonuçlarının grafiksel gösterimi.

Çizilen grafikte basınç değeri (B), ultrases geçiş hızları (V) ve Schmidt çekici değerleri ($R_{\text{ç}}$) harfi ile gösterilmiştir.

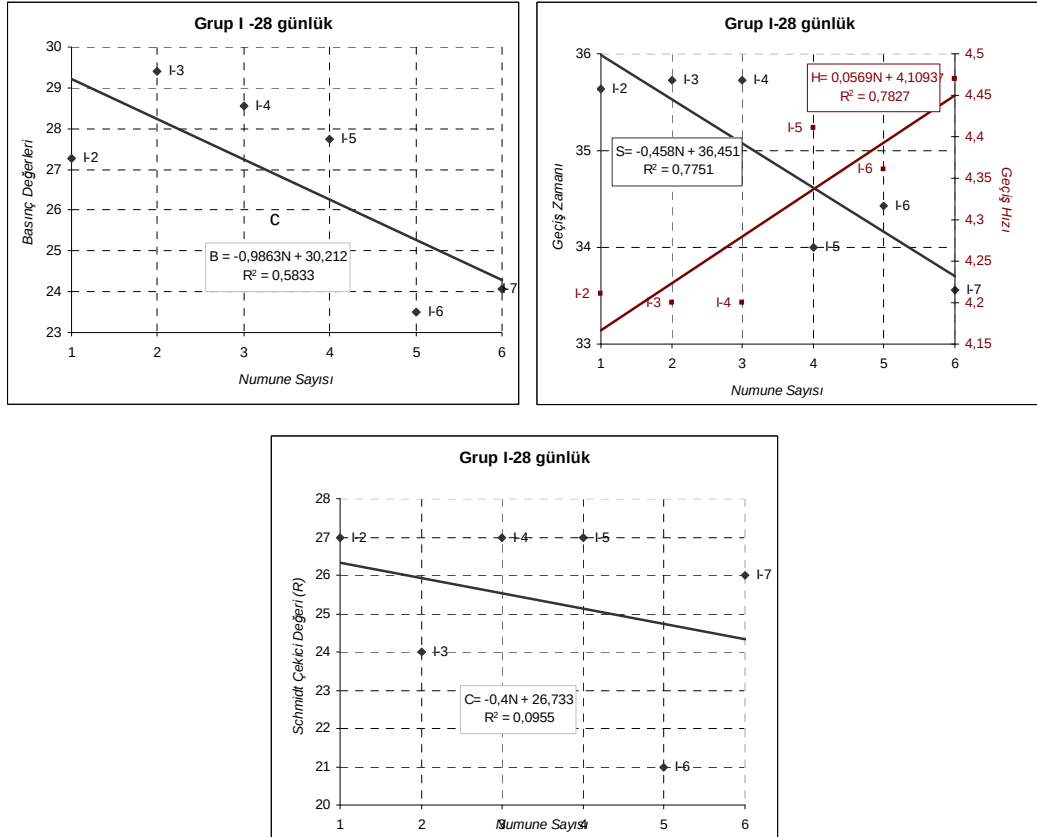
Bu veriler farklı beton basınç dayanımı değerlerine göre gruplandırılmıştır. Beş farklı kalitede beton dayanımı sonuçları ayrı ayrı incelenmiş ve basınç aralıklarına göre grafikleri oluşturulmuştur.

Farklı kalitelerdeki beton grupları ayrı ayrı incelenerek dayanım değeri, geçiş süresi ve (R) değerleri arasında bir ilişki bulunmaya çalışılmış ve bunlarla ilgili değerler aşağıdaki çizelge ve şekillerde verilmiştir

I. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 34,85 μ s, Schmidt çekiçi (R) ortalama değeri 25,33 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 26,76 MPa olarak bulunmuştur. Basınç değerleri ve ultrases geçiş süresi değerlerinde saçılma görülmezken, Schmidt çekiçi değerlerinde saçılmalara rastlanmıştır (Çizelge 5.4 ve Şekil 5.2).

Çizelge 5.4. I. Grup beton numunelerinin değerleri

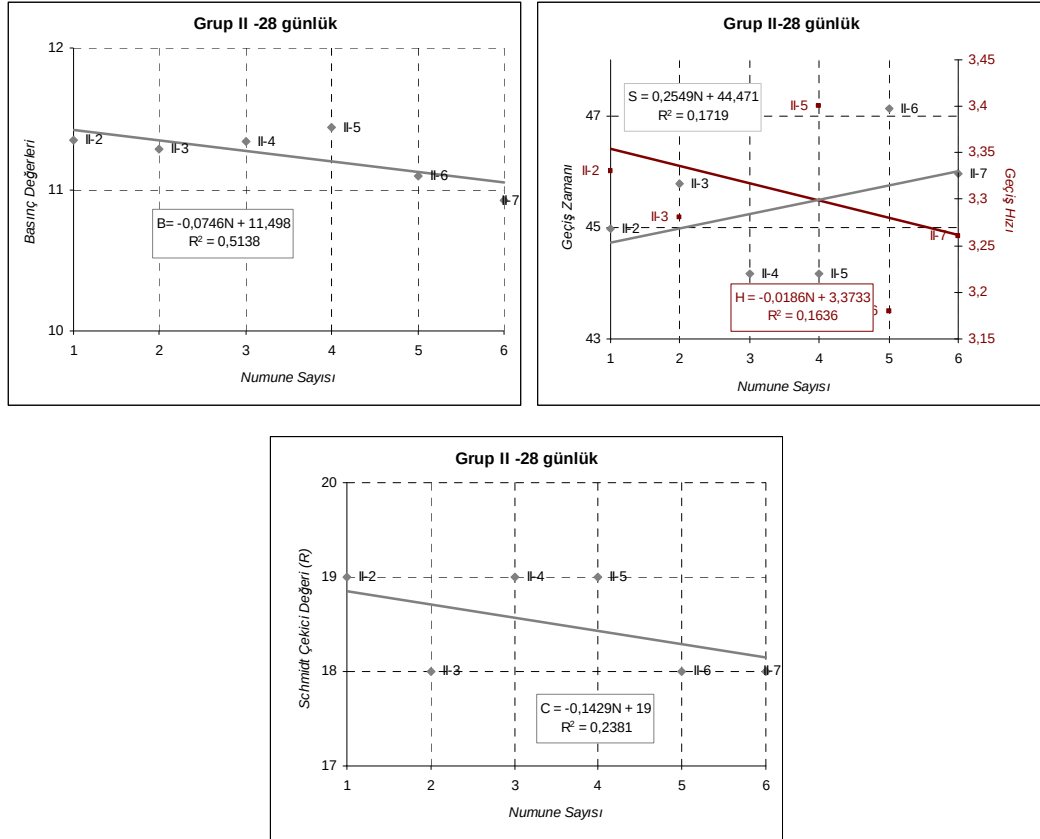
28 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiçi Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
1	I-2	35,64	4,21	27	18	27,28
2	I-3	35,73	4,2	24	14	29,41
3	I-4	35,73	4,2	27	18	28,55
4	I-5	34	4,41	27	18	27,73
5	I-6	34,43	4,36	21	11	23,51
6	I-7	33,56	4,47	26	17	24,08



II. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 45.36 μ s, Schmidt çekiçi (R) ortalama değeri 18,5 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 11,2 4MPa olarak bulunmuştur. Basınç değerleri, Schmidt çekiçi değerleri ve ultrases geçiş süresi değerlerinde saçılma görülmemiştir (Çizelge 5.5 ve Şekil 5.3).

Çizelge 5.5. II. Grup beton numunelerinin değerleri

28 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiç Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
7	II-2	44,98	3,33	19	10	11,347
8	II-3	45,78	3,28	18	10	11,283
9	II-4	44,17	3,4	19	10	11,34
10	II-5	44,17	3,4	19	10	11,443
11	II-6	47,12	3,18	18	10	11,092
12	II-7	45,96	3,26	18	10	10,919

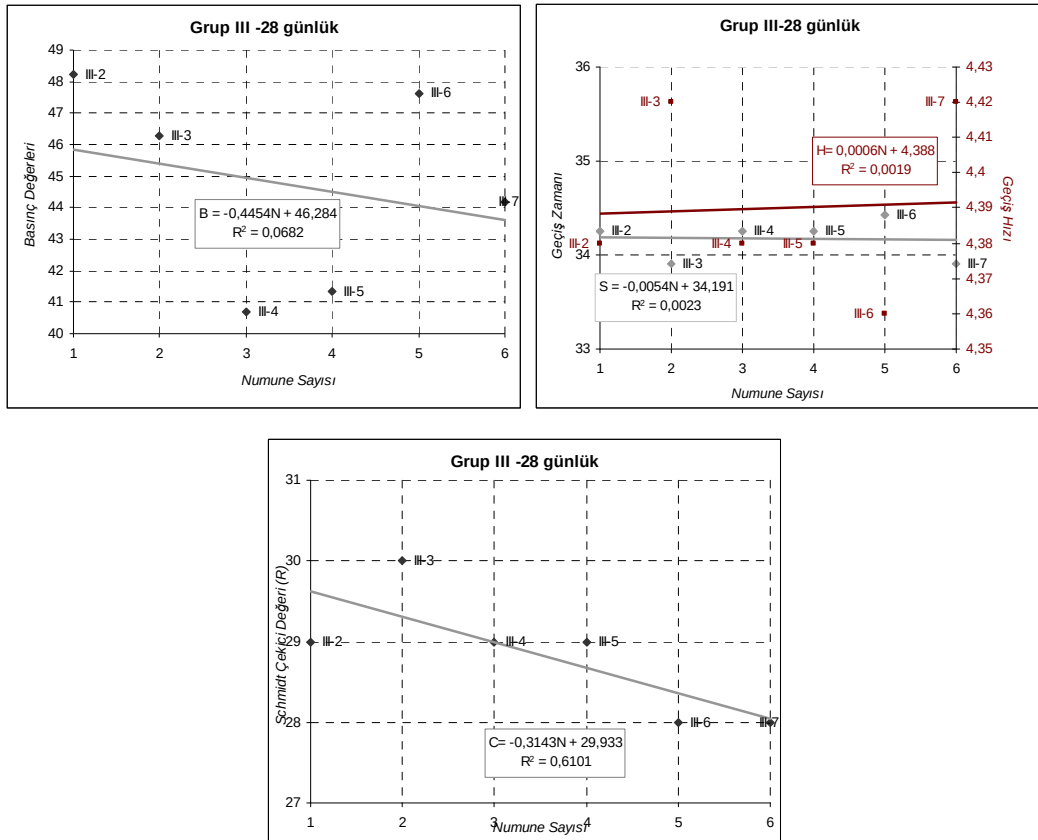


Şekil 5.3. II. Grup beton numunelerinin değerleri.

III. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 34.17 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 28,83 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 44,72 MPa olarak bulunmuştur. Ultrases geçiş süresi ve Schmidt çekici değerlerinde saçılma görülmezken, Basınç değerlerinde saçılmalar rastlanmıştır (Çizelge 5.6 ve Şekil 5.4).

Çizelge 5.6. III. Grup beton numunelerin değerleri

28 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiç Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
13	III-2	34,26	4,38	29	22	48,216
14	III-3	33,91	4,42	30	24	46,301
15	III-4	34,26	4,38	29	22	40,698
16	III-5	34,26	4,38	29	22	41,342
17	III-6	34,43	4,36	28	20	47,603
18	III-7	33,91	4,42	28	20	44,188

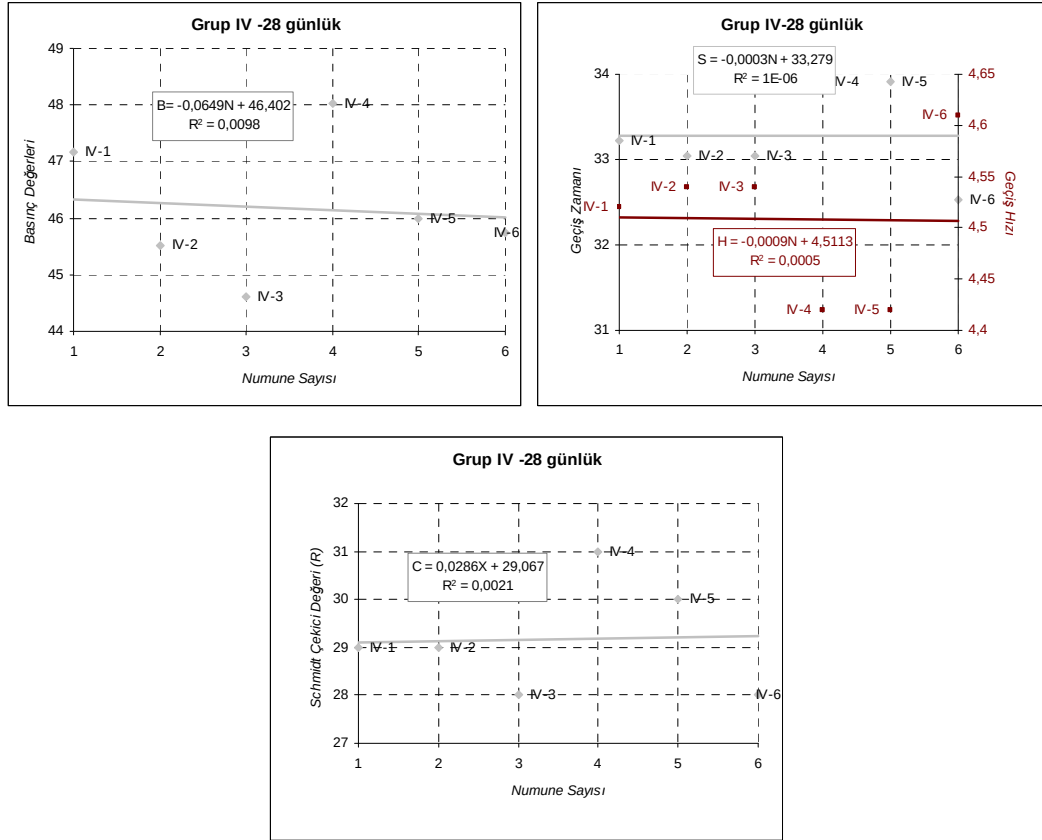


Şekil 5.4. III. Grup beton numunelerin değerleri.

IV. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 33,28 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 29,17 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 46,17 MPa olarak bulunmuştur. Basınç ve ultrases geçiş süresi değerlerinde saçılma görülmezken, Schmidt çekici değerlerinde saçılmalar rastlanmıştır (Çizelge 5.7 ve Şekil 5.5).

Çizelge 5.7. IV. Grup beton numunelerin değerleri

28 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekici Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
19	IV-1	33,22	4,52	29	22	47,163
20	IV-2	33,05	4,54	29	22	45,523
21	IV-3	33,05	4,54	28	20	44,604
22	IV-4	33,91	4,42	31	25	48,024
23	IV-5	33,91	4,42	30	24	45,988
24	IV-6	32,53	4,61	28	20	45,746

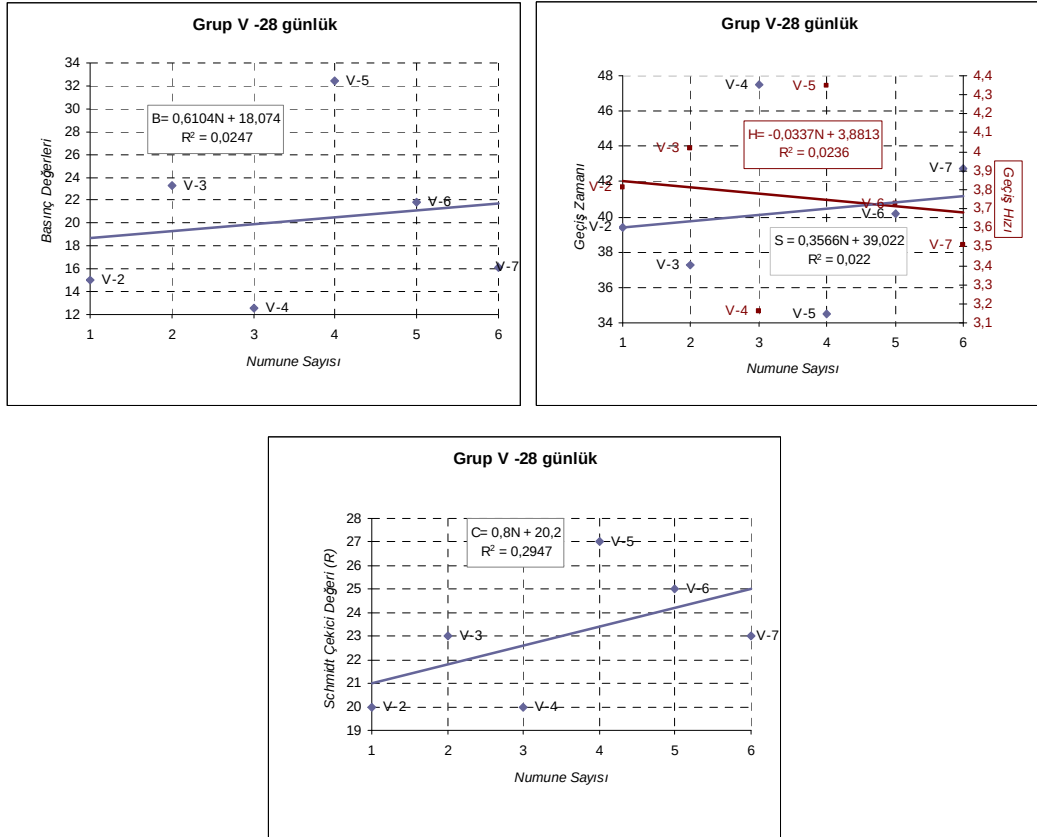


Şekil 5.5. IV. Grup beton numunelerin değerleri.

V. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 40,27 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 23 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 20,21 MPa olarak bulunmuştur. Bu grup numunelerin grafikleri incelendiğinde basınç, ultrases geçiş süresi ve Schmidt çekici değerlerinde saçılmalara görülmektedir (Çizelge 5.8 ve Şekil 5.6).

Çizelge 5.8. V. Grup beton numunelerin değerleri

28 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekici Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
25	V-2	39,4	3,81	20	10	14,991
26	V-3	37,29	4,02	23	13	23,23
27	V-4	47,48	3,16	20	10	12,604
28	V-5	34,51	4,35	27	18	32,491
29	V-6	40,19	3,73	25	16	21,807
30	V-7	42,75	3,51	23	13	16,14

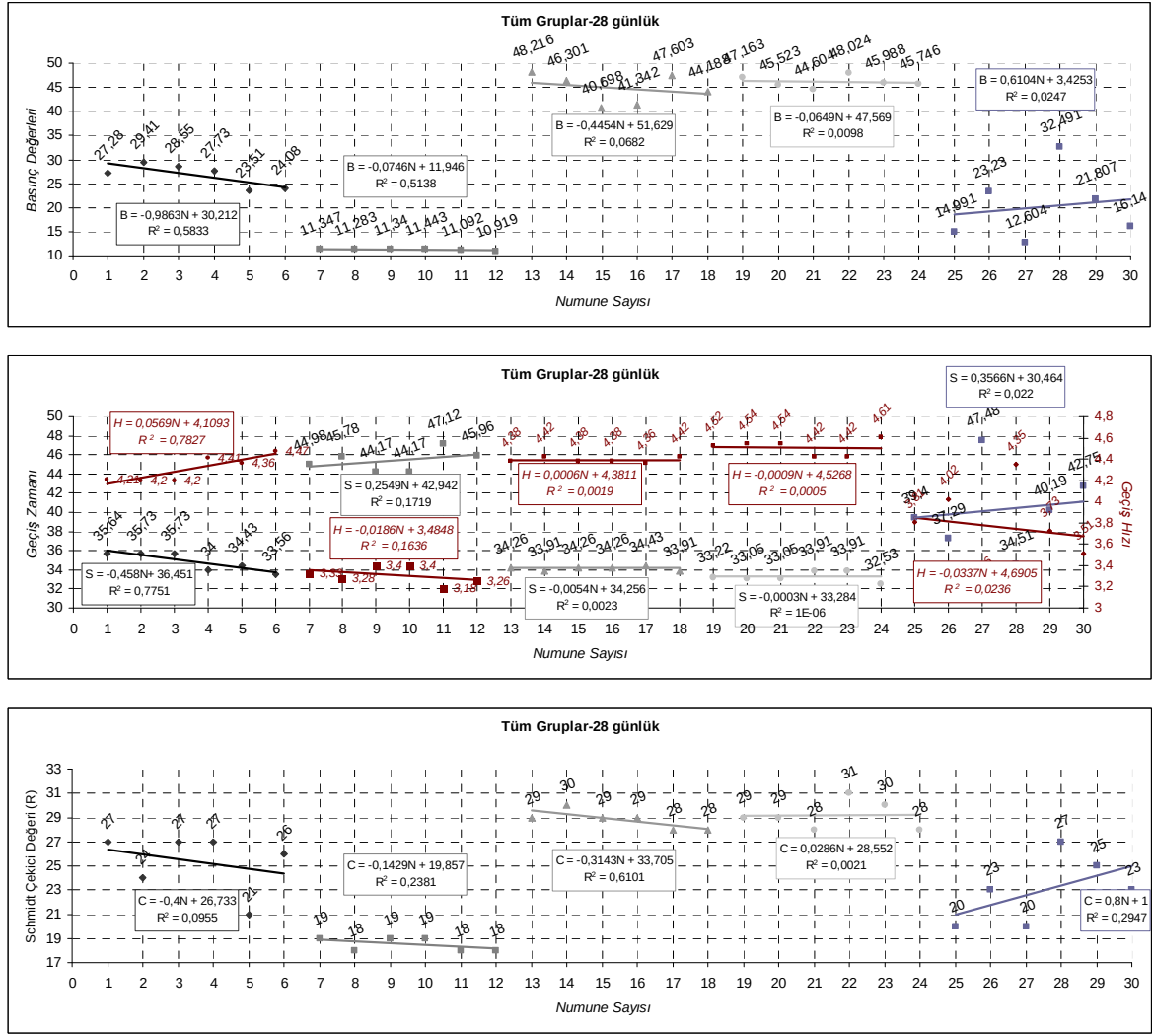


Şekil 5.6. V. Grup beton numunelerin değerleri.

Hazırlanan beş farklı beton kalitesindeki model betonların 28 günlük toplu olarak sonuçları tablo olarak ve grafik şeklinde Çizelge 5.9’da ve Şekil 5.7’de verilmiştir.

Çizelge 5.9. Farklı beton basınç dayanımlarına göre sınıflandırma

28 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (µs)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiç Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
1	I-2	35,64	4,21	27	18	27,28
2	I-3	35,73	4,2	24	14	29,41
3	I-4	35,73	4,2	27	18	28,55
4	I-5	34	4,41	27	18	27,73
5	I-6	34,43	4,36	21	11	23,51
6	I-7	33,56	4,47	26	17	24,08
7	II-2	44,98	3,33	19	10	11,347
8	II-3	45,78	3,28	18	10	11,283
9	II-4	44,17	3,4	19	10	11,34
10	II-5	44,17	3,4	19	10	11,443
11	II-6	47,12	3,18	18	10	11,092
12	II-7	45,96	3,26	18	10	10,919
13	III-2	34,26	4,38	29	22	48,216
14	III-3	33,91	4,42	30	24	46,301
15	III-4	34,26	4,38	29	22	40,698
16	III-5	34,26	4,38	29	22	41,342
17	III-6	34,43	4,36	28	20	47,603
18	III-7	33,91	4,42	28	20	44,188
19	IV-1	33,22	4,52	29	22	47,163
20	IV-2	33,05	4,54	29	22	45,523
21	IV-3	33,05	4,54	28	20	44,604
22	IV-4	33,91	4,42	31	25	48,024
23	IV-5	33,91	4,42	30	24	45,988
24	IV-6	32,53	4,61	28	20	45,746
25	V-2	39,4	3,81	20	10	14,991
26	V-3	37,29	4,02	23	13	23,23
27	V-4	47,48	3,16	20	10	12,604
28	V-5	34,51	4,35	27	18	32,491
29	V-6	40,19	3,73	25	16	21,807
30	V-7	42,75	3,51	23	13	16,14



Şekil 5.7. Farklı beton kalitesindeki numunelerin bulunan sonuçlarının toplu gösterimi.

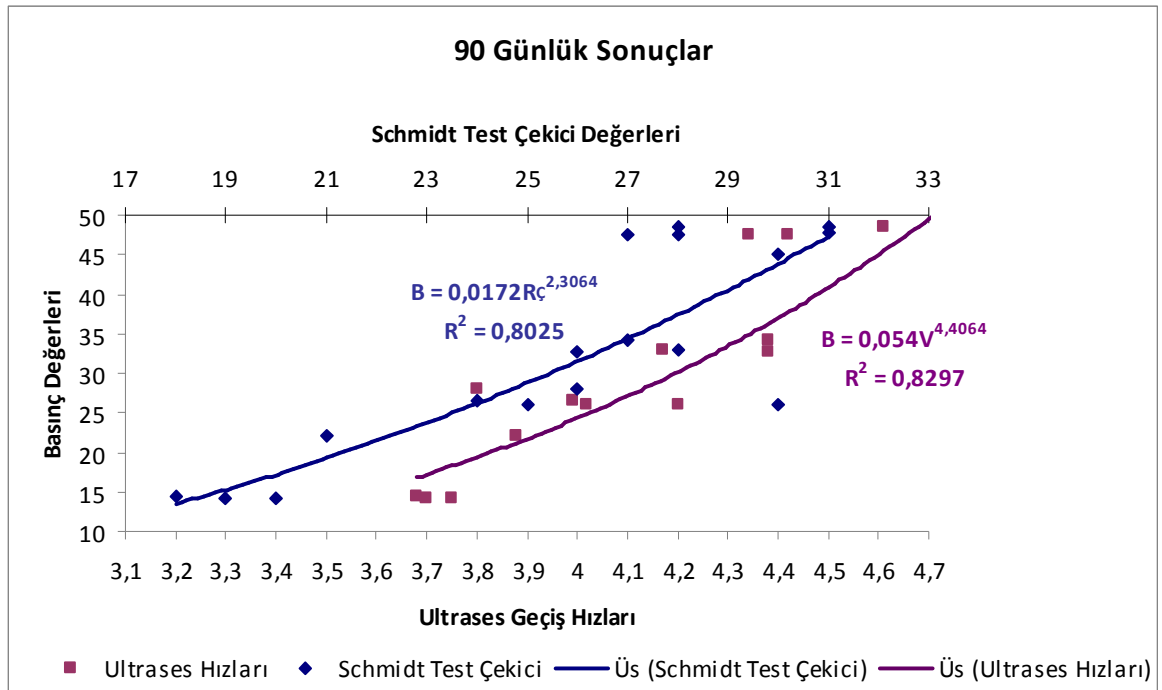
Buradaki toplu sonuçlardan da görülebileceği gibi beton kalitesinde artış olduğunda basınç dayanımında yükselme, geçiş zamanlarında azalma ve Schmidt çekici (R) değerlerinde de artış vardır.

Yukarıda verilen değerler model betonların 28 günlük değerleridir. Aynı testler aynı grup beton numuneleri 90. günlerinde de yapılmıştır. Bu şekilde zamana bağlı olarak da değişimler gözlemlenmeye çalışılmıştır.

90 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri Çizelge 5.10'da verilmiştir. Ayrıca yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırılması Şekil 5.8'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.10. Toplu olarak 90 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri

Numune	Ağırlık (g)	Boyut (mm)	Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)	Kırılma yükü (N)	Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1	I-8	8060	2,39	736340	32,73	34,26	26
2	I-9	7976	2,36	744240	33,077	35,99	28
3	I-10	8039	2,38	768220	34,143	34,26	27
4	II-8	7668	2,27	317620	14,116	40,01	20
5	II-9	7638	2,26	324660	14,429	40,72	18
6	II-10	7807	2,31	318780	14,168	40,54	19
7	III-8	7889	2,34	1092040	48,535	32,53	28
8	III-9	7849	2,33	1071360	47,616	33,91	27
9	III-10	7775	2,3	1070500	47,578	34,6	28
10	IV-7	8183	2,42	1076380	47,839	31,08	31
11	IV-8	8211	2,43	1091740	48,522	31,5	31
12	IV-9	8183	2,42	1013200	45,031	31,59	30
13	V-8	7473	2,21	585860	26,038	35,73	30
14	V-9	7435	2,2	583700	25,942	37,29	25
15	V-10	7480	2,22	596340	26,504	37,56	24
16	V-11	7476	2,22	499700	22,209	38,69	21
17	V-12	7458	2,21	628660	27,94	39,48	26

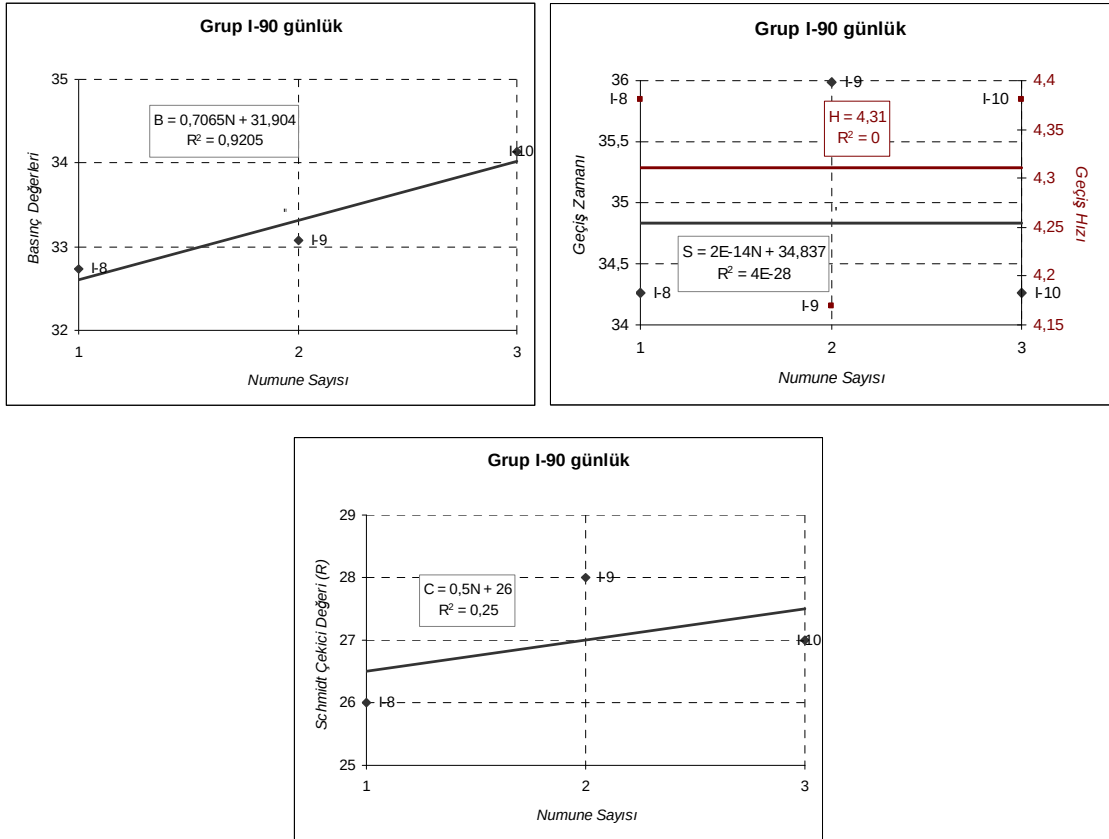


Şekil 5.8. 90 günlük değerlerin toplu sonuçlarının grafiksel gösterimi.

I. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 34.84 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 27 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 33,32 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin hiçbirinde saçılmalar rastlanmamıştır (Çizelge 5.11 ve Şekil 5.9).

Çizelge 5.11. I. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük)

90 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekici Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
1	I-8	34,26	4,38	26	17	32,73
2	I-9	35,99	4,17	28	20	33,077
3	I-10	34,26	4,38	27	18	34,143

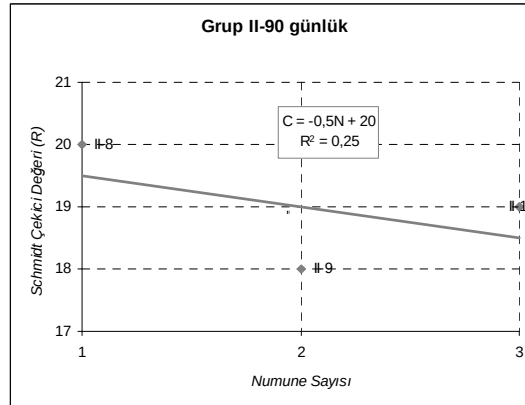
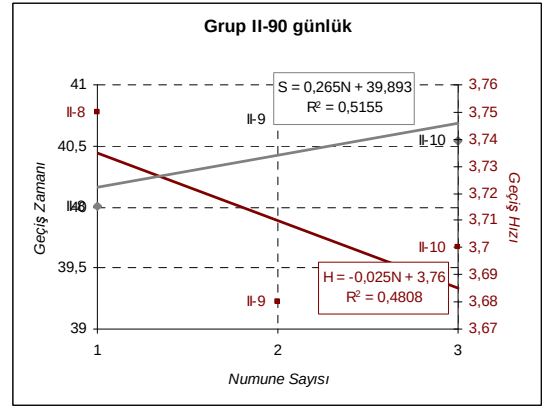
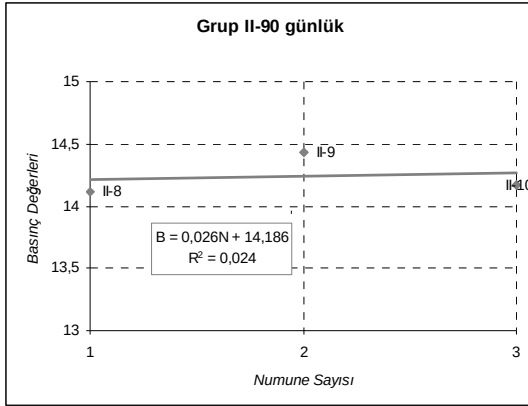


Şekil 5.9. I. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).

II. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 40,42 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 19 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 14,24 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin hiçbirinde saçılmaya rastlanmamıştır (Çizelge 5.12 ve Şekil 5.10).

Çizelge 5.12. II. Grup beton numunelerinin değerleri (90 günlük)

90 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekici Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
4	II-8	40,01	3,75	20	10	14,116
5	II-9	40,72	3,68	18	10	14,429
6	II-10	40,54	3,7	19	10	14,168

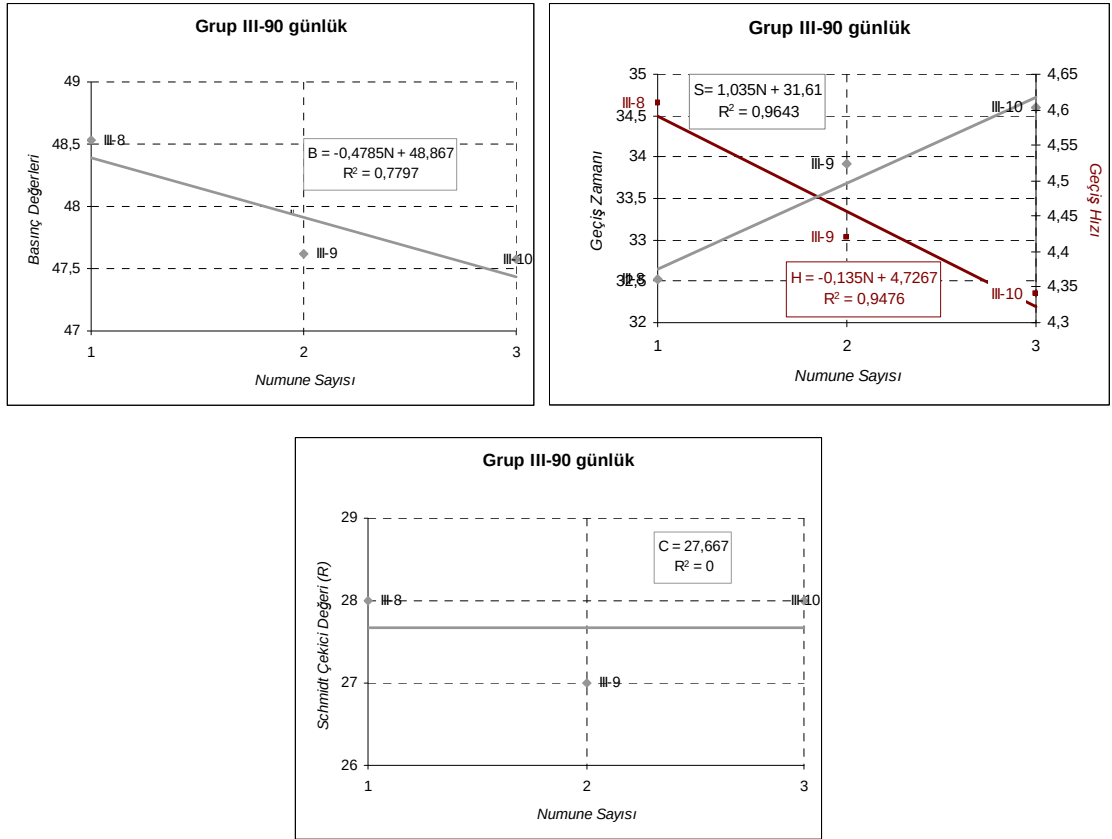


Şekil 5.10. II. Grup beton numunelerinin değerleri (90 günlük).

III. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 33,68 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 28 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 47,91 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin hiçbirinde saçılmalar rastlanmamıştır (Çizelge 5.13 ve Şekil 5.11).

Çizelge 5.13. III. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük)

90 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiç Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
7	III-8	32,53	4,61	28	20	48,535
8	III-9	33,91	4,42	27	18	47,616
9	III-10	34,6	4,34	28	20	47,578

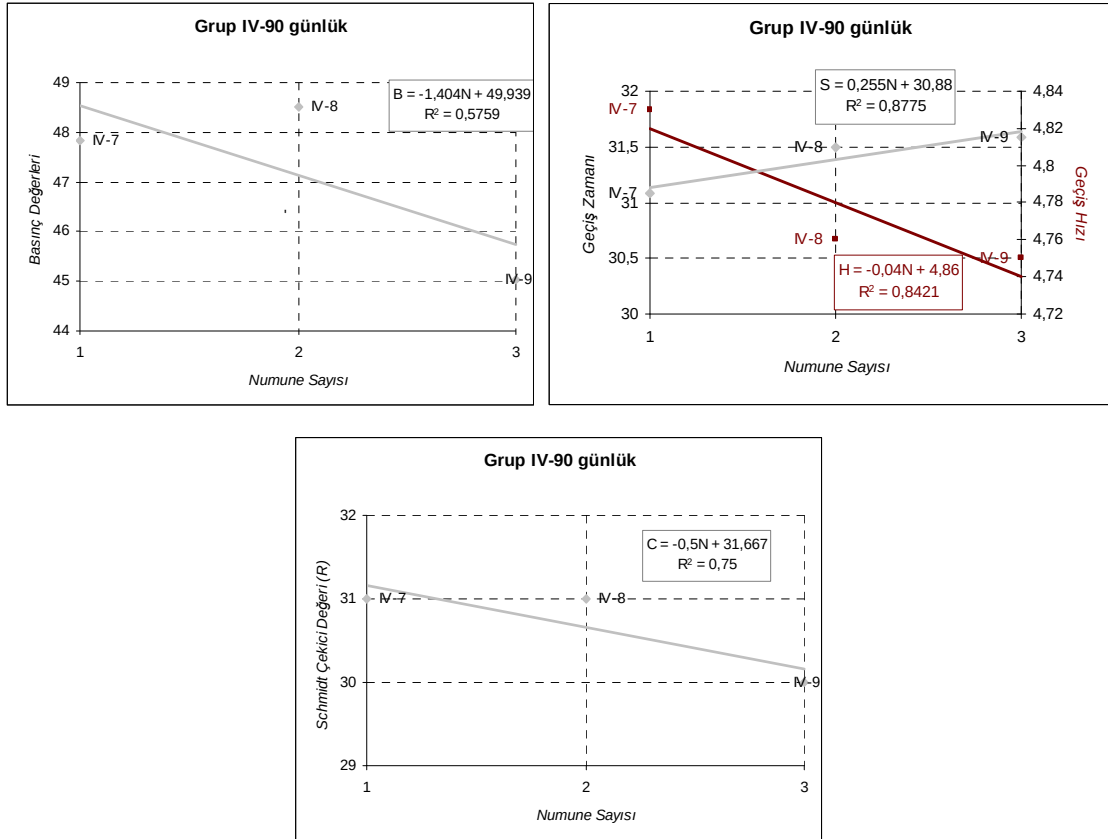


Şekil 5.11. III. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).

IV. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 31,39 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 31 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 47,13 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin hiçbirinde saçılmaya rastlanmamıştır (Çizelge 5.14 ve Şekil 5.12).

Çizelge 5.14. IV. Grup beton numunelerinin değerleri (90 günlük)

90 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiç Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
10	IV-7	31,08	4,83	31	25	47,839
11	IV-8	31,5	4,76	31	25	48,522
12	IV-9	31,59	4,75	30	24	45,031

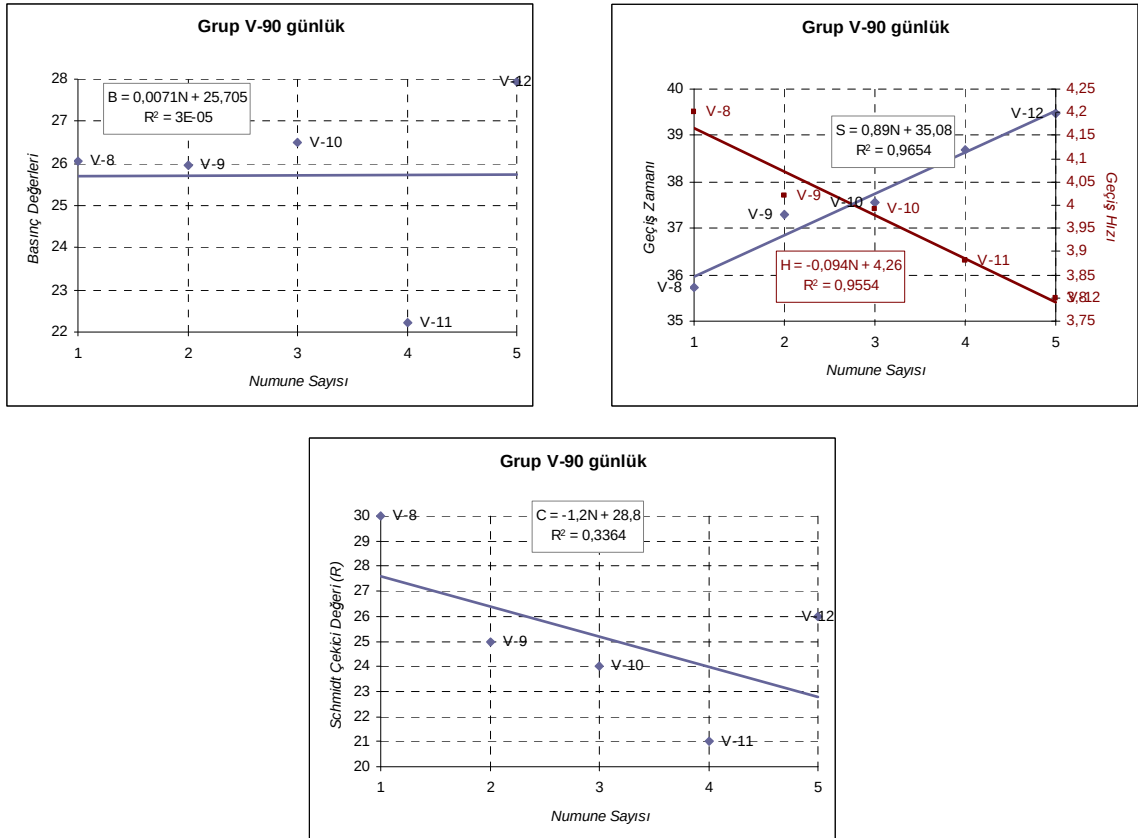


Şekil 5.12. IV. Grup beton numunelerinin değerleri (90 günlük).

V. Grup numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda; ultrases geçiş süresi ortalama 37,75 μ s, Schmidt çekici (R) ortalama değeri 25 ve basınç deney düzeneği ile kırılma sonucunda dayanım değeri 25,73 MPa olarak bulunmuştur. Bu değerlerin hiçbirinde saçılmaya rastlanmamıştır (Çizelge 5.15 ve Şekil 5.13).

Çizelge 5.15. V. Grup beton numunelerinin değerleri (90 günlük)

90 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (μ s)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekici Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
13	V-8	35,73	4,2	30	24	26,038
14	V-9	37,29	4,02	25	16	25,942
15	V-10	37,56	3,99	24	14	26,504
16	V-11	38,69	3,88	21	11	22,209
17	V-12	39,48	3,8	26	17	27,94

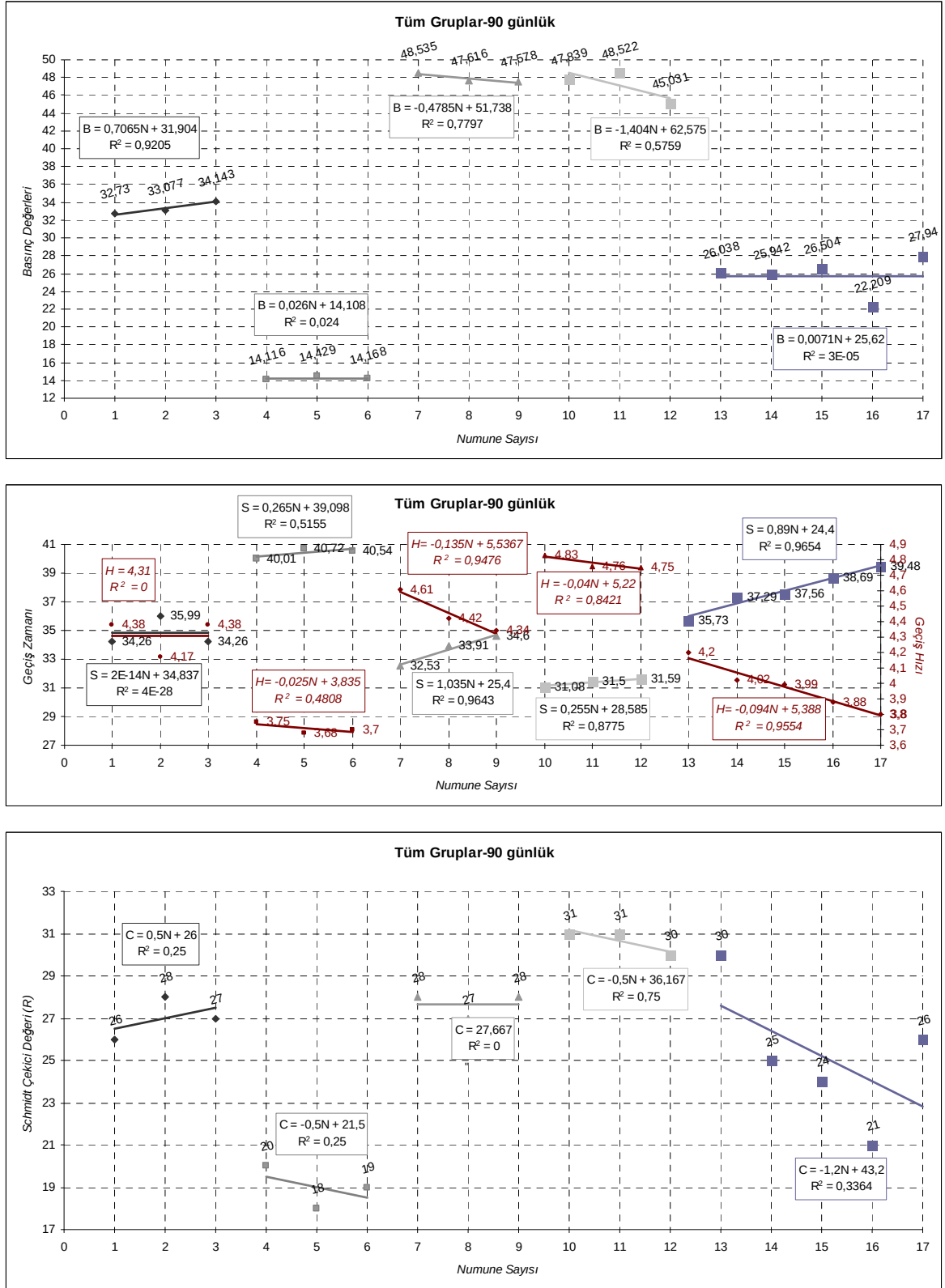


Şekil 5.13. V. Grup beton numunelerinin değerleri (90 günlük).

Numunelerin 90 günlük değerleri toplu olarak da Çizelge 5.16 ve Şekil 5.14’de verilmiştir.

Çizelge 5.16. Farklı beton basınç dayanımlarına göre sınıflandırma (90 günlük değerler)

90 günlük küp numuneler (15×15×15 cm)						
No		Geçiş Süresi (µs)	Geçiş Hızı V(km/s)	Schmidt Çekiç Değerleri R	Üretici Firma Abakına Göre Basınç Dönüşümü (MPa)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)
1	I-8	34,26	4,38	26	17	32,73
2	I-9	35,99	4,17	28	20	33,077
3	I-10	34,26	4,38	27	18	34,143
4	II-8	40,01	3,75	20	10	14,116
5	II-9	40,72	3,68	18	10	14,429
6	II-10	40,54	3,7	19	10	14,168
7	III-8	32,53	4,61	28	20	48,535
8	III-9	33,91	4,42	27	18	47,616
9	III-10	34,6	4,34	28	20	47,578
10	IV-7	31,08	4,83	31	25	47,839
11	IV-8	31,5	4,76	31	25	48,522
12	IV-9	31,59	4,75	30	24	45,031
13	V-8	35,73	4,2	30	24	26,038
14	V-9	37,29	4,02	25	16	25,942
15	V-10	37,56	3,99	24	14	26,504
16	V-11	38,69	3,88	21	11	22,209
17	V-12	39,48	3,8	26	17	27,94



Şekil 5.14. Farklı beton kalitesindeki numunelerin bulunan sonuçlarının toplu gösterimi (90 günlük).

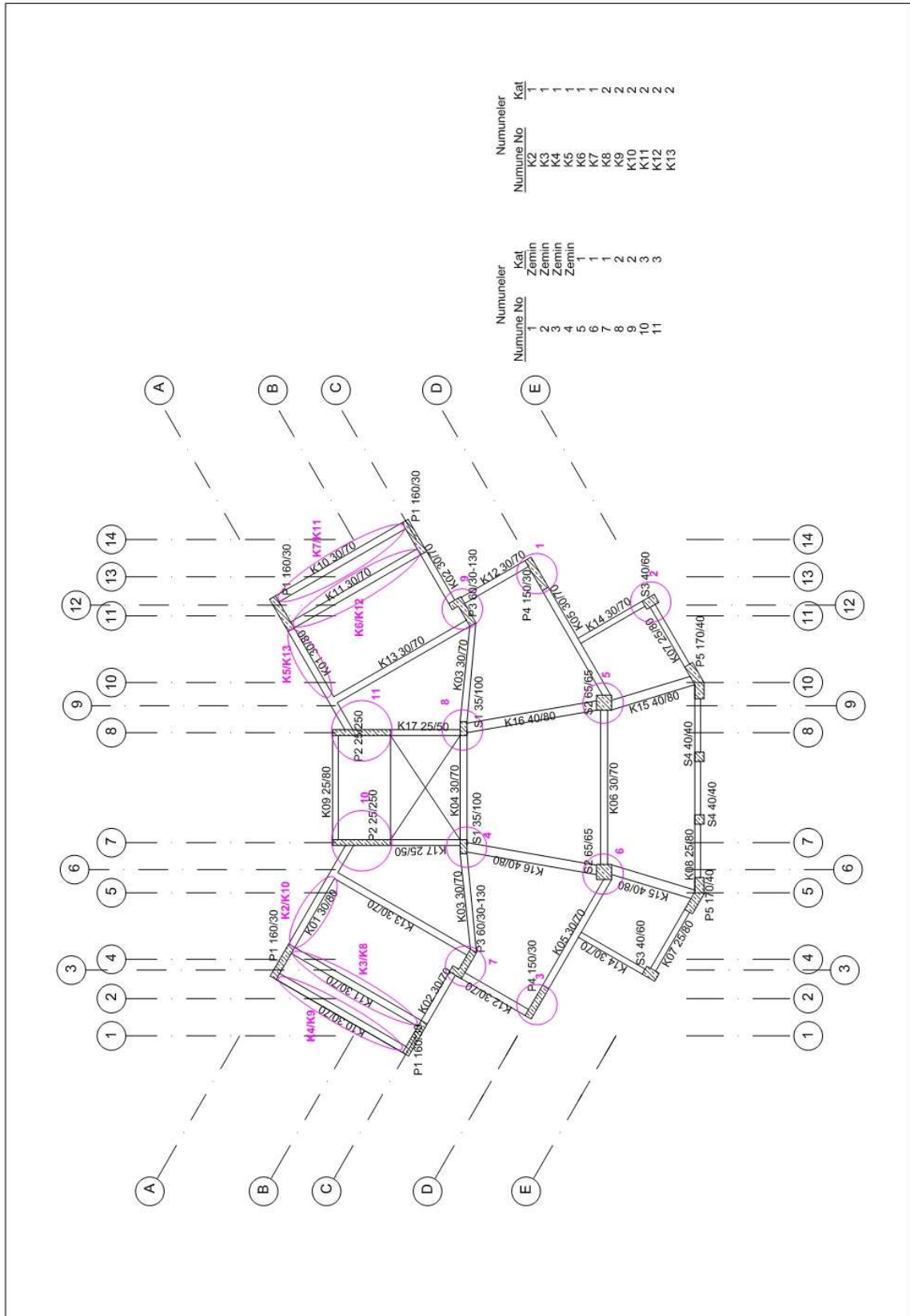
5.1.2. Mevcut bina üzerinde yerinde yapılan donatılı beton incelemesi

Mevcut binada farklı katlardan ve farklı taşıyıcı elemanlardan olacak şekilde üzerinde inceleme yapılacak elemanlar belirlenmiştir. Bu taşıyıcı elemanlar hem yapının kat planı üzerinde Şekil 5.15’de hem de Çizelge 5.17’de verilmiştir.

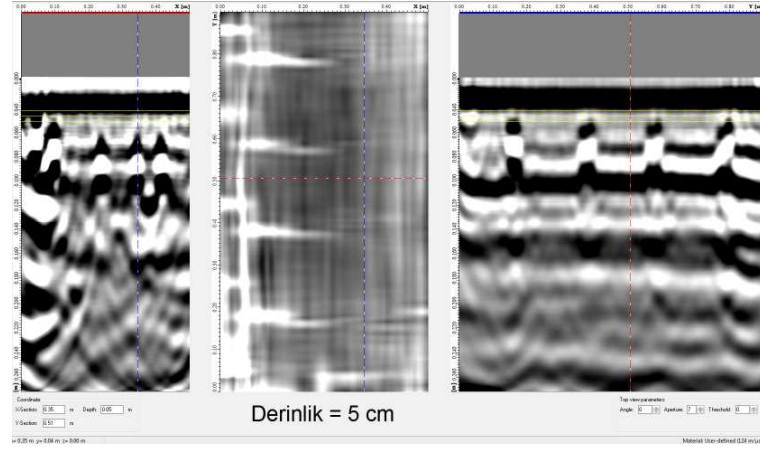
Çizelge 5.17. Ölçüm yapılan taşıyıcı elemanlar

Düşey Taşıyıcı Elemanlar (Kolon+Perde)		Yatay Taşıyıcı Elemanlar (Kiriş)	
Numune No	Kat	Numune No	Kat
1	Zemin	K2	1
2	Zemin	K3	1
3	Zemin	K4	1
4	Zemin	K5	1
5	1	K6	1
6	1	K7	1
7	1	K8	2
8	2	K9	2
9	2	K10	2
10	3	K11	2
11	3	K12	2
		K13	2

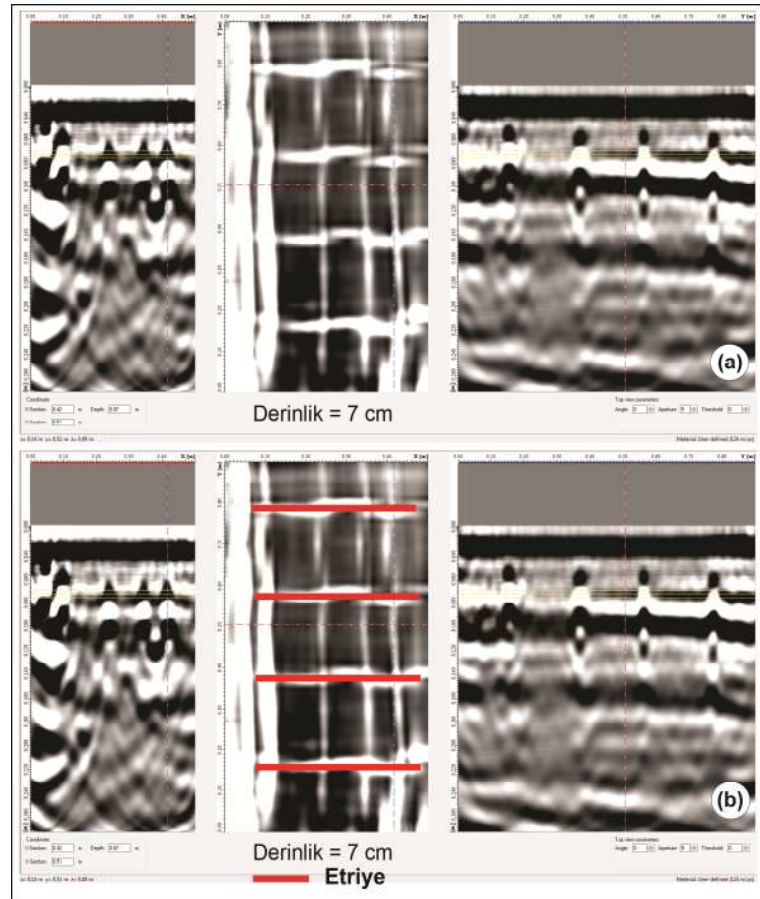
Belirlenen 11 adet düşey taşıyıcı elemanlarda donatı sıklığından dolayı 9,4 cm çapında karot alınabilmesi mümkün olamadığından, üzerinde PUNDIT ile ultrases hız değerleri ve Schmidt çekici ile geri tepme (R) değerleri okunmuştur. Her iki deneyde de 10 cm’de bir olmak üzere 20 farklı noktadan değerler alınmıştır. Okunan değerler Çizelge 5.18–5.28 arasında verilmiştir. Bu değerlerin grafikleri 6. dereceden polinoma yaklaştırılarak çizilmiş ve Şekil 5.22–5.32 arasında gösterilmiştir. Aynı taşıyıcı elemanlar üzerinde 90×90cm’lik bir alanda yapı radarı (YR) ile görüntüleme yapılmıştır. İki taşıyıcı elemandan alınan görüntü Şekil 5.16–5.21 arasında gösterilmiştir. Bu görüntüleme yardımıyla donatıların bulunduğu yerlerdeki geçiş hızlarındaki farklılık gözlemlenmeye çalışılmıştır.



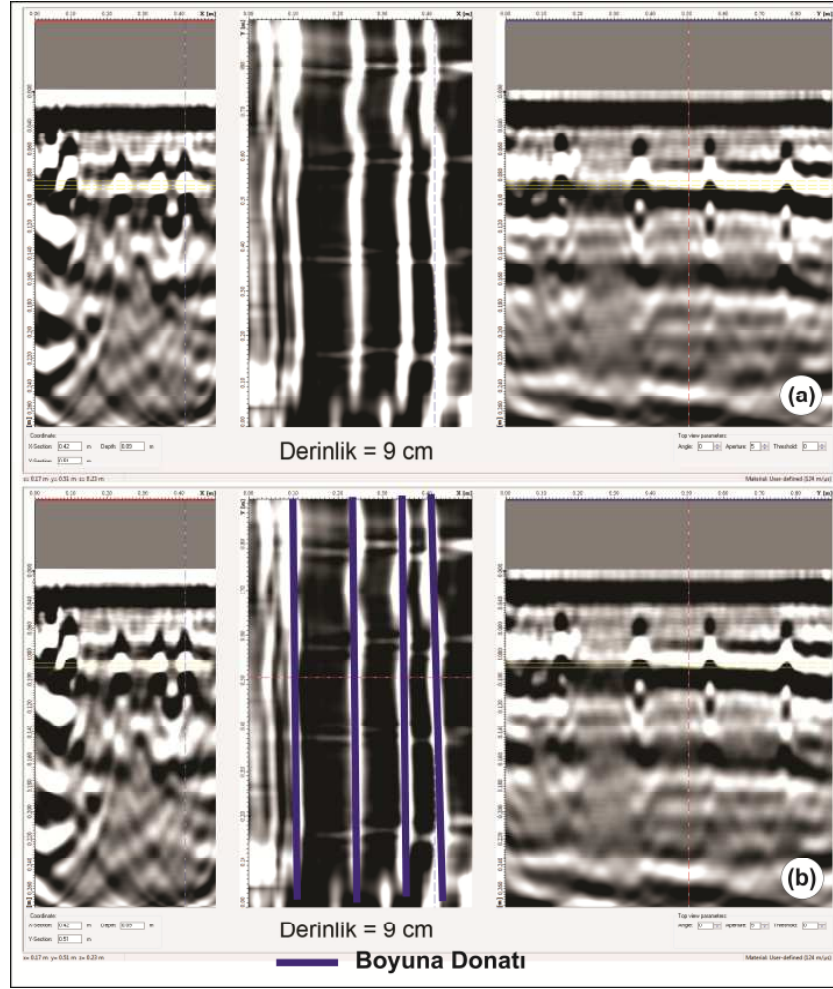
Şekil 5.15. Ölçüm yapılan taşıyıcı elemanlar.



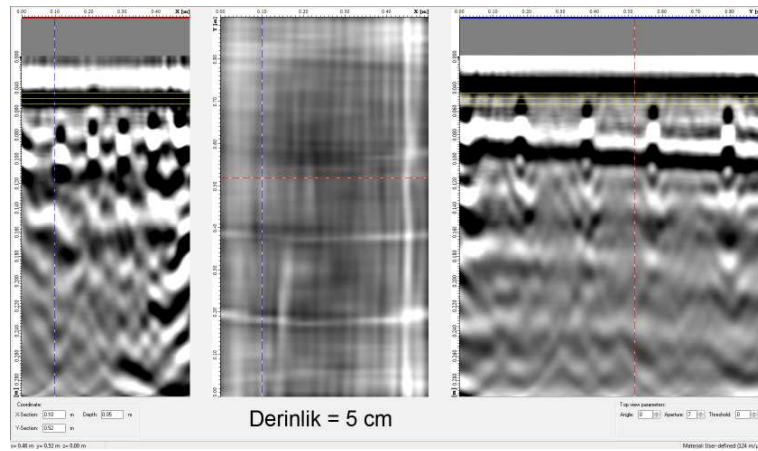
Şekil 5.16. 5 Numaralı numunenin pas payını temsil etmek üzere 5 cm’de alınmış derinlik kesiti.



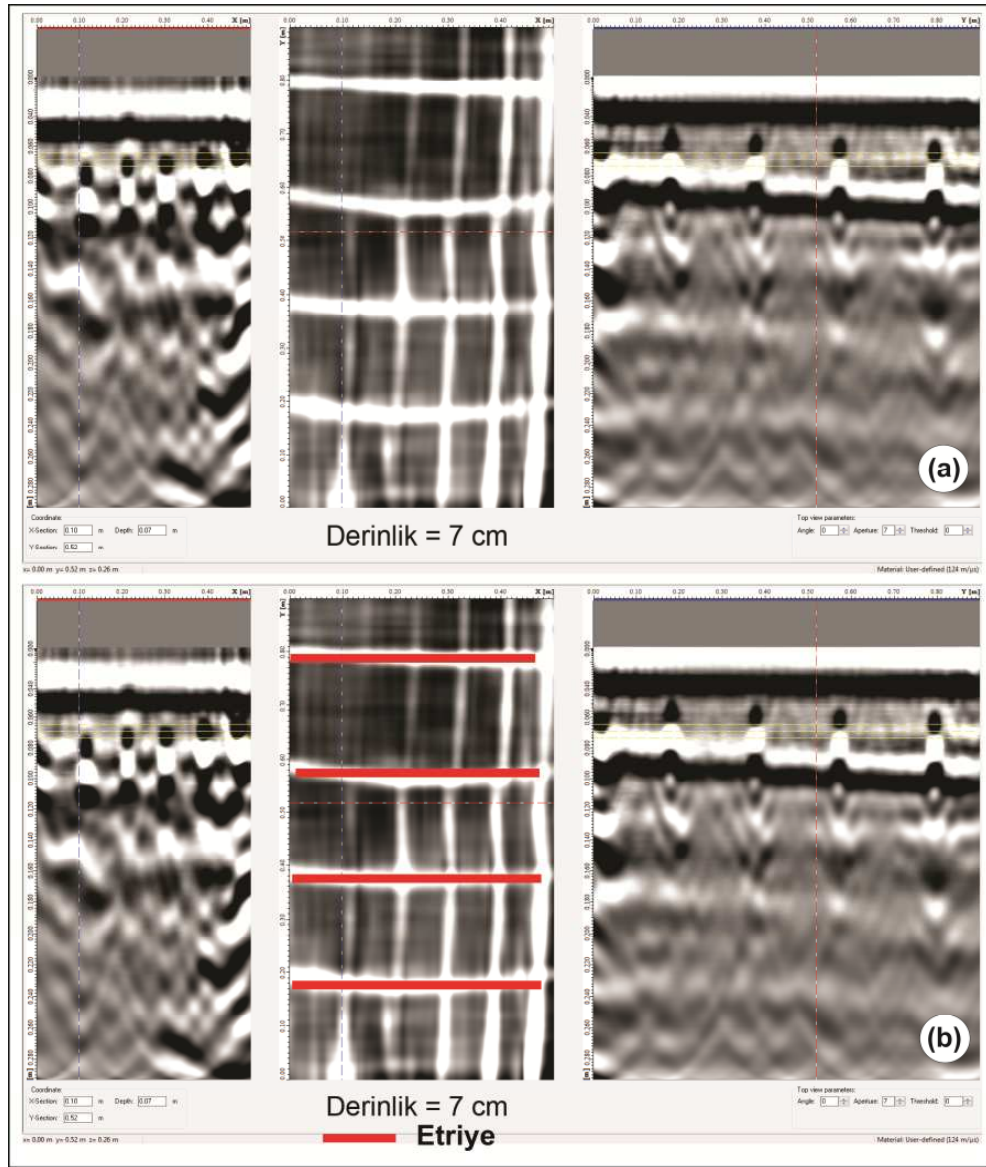
Şekil 5.17. 5 Numaralı numunenin etriyelerini temsil etmek için 7 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (kırmızı çizgiler etriyeleri gösterir).



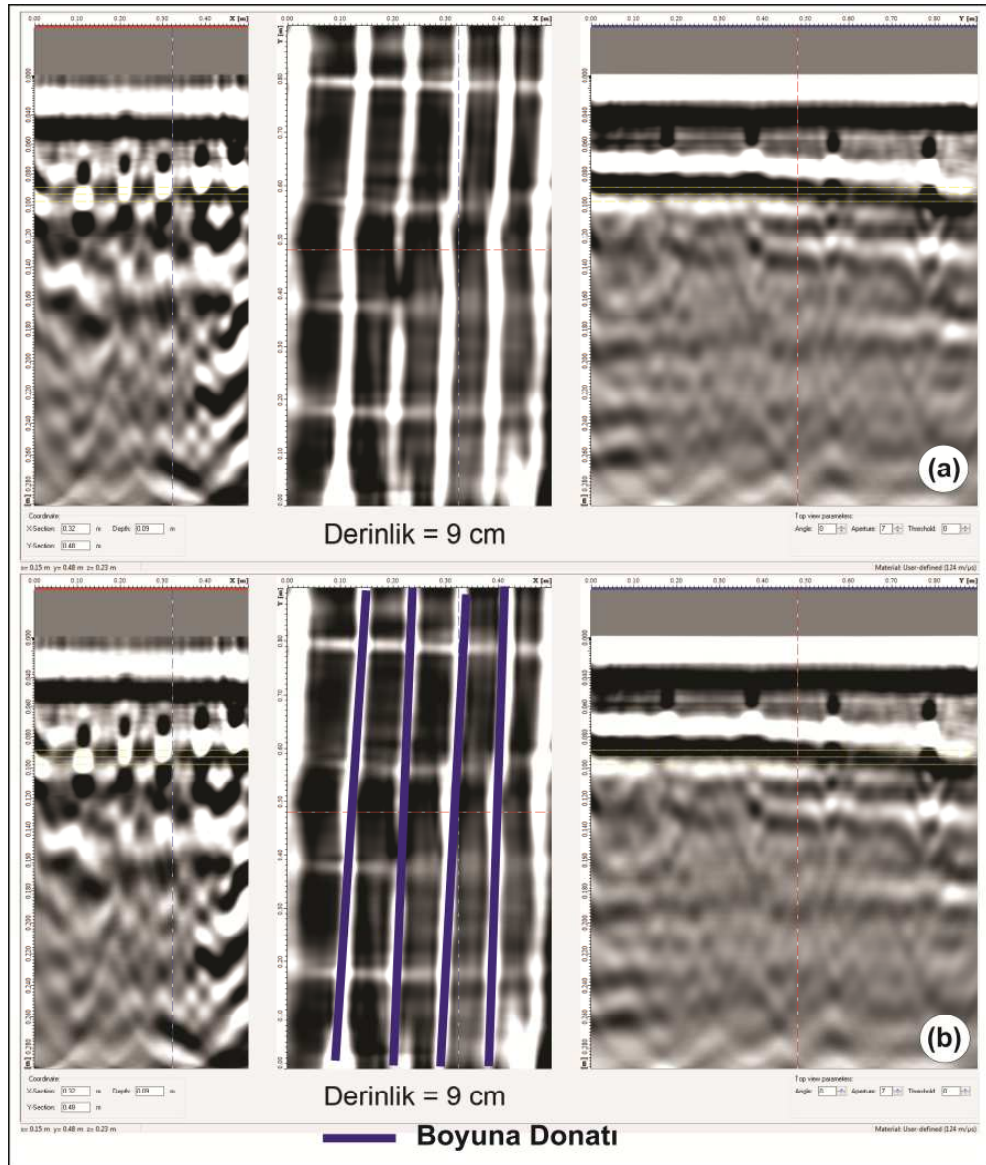
Şekil 5.18. 5 Numaralı numunenin boyuna donatılarını temsil etmek için 9 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (mavi çizgiler boyuna donatıları gösterir).



Şekil 5.19. 6 Numaralı numunenin pas payını temsil etmek üzere 5 cm’de alınmış derinlik kesiti.



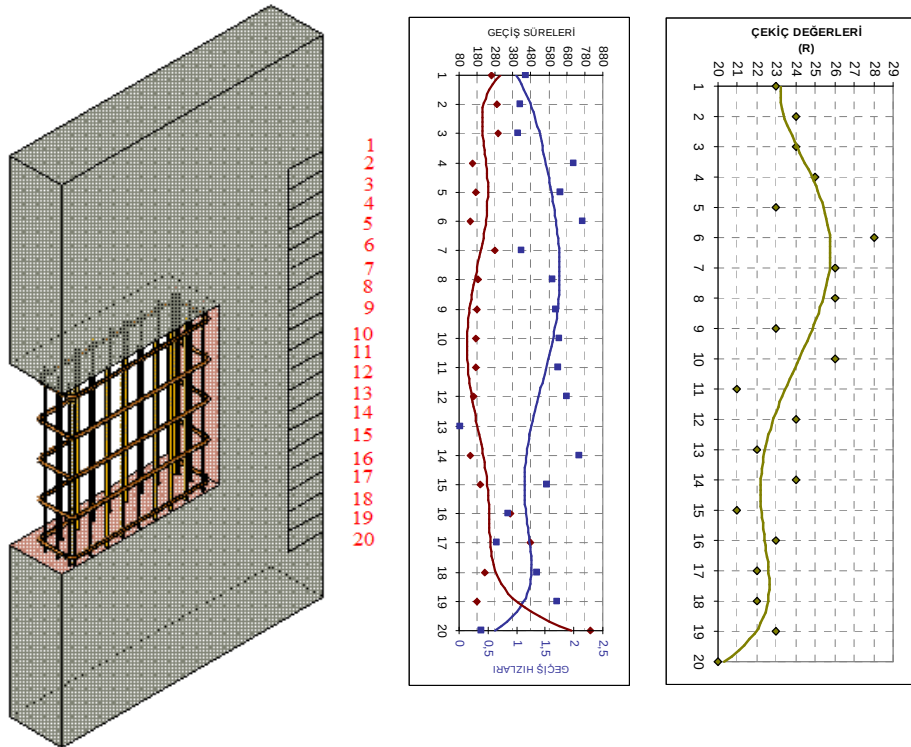
Şekil 5.20. 6 Numaralı numunenin etriyelerini temsil etmek için 7 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (kırmızı çizgiler etriyeleri gösterir).



Şekil 5.21. 6 Numaralı numunenin boyuna donatılarını temsil etmek için 9 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (mavi çizgiler boyuna donatıları gösterir).

Çizelge 5.18. 1 Numaralı numunenin değerleri

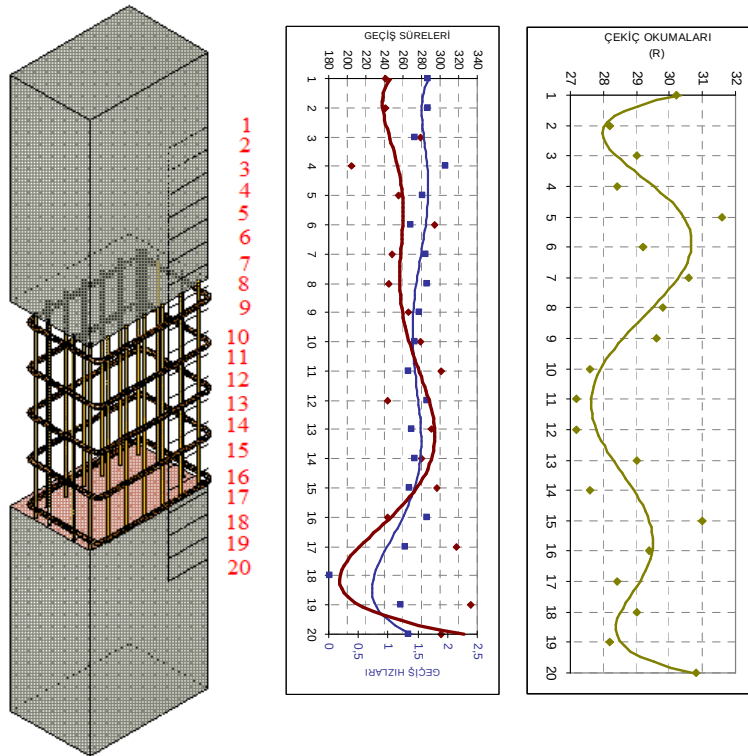
1 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (32,5)	261,78	1,15	23
2 (42,5)	288,34	1,04	24
3 (52,5)	299,5	1	24
4 (62,5)	151,33	1,98	25
5 (72,5)	171,9	1,75	23
6 (82,5)	140,86	2,13	28
7 (92,5)	279,9	1,07	26
8 (102,5)	187,9	1,6	26
9 (112,5)	179,67	1,67	23
10 (122,5)	174	1,72	26
11 (132,5)	175,05	1,71	21
12 (142,5)	160,02	1,87	24
13 (152,5)			22
14 (162,5)	144,55	2,08	24
15 (172,5)	196,81	1,52	21
16 (182,5)	362,86	0,83	23
17 (192,5)	479,25	0,63	22
18 (202,5)	224,69	1,34	22
19 (212,5)	177,78	1,69	23
20 (222,5)	811,99	0,37	20



Şekil 5.22. 1 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (150×30 cm).

Çizelge 5.19. 2 Numaralı numunenin değerleri

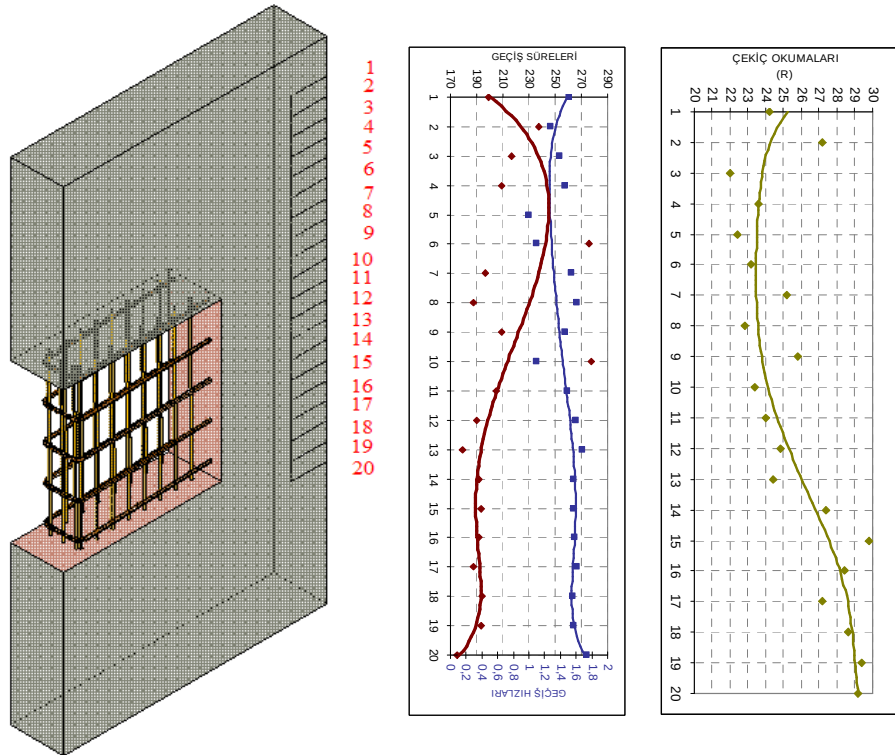
2 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=40cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (57)	241,62	1,66	30,2
2 (67)	241,4	1,66	28,2
3 (77)	278,79	1,43	29
4 (87)	204,92	1,95	28,4
5 (97)	255,84	1,56	31,6
6 (107)	293,91	1,36	29,2
7 (117)	248,39	1,61	30,6
8 (127)	244,46	1,64	29,8
9 (137)	265,96	1,5	29,6
10 (147)	279,01	1,43	27,6
11 (157)	300,62	1,33	27,2
12 (167)	243,59	1,64	27,2
13 (177)	290,12	1,38	29
14 (187)	280,56	1,43	27,6
15 (197)	297,04	1,35	31
16 (207)	243,8	1,64	29,4
17 (217)	317,23	1,26	28,4
18 (227)			29
19 (237)	332,58	1,2	28,2
20 (247)	300,62	1,33	30,8



Şekil 5.23. 2 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (40×60 cm).

Çizelge 5.20. 3 Numaralı numunenin değerleri

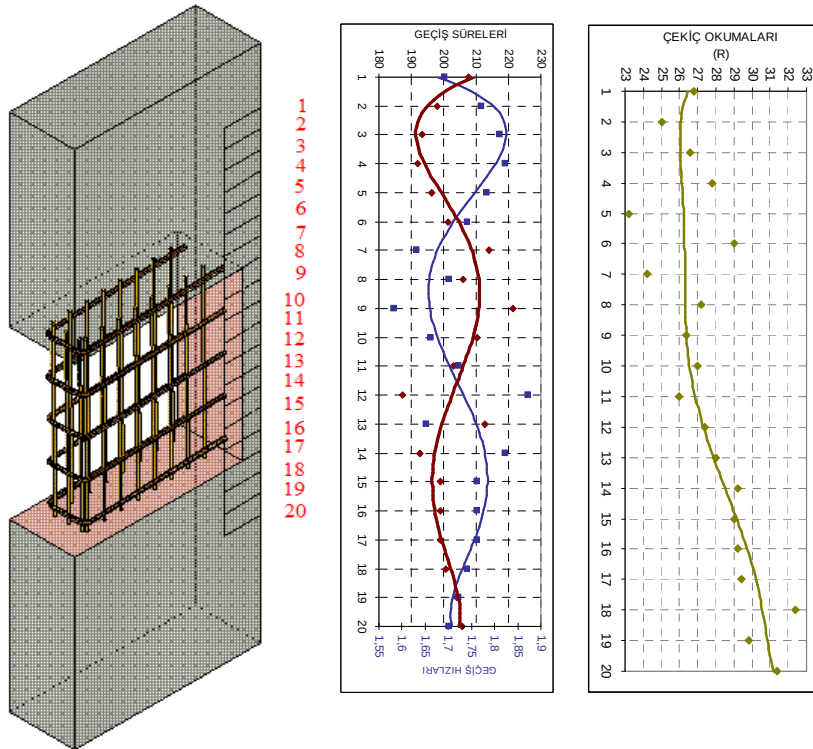
3 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (70)	199,58	1,5	24,2
2 (80)	237,7	1,26	27,2
3 (90)	216,93	1,38	22
4 (100)	208,77	1,44	23,6
5 (110)	305,32	0,98	22,4
6 (120)	275,68	1,09	23,2
7 (130)	196,39	1,53	25,2
8 (140)	187,48	1,6	22,8
9 (150)	208,77	1,44	25,8
10 (160)	277,9	1,08	23,4
11 (170)	204,7	1,47	24
12 (180)	190,02	1,58	24,8
13 (190)	179,46	1,67	24,4
14 (200)	191,71	1,56	27,4
15 (210)	193,62	1,55	29,8
16 (220)	191,29	1,57	28,4
17 (230)	187,9	1,6	27,2
18 (240)	194,26	1,54	28,6
19 (250)	193,41	1,55	29,4
20 (260)	174,84	1,72	29,2



Şekil 5.24. 3 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (150×30 cm).

Çizelge 5.21. 4 Numaralı numunenin değerleri

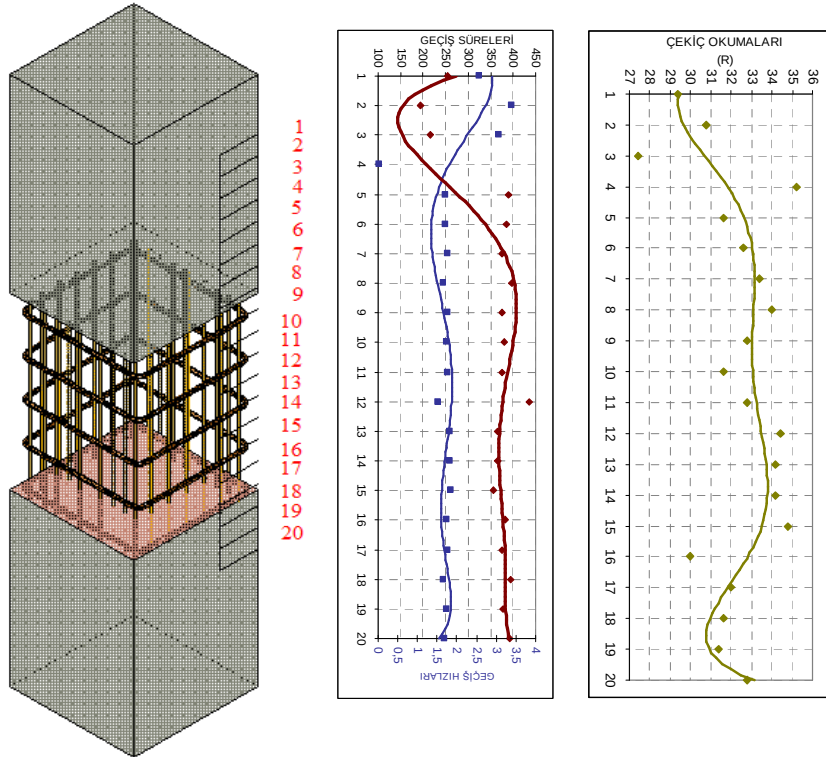
4 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=35cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (60)	207,7	1,69	26,8
2 (70)	197,88	1,77	25
3 (80)	193,41	1,81	26,6
4 (90)	192,14	1,82	27,8
5 (100)	196,17	1,78	23,2
6 (110)	201,5	1,74	29
7 (120)	214,13	1,63	24,2
8 (130)	205,98	1,7	27,2
9 (140)	221,24	1,58	26,4
10 (150)	210,27	1,66	27
11 (160)	202,99	1,72	26
12 (170)	187,27	1,87	27,4
13 (180)	212,63	1,65	28
14 (190)	192,77	1,82	29,2
15 (200)	199,15	1,76	29
16 (210)	198,94	1,76	29,2
17 (220)	199,15	1,76	29,4
18 (230)	200,65	1,74	32,4
19 (240)	203,85	1,72	29,8
20 (250)	205,56	1,7	31,4



Şekil 5.25. 4 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (35×100 cm).

Çizelge 5.22. 5 Numaralı numunenin değerleri

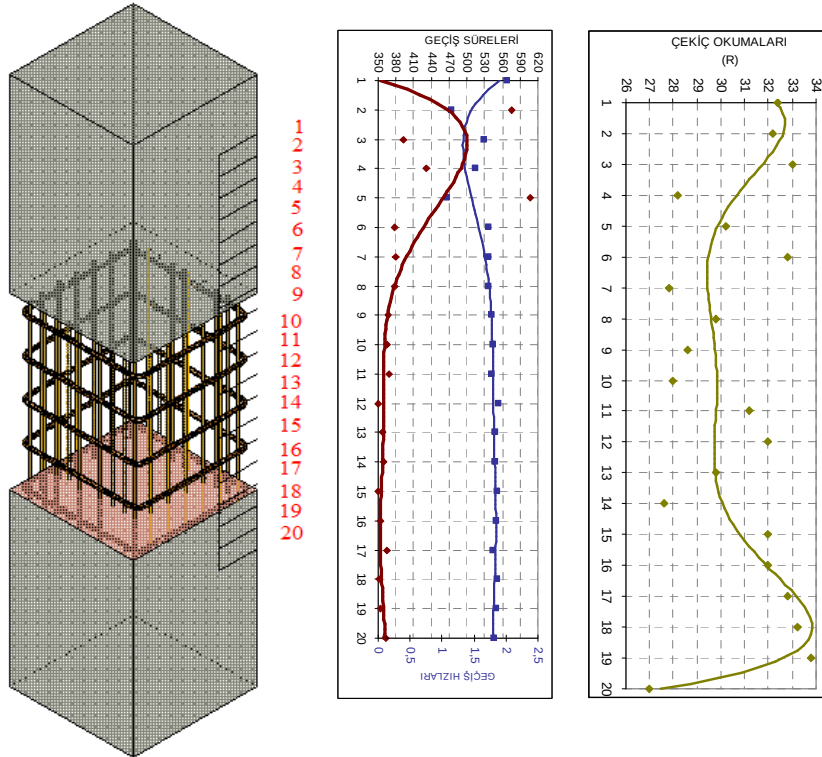
5 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=65cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (63)	255,4	2,55	29,4
2 (73)	192,99	3,37	30,8
3 (83)	214,78	3,03	27,4
4 (93)			35,2
5 (103)	389,74	1,67	31,6
6 (113)	383,98	1,69	32,6
7 (123)	376,16	1,73	33,4
8 (133)	396,21	1,64	34
9 (143)	375,93	1,73	32,8
10 (153)	380,06	1,71	31,6
11 (163)	374,32	1,74	32,8
12 (173)	436,21	1,49	34,4
13 (183)	364,46	1,78	34,2
14 (193)	365,14	1,78	34,2
15 (203)	355,54	1,83	34,8
16 (213)	381,21	1,71	30
17 (223)	375,7	1,73	32
18 (233)	395,51	1,64	31,6
19 (243)	377,99	1,72	31,4
20 (253)	391,13	1,66	32,8



Şekil 5.26. 5 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (65×65 cm).

Çizelge 5.23. 6 Numaralı numunenin değerleri

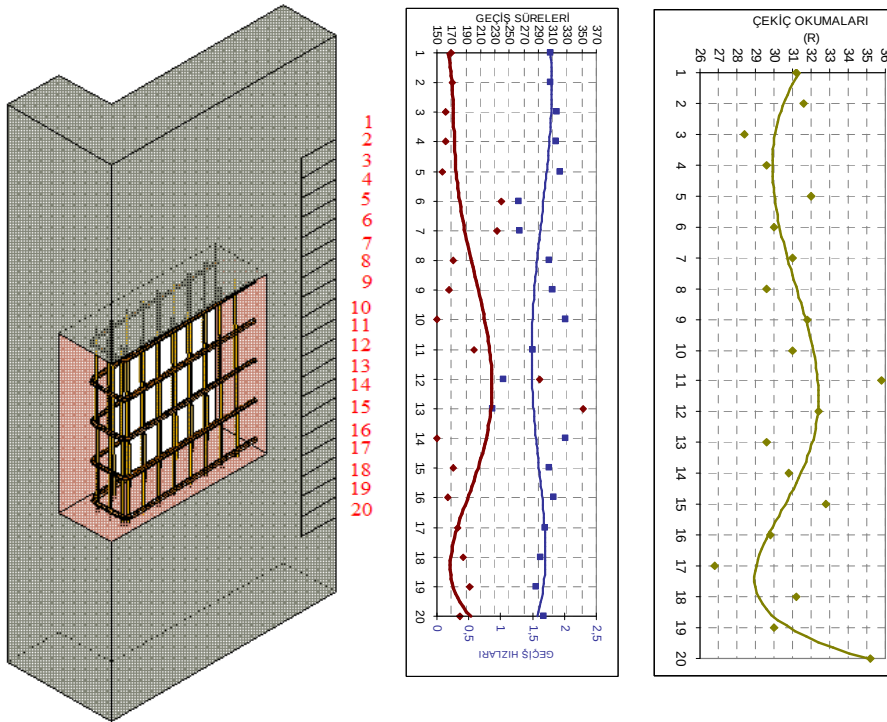
6 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=65cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (47,5)	324,67	2	32,4
2 (57,5)	574,91	1,13	32,2
3 (67,5)	393,2	1,65	33
4 (77,5)	430,83	1,51	28,2
5 (87,5)	607,4	1,07	30,2
6 (97,5)	377,53	1,72	32,8
7 (107,5)	380,29	1,71	27,8
8 (117,5)	376,84	1,72	29,8
9 (127,5)	366,52	1,77	28,6
10 (137,5)	364,46	1,78	28
11 (147,5)	368,58	1,76	31,2
12 (157,5)	349,84	1,86	32
13 (167,5)	357,6	1,82	29,8
14 (177,5)	358,74	1,81	27,6
15 (187,5)	350,75	1,85	32
16 (197,5)	354,17	1,84	32
17 (207,5)	364,23	1,78	32,8
18 (217,5)	351,67	1,85	33,2
19 (227,5)	353,03	1,84	33,8
20 (237,5)	363,08	1,79	27



Şekil 5.27. 6 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (65×65 cm).

Çizelge 5.24. 7 Numaralı numunenin değerleri

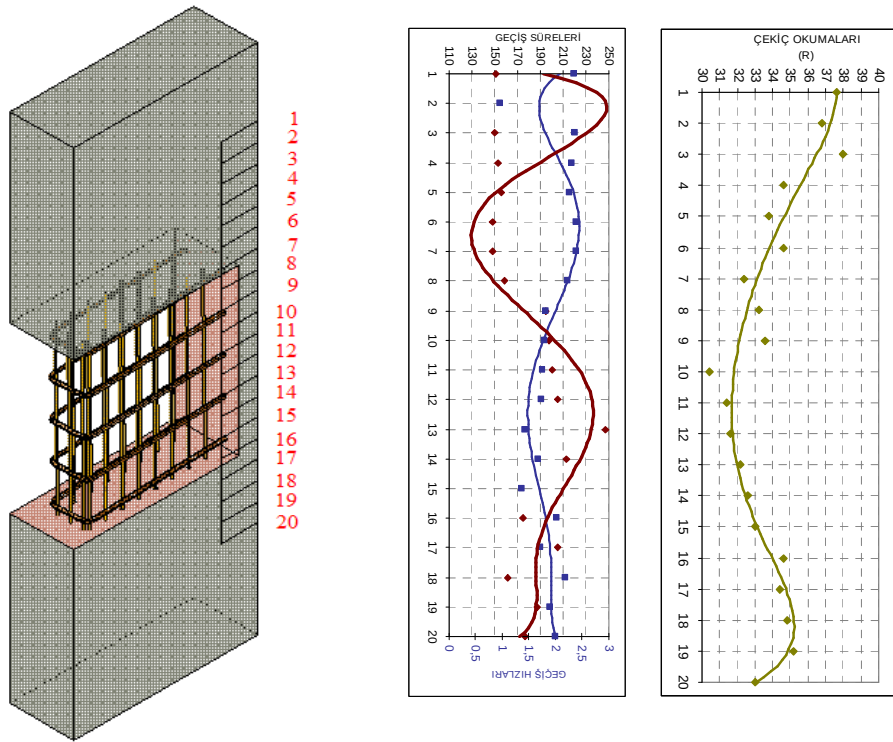
7 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (μ s)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (37,5)	169,81	1,77	31,2
2 (47,5)	170,86	1,76	31,6
3 (57,5)	161,68	1,86	28,4
4 (67,5)	161,89	1,85	29,6
5 (77,5)	157,33	1,91	32
6 (87,5)	239,01	1,26	30
7 (97,5)	233,36	1,29	31
8 (107,5)	172,11	1,74	29,6
9 (117,5)	166,89	1,8	31,8
10 (127,5)	150,1	2	31
11 (137,5)	200,86	1,49	35,8
12 (147,5)	291,68	1,03	32,4
13 (157,5)	351,89	0,85	29,6
14 (167,5)	150,3	2	30,8
15 (177,5)	171,9	1,75	32,8
16 (187,5)	164,8	1,82	29,8
17 (197,5)	178,62	1,68	26,8
18 (207,5)	186,42	1,61	31,2
19 (217,5)	195,11	1,54	30
20 (227,5)	180,93	1,66	35,2



Şekil 5.28. 7 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (60/30×130 cm).

Çizelge 5.25. 8 Numaralı numunenin değerleri

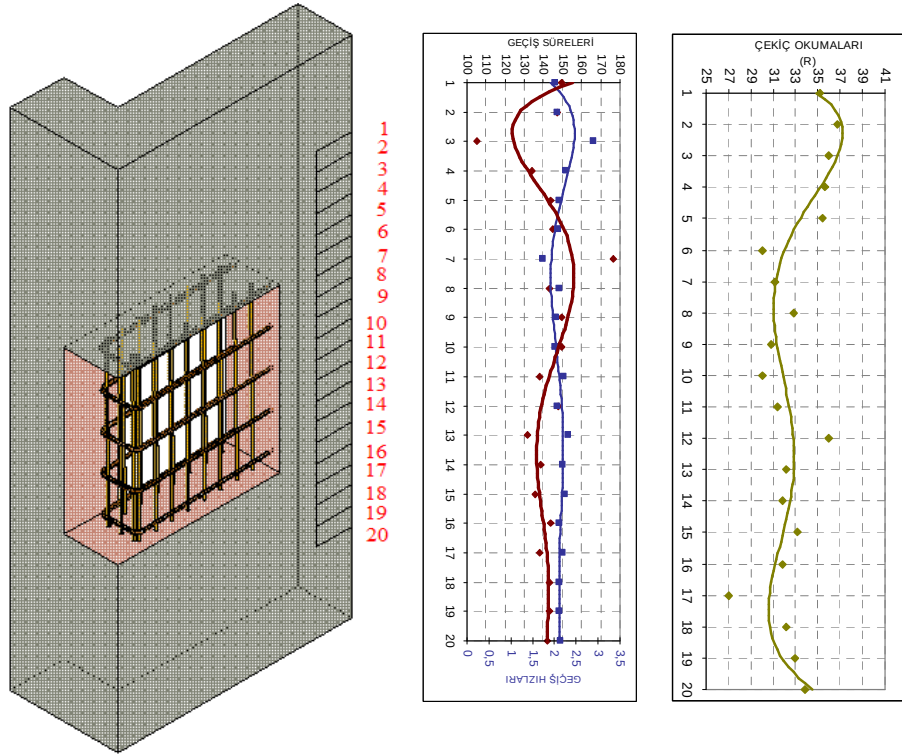
8 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=35cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (μ s)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (53)	150,51	2,33	37,6
2 (63)	372,48	0,94	36,8
3 (73)	149,68	2,34	38
4 (83)	153,19	2,28	34,6
5 (93)	155,46	2,25	33,8
6 (103)	147,83	2,37	34,6
7 (113)	148,04	2,36	32,4
8 (123)	158,15	2,21	33,2
9 (133)	194,9	1,8	33,6
10 (143)	197,66	1,77	30,4
11 (153)	200,65	1,74	31,4
12 (163)	205,13	1,71	31,6
13 (173)	247,52	1,41	32,2
14 (183)	212,63	1,65	32,6
15 (193)	260,68	1,34	33
16 (203)	174,42	2,01	34,6
17 (213)	205,56	1,7	34,4
18 (223)	161,68	2,16	34,8
19 (233)	187,48	1,87	35,2
20 (243)	176,73	1,98	33



Şekil 5.29. 8 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (35×100 cm).

Çizelge 5.26. 9 Numaralı numunenin değerleri

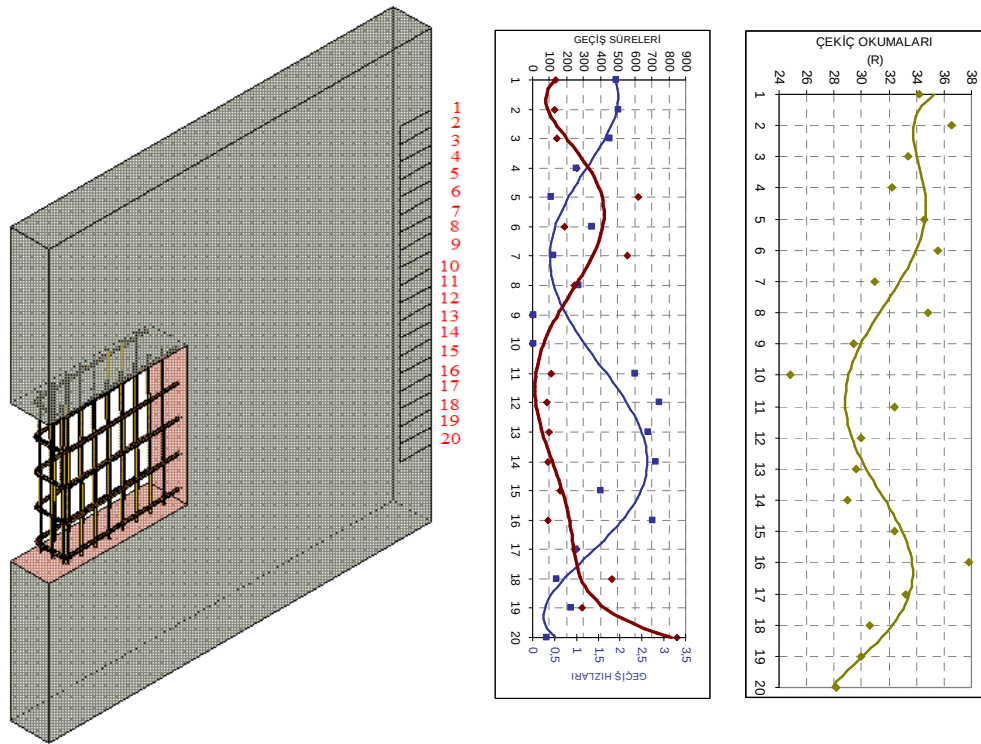
9 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (44)	149,68	2	35,2
2 (54)	147,01	2,04	36,8
3 (64)	105,07	2,86	36
4 (74)	133,73	2,24	35,6
5 (84)	143,93	2,08	35,4
6 (94)	144,96	2,07	30
7 (104)	176,73	1,7	31,2
8 (114)	143,11	2,1	32,8
9 (124)	149,48	2,01	30,8
10 (134)	149,68	2	30
11 (144)	137,8	2,18	31,4
12 (154)	147,83	2,03	36
13 (164)	131,7	2,28	32,2
14 (174)	138,82	2,16	31,8
15 (184)	135,96	2,21	33,2
16 (194)	143,93	2,08	31,8
17 (204)	138,21	2,17	27
18 (214)	143,11	2,1	32,2
19 (224)	143,11	2,1	33
20 (234)	142,09	2,11	33,8



Şekil 5.30. 9 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (60/30×130 cm).

Çizelge 5.27. 10 Numaralı numunenin değerleri

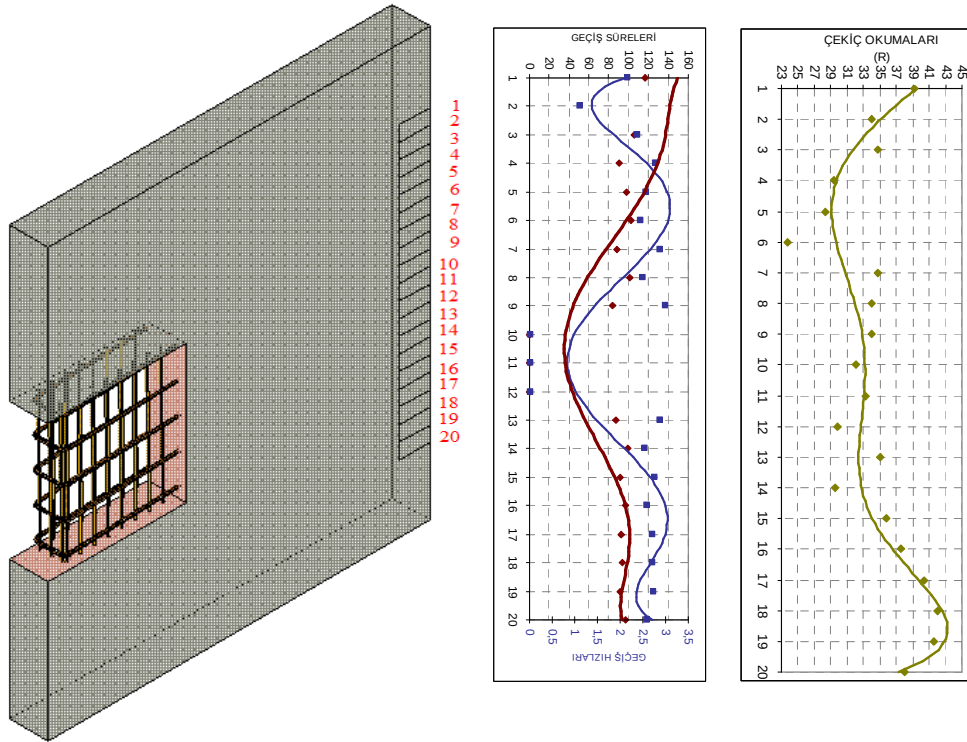
10 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=25cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (μ s)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (44)	133,32	1,88	34,2
2 (54)	128,25	1,95	36,6
3 (64)	143,52	1,74	33,4
4 (74)	258,48	0,97	32,2
5 (84)	624,7	0,4	34,6
6 (94)	186,84	1,34	35,6
7 (104)	554,41	0,45	31
8 (114)	243,15	1,03	34,8
9 (124)			29,4
10 (134)			24,8
11 (144)	108,23	2,31	32,4
12 (154)	86,91	2,88	30
13 (164)	95,06	2,63	29,6
14 (174)	89,23	2,8	29
15 (184)	162,31	1,54	32,4
16 (194)	91,55	2,73	37,8
17 (204)	261,78	0,96	33,2
18 (214)	467,44	0,53	30,6
19 (224)	289,45	0,86	30
20 (234)	847,33	0,3	28,2



Şekil 5.31. 10 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (25x250 cm)

Çizelge 5.28. 11 Numaralı numunenin değerleri

11 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=25cm)			
Ölçüm Noktaları (Tabandan mesafeler-cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (μ s)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)
1 (65)	116,99	2,14	39,2
2 (75)	226,85	1,1	34
3 (85)	106,06	2,36	34,8
4 (95)	90,58	2,76	29,4
5 (105)	98,38	2,54	28,4
6 (115)	102,31	2,44	23,8
7 (125)	87,87	2,85	34,8
8 (135)	100,74	2,48	34
9 (145)	83,83	2,98	34
10 (155)			32
11 (165)			33,2
12 (175)			29,8
13 (185)	87,29	2,86	35
14 (195)	99,36	2,52	29,6
15 (205)	91,17	2,74	35,8
16 (215)	96,82	2,58	37,6
17 (225)	92,92	2,69	40,4
18 (235)	93,11	2,68	42
19 (245)	91,94	2,72	41,6
20 (255)	97,01	2,58	38



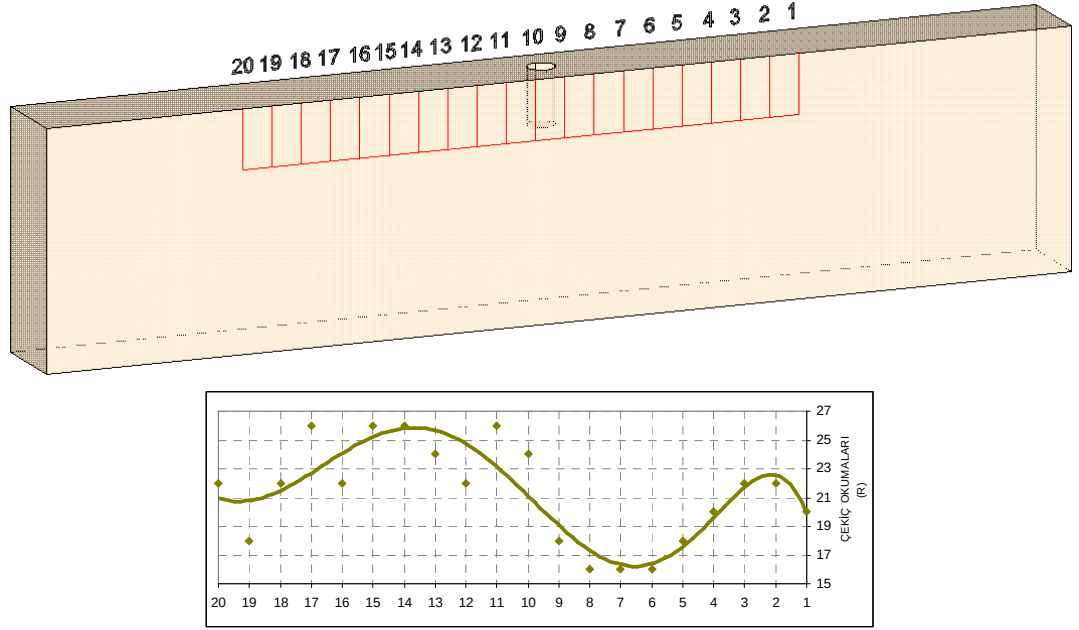
Şekil 5.32. 11 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (25×250 cm).

Belirlenen 12 adet yatay taşıyıcı elemanlarda Schmidt çekici ile geri tepme değerleri okunmuş, yüzeyleri yeterince düzgün olmadığından ancak bir tanesinde (K8) ultrases geçiş hızı ölçümleri yapılabilmektedir. Okunan değerlerin grafikleri 6. dereceden polinoma yaklaştırılarak çizilmiş ve Şekil 5.33–5.44 arasında verilmiştir. Her iki deneyde de 10 cm’de bir olmak üzere 20 farklı noktadan değerler alınmıştır. Ayrıca kirişlerden 9,4 cm çapında ve 18,8 cm yüksekliğinde karotlar da alınabilmektedir. Çıkarılan karotlar üzerinde önce ultrases hız değerleri belirlendikten sonra beton basınç deney cihazında kırılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 5.29’da verilmiştir. Mevcut bina üzerinde yerinde yapılan çalışmaların değerleri Çizelge 5.30–5.41 arasında verilmiştir.

Çizelge 5.29. Karotlardan elde edilen değerler

KAROTLAR

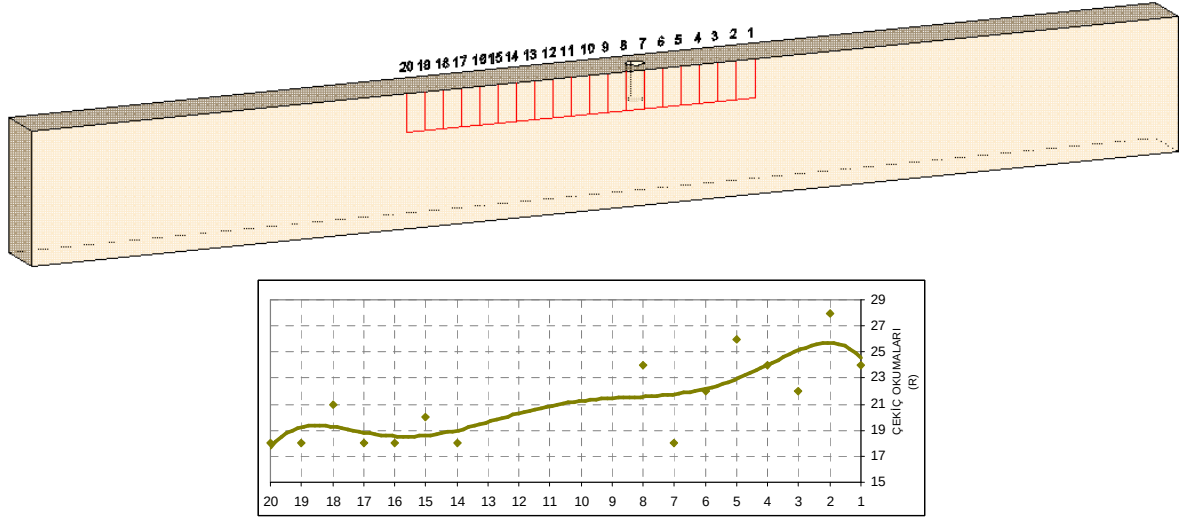
Ölçüm Yeri								
No	Adı	Çap (mm)	Yük. (mm)	Ağırlık (g)	Birim Ağırlık (kg/dm ³)	Kırılma Kuvveti (P) (N)	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
1	K2	94	188	2922	2,24	74380	10,718	64,51
2	K3	94	188	3041	2,33	88440	12,744	63,95
3	K4	94	188	2967	2,27	83140	11,98	70,51
4	K5	94	188	3010	2,31	64600	9,308	61,35
5	K6	94	188	3017	2,31	85280	12,288	64,51
6	K7	94	188	3032	2,32	96340	13,882	65,07
7	K8	94	188	2993	2,29	133680	19,262	63,02
8	K9	94	188	2972	2,28	107840	15,539	66,19
9	K10	94	188	2957	2,27	105960	15,268	69,19
10	K11	94	188	2935	2,25	117160	16,882	70,13
11	K12	94	188	2912	2,23	120900	17,421	72,77
12	K13	94	188	3018	2,31	135400	19,51	67,5



Şekil 5.33. K2 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).

Çizelge 5.30. K2 Numaralı numunenin değerleri

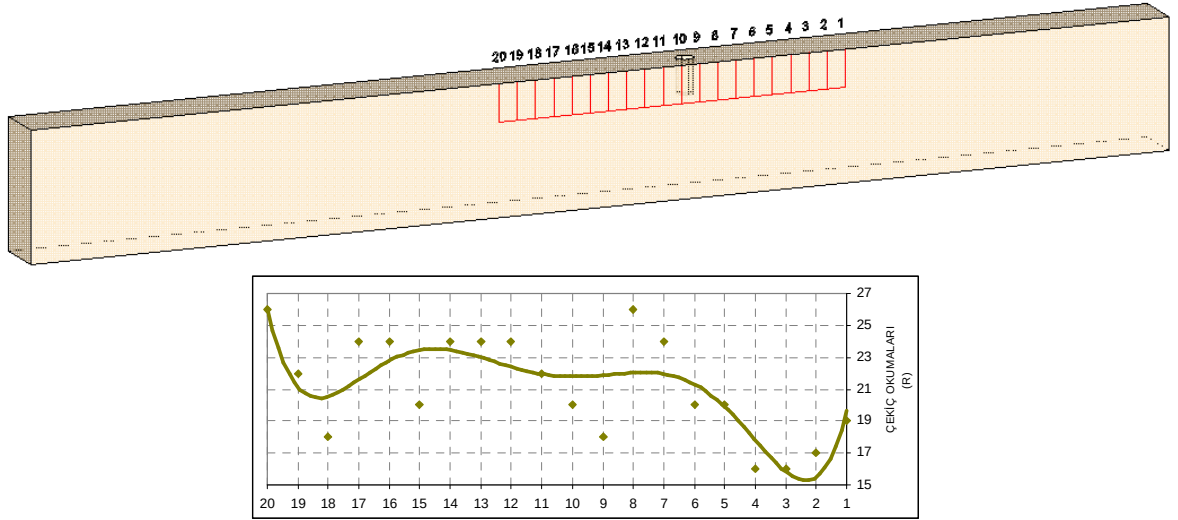
K2 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (93)	20	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (103)	22	
3 (113)	22	
4 (123)	20	
5 (133)	18	
6 (143)	16	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
7 (153)	16	
8 (163)	16	
9 (173)	18	
10 (183)	24	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
11 (193)	26	
12 (203)	22	
13 (213)	24	
14 (223)	26	
15 (233)	26	10,718
16 (243)	22	
17 (253)	26	
18 (263)	22	
19 (273)	18	
20 (283)	22	
Ortalama	21,3	64,51



Şekil 5.34. K3 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.31. K3 Numaralı numunenin değerleri

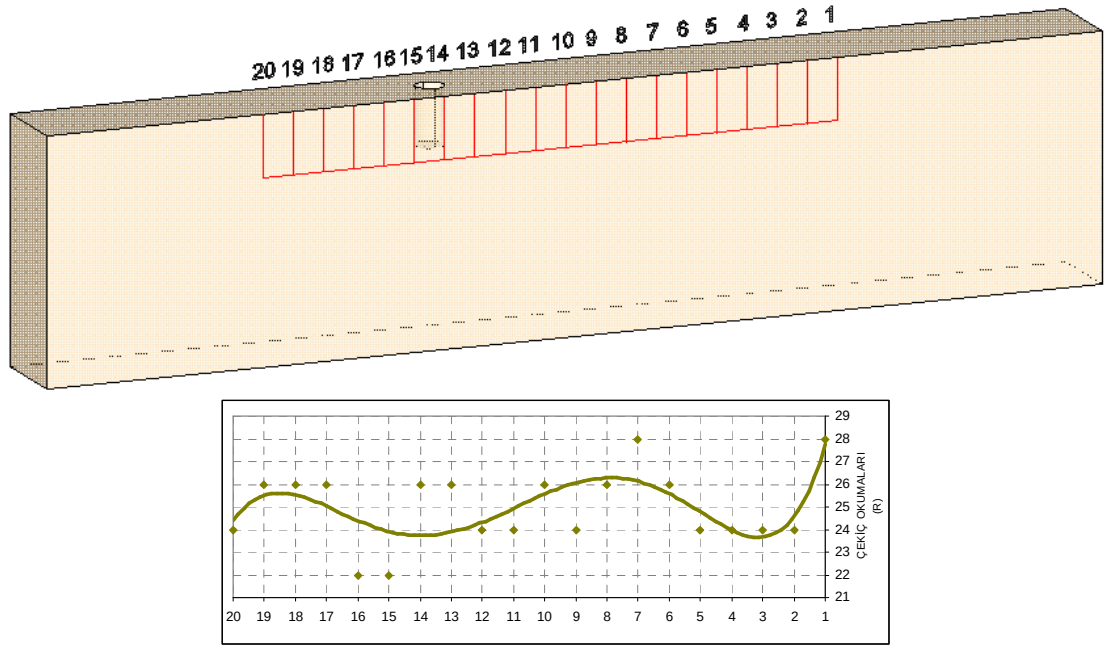
K3 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (230)	24	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (240)	28	
3 (250)	22	
4 (260)	24	12,744
5 (270)	26	
6 (280)	22	
7 (290)	18	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
8 (300)	24	
9 (310)		
10 (320)		63,95
11 (330)		
12 (340)		
13 (350)		Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
14 (360)	18	
15 (370)	20	
16 (380)	18	2,94
17 (390)	18	
18 (400)	21	
19 (410)	18	
20 (420)	18	
Ortalama	21,3	



Şekil 5.35. K4 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.32. K4 Numaralı numunenin değerleri

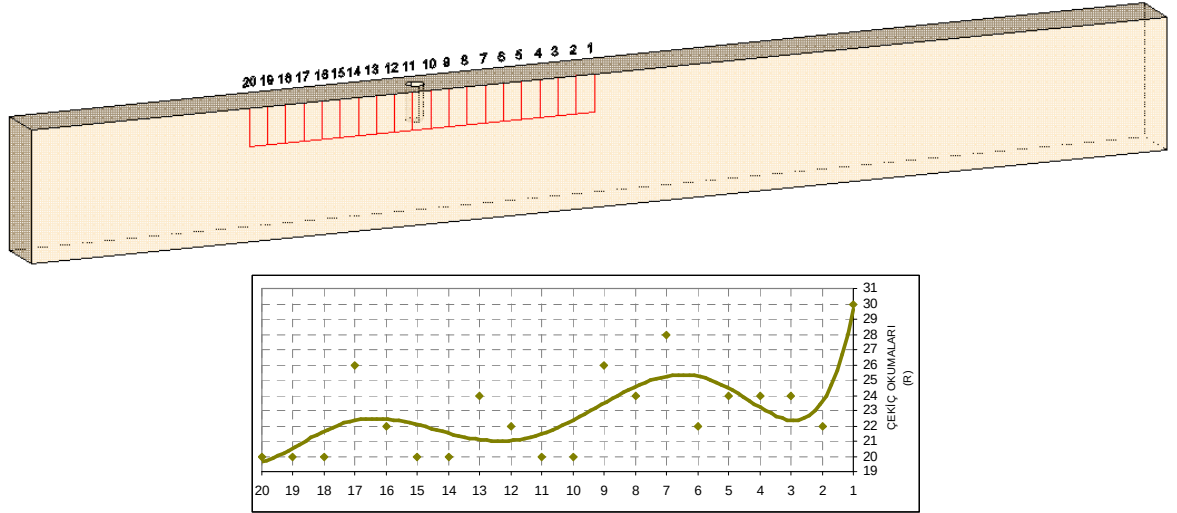
K4 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (178)	19	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (188)	17	
3 (198)	16	
4 (208)	16	
5 (218)	20	11,98
6 (228)	20	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
7 (238)	24	
8 (248)	26	
9 (258)	18	
10 (268)	20	70,51
11 (278)	22	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
12 (288)	24	
13 (298)	24	
14 (308)	24	
15 (318)	20	2,67
16 (328)	24	
17 (338)	24	
18 (348)	18	
19 (358)	22	
20 (368)	26	
Ortalama	21,2	



Şekil 5.36. K5 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).

Çizelge 5.33. K5 Numaralı numunenin değerleri

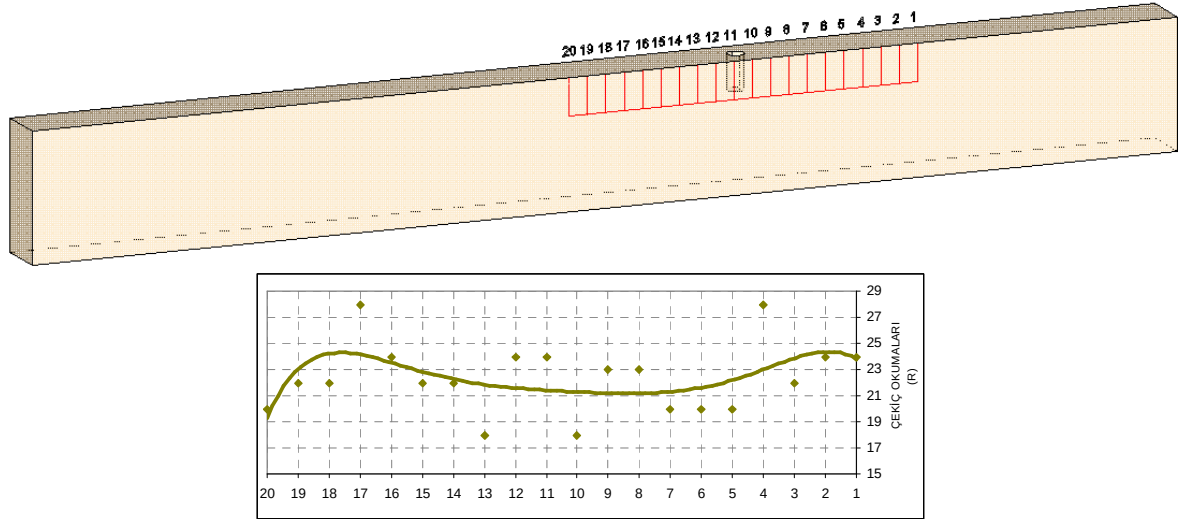
K5 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (88)	28	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (98)	24	
3 (108)	24	
4 (118)	24	
5 (128)	24	9,308
6 (138)	26	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
7 (148)	28	
8 (158)	26	
9 (168)	24	
10 (178)	26	61,35
11 (188)	24	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
12 (198)	24	
13 (208)	26	
14 (218)	26	
15 (228)	22	3,06
16 (238)	22	
17 (248)	26	
18 (258)	26	
19 (268)	26	
20 (278)	24	
Ortalama	25	



Şekil 5.37. K6 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.34. K6 Numaralı numunenin değerleri

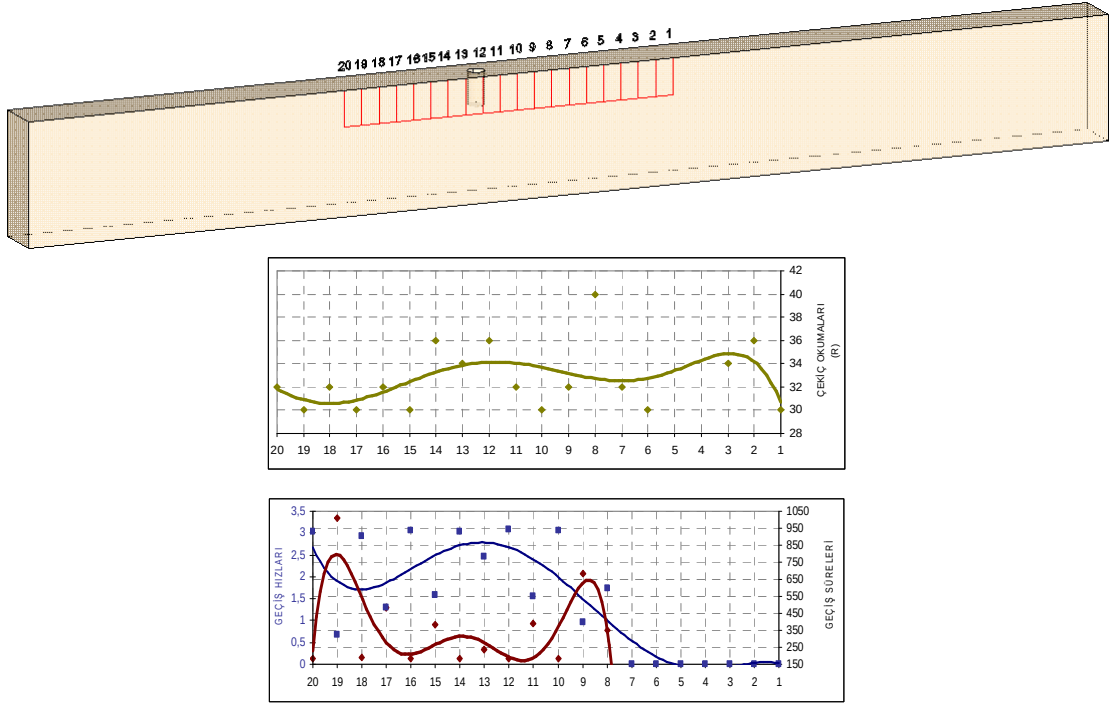
K6 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (315)	30	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (325)	22	
3 (335)	24	
4 (345)	24	
5 (355)	24	
6 (365)	22	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
7 (375)	28	
8 (385)	24	
9 (395)	26	
10 (405)	20	
11 (415)	20	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
12 (425)	22	
13 (435)	24	
14 (445)	20	
15 (455)	20	
16 (465)	22	Ortalama
17 (475)	26	
18 (485)	20	
19 (495)	20	
20 (505)	20	
Ortalama	22,9	



Şekil 5.38. K7 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.35. K7 Numaralı numunenin değerleri

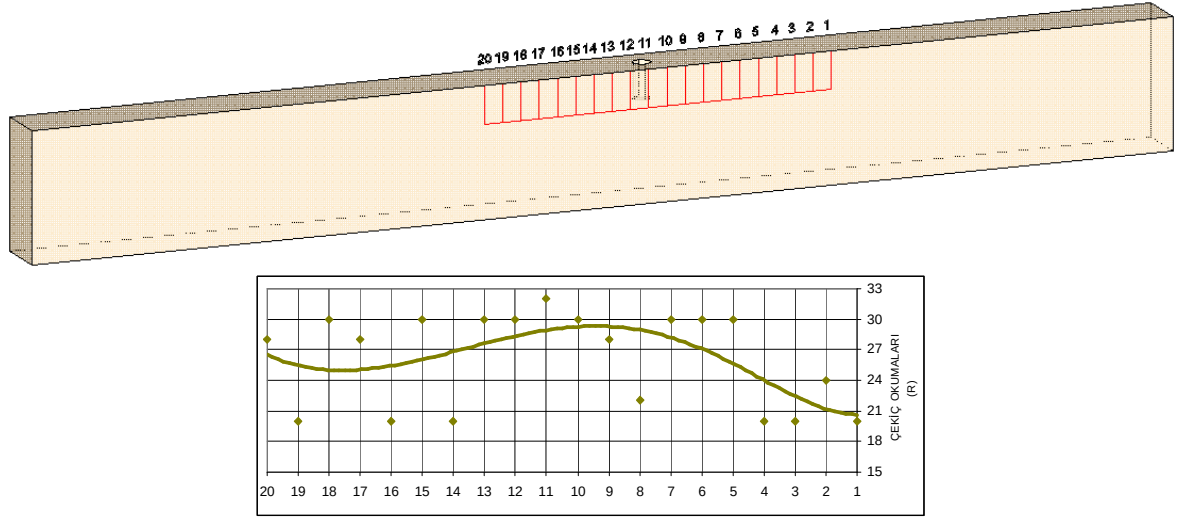
K7 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (142)	24	Basınç Dayanımı (σ) (MPa) 13,882
2 (152)	24	
3 (162)	22	
4 (172)	28	
5 (182)	20	
6 (192)	20	Ultrases Geçiş Süreleri (μs) 65,07
7 (202)	20	
8 (212)	23	
9 (222)	23	
10 (232)	18	
11 (242)	24	Ultrases Geçiş Hızları (km/s) 2,89
12 (252)	24	
13 (262)	18	
14 (272)	22	
15 (282)	22	
16 (292)	24	
17 (302)	28	
18 (312)	22	
19 (322)	22	
20 (332)	20	
Ortalama	22,4	



Şekil 5.39. K8 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.36. K8 Numaralı numunenin değerleri

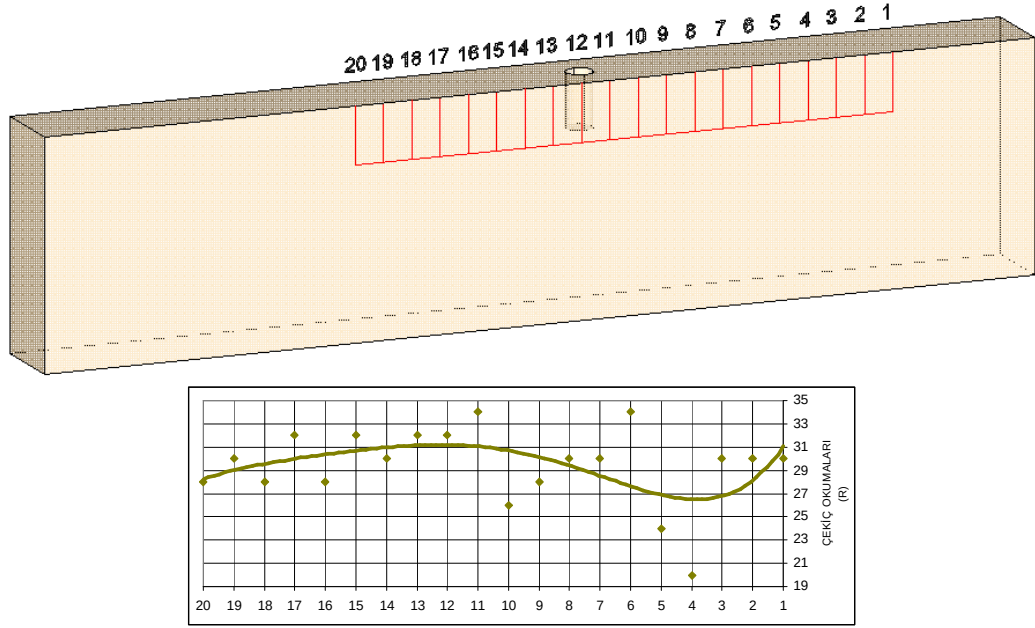
K8 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)				
Ölçüm Noktaları (cm)	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (252)			30	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (262)			36	
3 (272)			34	
4 (282)				
5 (292)				19,262
6 (302)			30	Ultrases Geçiş Süreleri (µs)
7 (312)			32	
8 (322)	348,02	1,73	40	
9 (332)	685,82	0,95	32	63,02
10 (342)	181,36	3,07	30	
11 (352)	389,74	1,56	32	
12 (362)	180,51	3,08	36	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
13 (372)	233,57	2,46	34	
14 (382)	183,89	3,03	36	
15 (392)	383,98	1,59	30	2,98
16 (402)	181,99	3,06	32	
17 (412)	484,69	1,29	30	
18 (422)	190,23	2,94	32	
19 (432)	1007,97	0,68	30	
20 (442)	183,67	3,04	32	
Ortalama			32,7	



Şekil 5.40. K9 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.37. K9 Numaralı numunenin değerleri

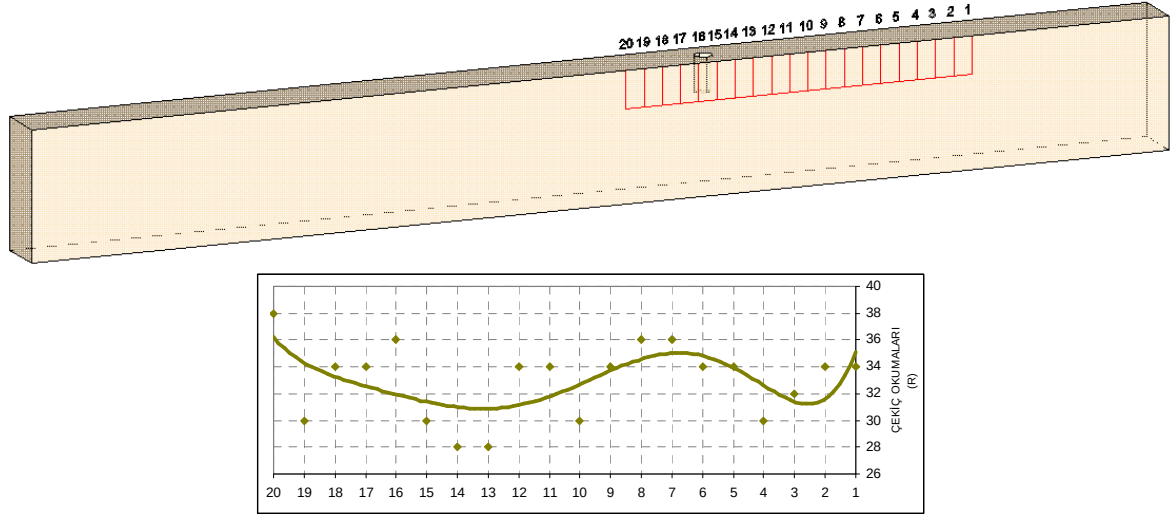
K9 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (187)	20	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (197)	24	
3 (207)	20	
4 (217)	20	
5 (227)	30	15,539
6 (237)	30	Ultrases Geçiş Süreleri (μ s)
7 (247)	30	
8 (257)	22	
9 (267)	28	
10 (277)	30	66,19
11 (287)	32	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
12 (297)	30	
13 (307)	30	
14 (317)	20	
15 (327)	30	2,84
16 (337)	20	
17 (347)	28	
18 (357)	30	
19 (367)	20	
20 (377)	28	
Ortalama	26,1	



Şekil 5.41. K10 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).

Çizelge 5.38. K10 Numaralı numunenin değerleri

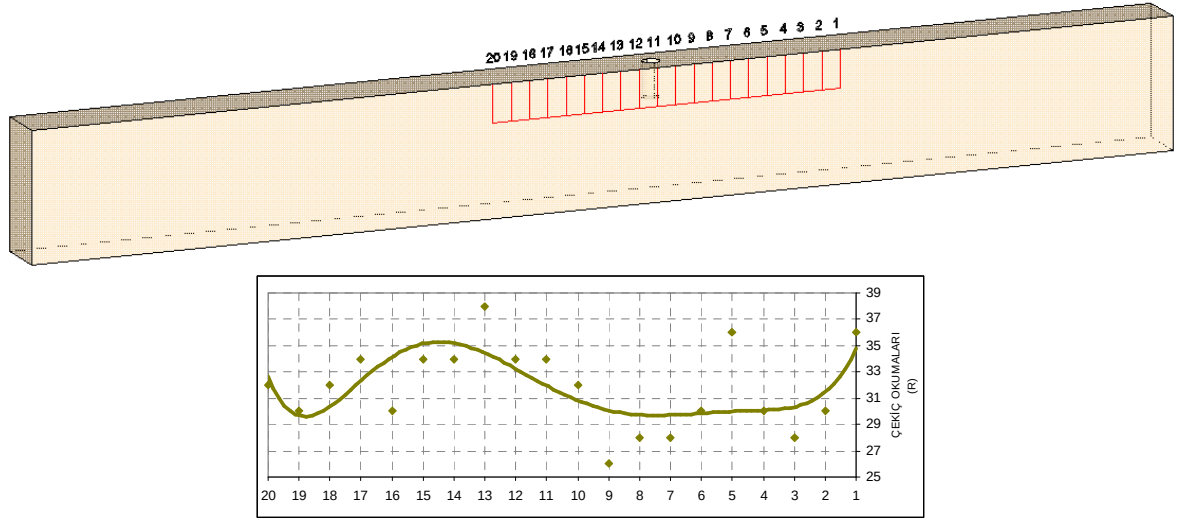
K10 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (50)	30	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (60)	30	
3 (70)	30	
4 (80)	20	15,268
5 (90)	24	
6 (100)	34	
7 (110)	30	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
8 (120)	30	
9 (130)	28	
10 (140)	26	69,19
11 (150)	34	
12 (160)	32	
13 (170)	32	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
14 (180)	30	
15 (190)	32	
16 (200)	28	2,72
17 (210)	32	
18 (220)	28	
19 (230)	30	
20 (240)	28	
Ortalama	29,4	



Şekil 5.42. K11 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.39. K11 Numaralı numunenin değerleri

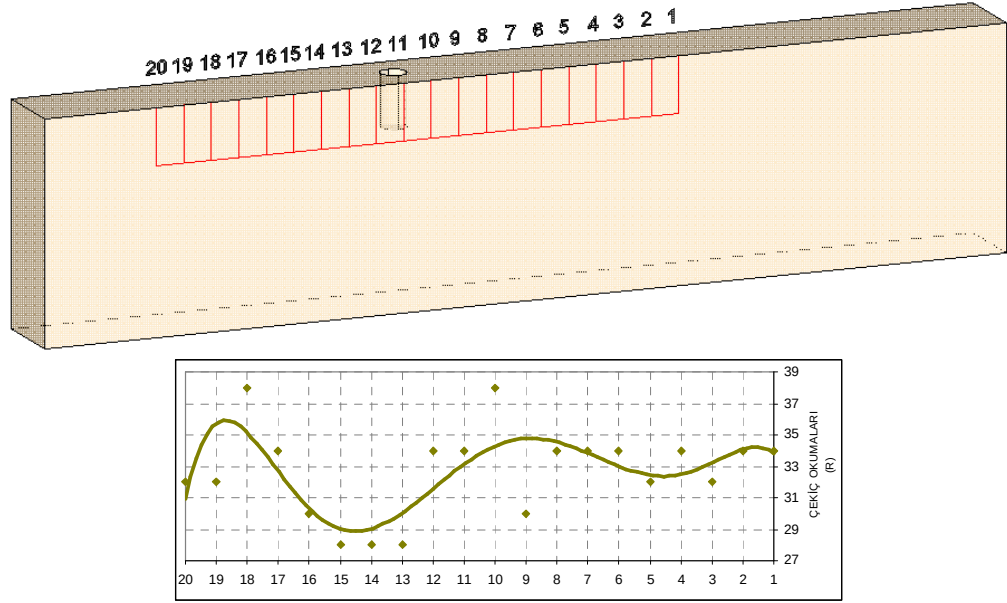
K11 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (108)	34	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (118)	34	
3 (128)	32	
4 (138)	30	
5 (148)	34	16,882
6 (158)	34	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
7 (168)	36	
8 (178)	36	
9 (188)	34	
10 (198)	30	70,13
11 (208)	34	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
12 (218)	34	
13 (228)	28	
14 (238)	28	
15 (248)	30	2,68
16 (258)	36	
17 (268)	34	
18 (278)	34	
19 (288)	30	
20 (298)	38	
Ortalama	33	



Şekil 5.43. K12 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).

Çizelge 5.40. K12 Numaralı numunenin değerleri

K12 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (182)	36	Basınç Dayanımı (σ) (MPa)
2 (192)	30	
3 (202)	28	
4 (212)	30	
5 (222)	36	
6 (232)	30	Ultrases Geçiş Süreleri (μs)
7 (242)	28	
8 (252)	28	
9 (262)	26	
10 (272)	32	
11 (282)	34	Ultrases Geçiş Hızları (km/s)
12 (292)	34	
13 (302)	38	
14 (312)	34	
15 (322)	34	
16 (332)	30	17,421
17 (342)	34	
18 (352)	32	
19 (362)	30	
20 (372)	32	
Ortalama	31,8	72,77
		2,58



Şekil 5.44. K13 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).

Çizelge 5.41. K13 Numaralı numunenin değerleri

K13 No'lu Numunenin Değerleri (Derinlik=30cm)		
Ölçüm Noktaları (cm)	Schmidt Çekici Geri Tepme Değerleri (R)	Karot Değerleri
1 (119)	34	Basınç Dayanımı (σ) (MPa) 19,51
2 (129)	34	
3 (139)	32	
4 (149)	34	
5 (159)	32	
6 (169)	34	Ultrases Geçiş Süreleri (μs) 67,5
7 (179)	34	
8 (189)	34	
9 (199)	30	Ultrases Geçiş Hızları (km/s) 2,79
10 (209)	38	
11 (219)	34	
12 (229)	34	
13 (239)	28	
14 (249)	28	
15 (259)	28	
16 (269)	30	
17 (279)	34	
18 (289)	38	
19 (299)	32	
20 (309)	32	
Ortalama	32,7	

BÖLÜM 6

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, beton kalitesinin belirlenebilmesi için laboratuvarında hazırlanan beton modeller üzerinde ve mevcut bir bina üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmıştır.

Öncelikle farklı beton basınç dayanım değerlerine sahip beton karışımları tasarlanmış ve küp numuneler hazırlanmıştır. Hazırlanan bu küp numuneler üzerinde 28. gün ve 90. gün sonunda beton kalitesinin belirlenmesi için tahribatsız deneylerden ultrases geçiş hızı yöntemi ile geçiş süreleri okunmuş, Schmidt çekici ile R değerleri belirlenmiş ve son olarak da tahribatlı standart deney yöntemi olan basınç deney cihazında kırılma yöntemi ile dayanım değerleri bulunmuş ve karşılaştırmalar yapılmıştır. Öncelikler ultrases geçiş hızları ile daha sonrasında da ultrases geçiş hızları ve Schmidt çekici ile bulunan R değerinin birlikte kullanıldığı birleşik metot ile beton kalitesinin belirlenmesi için birer bağıntı geliştirilmeye çalışılmıştır.

Hazırlanan numunelerin 28 günlük sonuçlarının grafikleri üssel olarak çizilmiştir. Ultrases geçiş hızları - Basınç grafiğinden elde edilen bağıntı aşağıda verilmiştir (6.1) ve R^2 değeri 0,8713 olarak bulunmuştur.

$$B = 0,0895 \times V^{4,0732} \quad (6.1)$$

B : Basınç değeri (MPa)

V : Ultrases geçiş hızı (km/s)

Bu bağıntının farklı kalitede betonlarda uygulandığında, hepsinde aynı hassasiyette sonuç vermediği görülmüştür. Dolayısı ile kalite sınıflandırmasının yapılmasının daha hassas bir yaklaşım olacağı kanaatine varılmıştır. Kalite sınıflandırılması dikkate alınarak bulunan bağıntı ve katsayılar Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1. Kalite sınıflandırmasına göre kullanılacak bağıntılar

Beton Basınç Değer Aralığı	Kullanılacak Bağıntı
10 MPa – 20 MPa	$B = 0,0895 \times V^{4,0732}$
20 MPa – 35 MPa	$B = 0,078 \times V^{4,0732}$
35 MPa – 50 MPa	$B = 0,095 \times V^{4,0732}$

Bu bağıntılarla bulunan basınç değerleri ve sapmalar Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.2. Bağıntılarla bulunan basınç değerleri, fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir

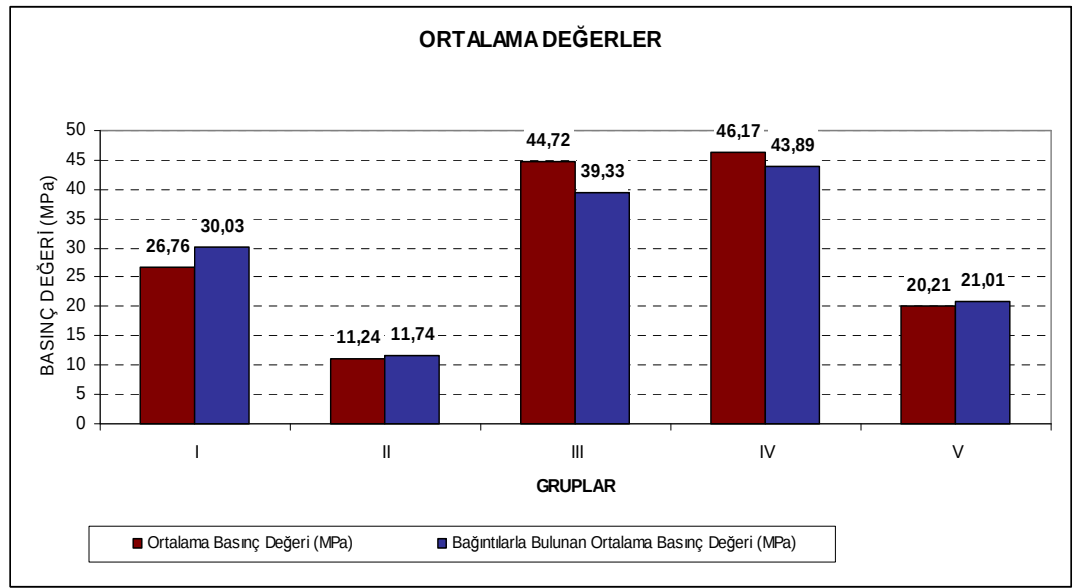
Numune No	V (km/s)	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)	Standart Sapma	Bağıntılar Yardımıyla Bulunan Basınç Değerleri (MPa)	Standart Sapma	Fark Yüzdeleri (%)	BAĞINTILAR
II-2	3,33	11,347	6,78	12,02	7,82	5,93	$B = 0,0895 \times V^{4,0732}$
II-3	3,28	11,283		11,3		0,15	
II-4	3,4	11,34		13,08		15,34	
II-5	3,4	11,443		13,08		14,31	
II-6	3,18	11,092		9,96		10,21	
II-7	3,26	10,919		11,02		0,92	
V-2	3,81	14,991		20,8		38,75	
V-3	4,02	23,23		25,88		11,41	
V-4	3,16	12,604		9,71		22,96	
V-5	4,35	32,491		35,69		9,85	
V-6	3,73	21,807		19,08		12,51	
V-7	3,51	16,14		14,89		7,74	
I-2	4,21	27,28	2,42	27,22	3,44	0,22	$B = 0,078 \times V^{4,0732}$
I-3	4,2	29,41		26,96		8,33	
I-4	4,2	28,55		26,96		5,57	
I-5	4,41	27,73		32,89		18,61	
I-6	4,36	23,51		31,39		33,52	
I-7	4,47	24,08		34,75		44,31	
III-2	4,38	48,216	2,43	38,96	3,16	19,2	$B = 0,095 \times V^{4,0732}$
III-3	4,42	46,301		40,43		12,68	
III-4	4,38	40,698		38,96		4,27	
III-5	4,38	41,342		38,96		5,76	
III-6	4,36	47,603		38,24		19,67	
III-7	4,42	44,188		40,43		8,5	
IV-1	4,52	47,163		44,28		6,11	
IV-2	4,54	45,523		45,09		0,95	
IV-3	4,54	44,604		45,09		1,09	
IV-4	4,42	48,024		40,43		15,81	
IV-5	4,42	45,988		40,43		12,09	
IV-6	4,61	45,746		47,99		4,91	

Sonuçlara bakıldığında 20 MPa–35 MPa aralığındaki betonlarda fark yüzdeleri değerlerin daha fazla saptığı görülmüştür. Standart sapma değerlerine bakıldığında aynı kalitedeki betonların kendi içlerinde uyumlu olduğu görülmüştür. Ancak bazı numunelerde standart sapmanın dışına çıkan örnekler bulunmaktadır. Özellikle V. grup numunelerde kalıplara yerleştirme esnasında düzgün bir sıkıştırma yapılamamasından dolayı kırılma değerlerinde farklılıklar gözlemlenmektedir, bu da standart sapma değerlerini

arttırmaktadır. Bulunan değerlerin ortalamaları aşağıda Çizelge 6.3’de ve grafikleri Şekil 6.1’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.3. 28 günlük ortalama değerler

Grup	Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Bağıntılarla Bulunan Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)
I	26,76	30,03	10,89
II	11,24	11,74	4,26
III	44,72	39,33	13,7
IV	46,17	43,89	5,19
V	20,21	21,01	3,81

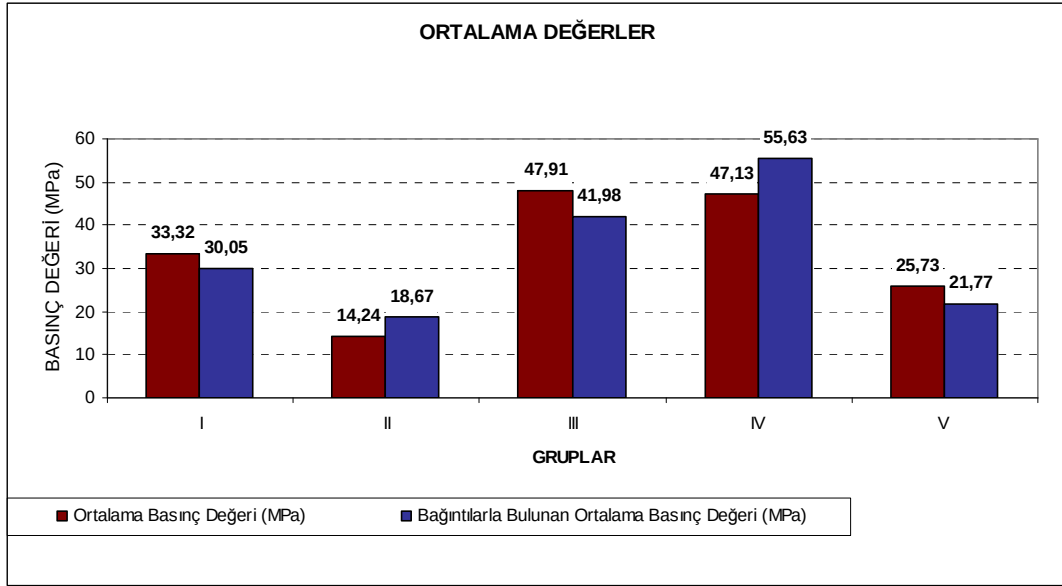


Şekil 6.1. 28 günlük ortalama değerler.

Yukarıdaki değerler ve grafikler 28 günlük değerlerden oluşturulmuş grafiklerdir. Aşağıda Çizelge 6.4’de 90 günlük numunelerin sadece ortalama değerleri ve fark yüzdeleri verilmiş, Şekil 6.2’de ise grafikleri çizilmiştir.

Çizelge 6.4. 90 günlük ortalama değerler

Grup	Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Bağıntılarla Bulunan Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)
I	33,32	30,05	9,81
II	14,24	18,67	31,11
III	47,91	41,98	12,38
IV	47,13	55,63	18,04
V	25,73	21,77	15,39



Şekil 6.2. 90 günlük ortalama değerler.

Yukarıdaki sonuçlara benzer şekilde hem ultrases geçiş hızı hem de Schmidt çekici değerlerini kullanarak birleşik yöntem ile bir bağıntı daha bulunmaya çalışılmıştır. Ultrases geçiş hızı-Schmidt çekici değeri-Basınç değeri grafiğinden alınan değerlere bakıldığında, basınç değeri Schmidt çekici (R) değerinin üçüncü kuvvetin ve ultrases geçiş hızının ise dördüncü kuvveti ile ilişkilendirilmiştir. Bulunan R^2 değeri ultrases geçiş hızı için 0,8713, Schmidt çekici değeri için 0,9224'dür ve bağıntı (6.2) aşağıda verilmiştir.

$$B = 0,002(R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617} \quad (6.2)$$

B : Basınç değeri (MPa)

V : Ultrases geçiş hızı (km/s)

R : Schmidt çekici değeri

Bulunan bağıntı yine yukarıdaki çalışmada olduğu kalite sınıflandırılmasına göre farklı katsayılarla çarpılmalıdır. Kalite sınıflandırması için kullanılan bağıntılar Çizelge 6.5'de, bulunan sonuçlar ise Çizelge 6.6'da verilmiştir.

Çizelge 6.5. Kalite sınıflandırmasına göre kullanılacak bağıntılar (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile)

Beton Basınç Değer Aralığı	Kullanılacak Bağntı
10 MPa – 20 MPa	$B = 0,0028 \times (R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617}$
20 MPa – 35 MPa	$B = 0,002 \times (R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617}$
35 MPa – 50 MPa	$B = 0,0025 \times (R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617}$

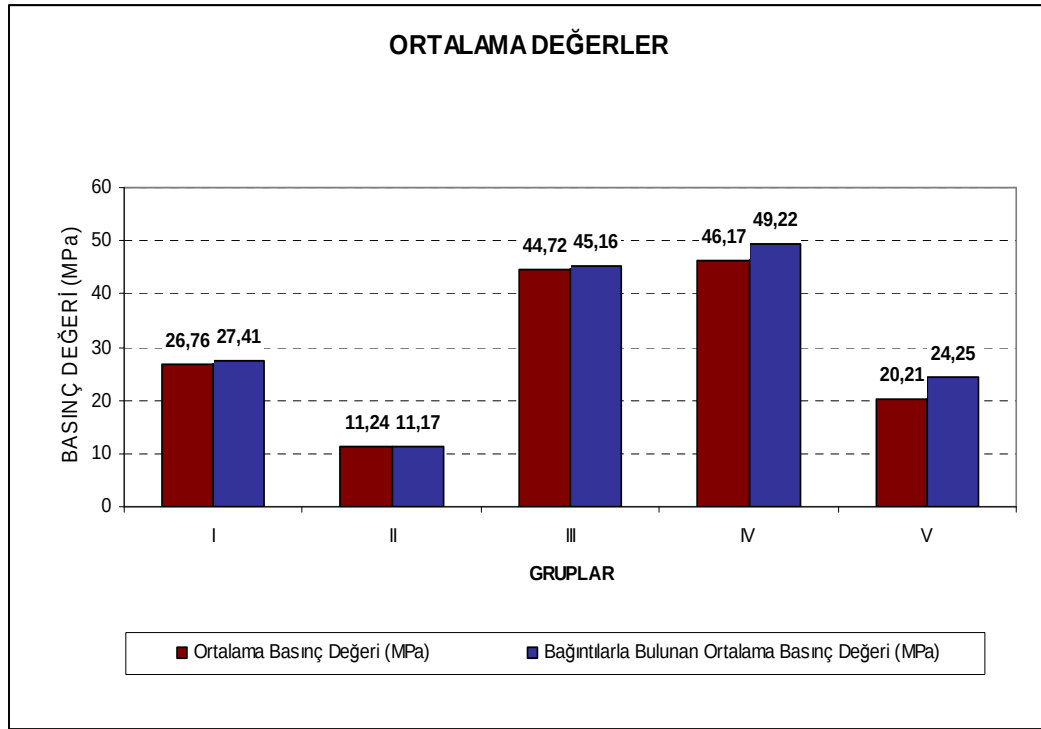
Çizelge 6.6. Bağıntılarla bulunan basınç değerleri (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile) fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir

Numune No	V (km/s)	R	Basınç Deney Cihazında Kırılma (MPa)	Standart Sapma	Bağıntılar Yardımıyla Bulunan Basınç Değerleri (MPa)	Standart Sapma	Fark Yüzdesi (%)	BAĞINTILAR
II-2	3,33	19	11,347	6,78	11,86	10,19	4,52	$B = 0,0028 \times (R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617}$
II-3	3,28	18	11,283		10,36		8,18	
II-4	3,4	19	11,34		12,5		10,23	
II-5	3,4	19	11,443		12,5		9,24	
II-6	3,18	18	11,092		9,58		13,63	
II-7	3,26	18	10,919		10,2		6,58	
V-2	3,81	20	14,991		18,26		21,81	
V-3	4,02	23	23,23		26,91		15,84	
V-4	3,16	20	12,604		11,41		9,47	
V-5	4,35	27	32,491		43,86		34,99	
V-6	3,73	25	21,807		25,93		18,91	
V-7	3,51	23	16,14		19,14		18,59	
I-2	4,21	27	27,28	2,42	28,86	4,84	5,79	$B = 0,002 \times (R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617}$
I-3	4,2	24	29,41		23,18		21,18	
I-4	4,2	27	28,55		28,68		0,46	
I-5	4,41	27	27,73		32,43		16,95	
I-6	4,36	21	23,51		20		14,93	
I-7	4,47	26	24,08		31,33		30,11	
III-2	4,38	29	48,216	2,43	45,34	2,97	5,96	$B = 0,0025 \times (R^{2,933} \times V^{4,0732})^{0,617}$
III-3	4,42	30	46,301		49,33		6,54	
III-4	4,38	29	40,698		45,34		11,41	
III-5	4,38	29	41,342		45,34		9,67	
III-6	4,36	28	47,603		42,07		11,62	
III-7	4,42	28	44,188		43,54		1,47	
IV-1	4,52	29	47,163		49,07		4,04	
IV-2	4,54	29	45,523		49,62		9	
IV-3	4,54	28	44,604		46,57		4,41	
IV-4	4,42	31	48,024		52,34		8,99	
IV-5	4,42	30	45,988		49,33		7,27	
IV-6	4,61	28	45,746		48,39		5,78	

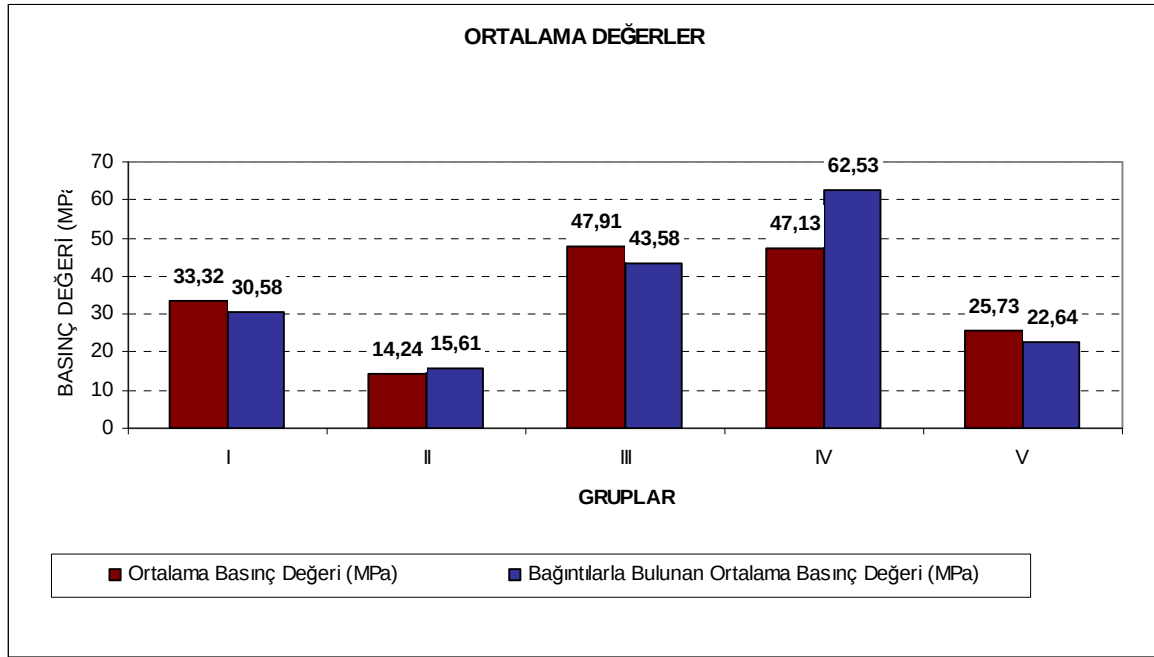
Bulunan değerlerin 28 günlük ortalamaları aşağıda Çizelge 6.7’de ve grafikleri Şekil 6.3’de, 90 günlük değerleri ise Çizelge 6.8’de ve grafikleri Şekil 6.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 6.7. 28 günlük ortalama değerler (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile)

Grup	Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Bağıntılarla Bulunan Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)
I	26,76	27,41	2,43
II	11,24	11,17	0,62
III	44,72	45,16	0,98
IV	46,17	49,22	6,61
V	20,21	24,25	19,99

**Şekil 6.3.** 28 günlük ortalama değerler (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).**Çizelge 6.8.** 90 günlük ortalama değerler (Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile)

Grup	Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Bağıntılarla Bulunan Ortalama Basınç Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)
I	33,32	30,58	8,22
II	14,24	15,61	9,62
III	47,91	43,58	9,04
IV	47,13	62,53	32,68
V	25,73	22,64	12,01



Şekil 6.4. 90 günlük ortalama değerler (Ultras es geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).

Bulunan ultras es geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri Çizelge 3.4’de belirtilen bağıntılarda kullanılarak basınç değeri bulunmuştur. Bu değeri n 28 günlük sonuçları Çizelge 6.9’da ve 90 günlük sonuçları Çizelge 6.10’da gösterilmiştir. Ayrıca fark yüzdeleri değeri n de gösterilmiş ve yine diğ er çizelgelerde oldu ğ u gibi %15 ve daha yukarısında farklılık gösteren değeri n kırmızı renkle gösterilmiştir.

Çizelge 6.9. 28 günlük değerlerin farklı çalışmalardan elde edilen bağıntılarda kullanılması ve basınç değerleri, fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir (Kullanılan bağıntılar Arıoğlu ve Arıoğlu (2005)'dan alınmıştır)

Numune		Farklı Bağıntılarla Bulunan Değerler							
		Meynink ve Samarin (1979)		Tanigawa ve ark. Ramyar ve Kol (1996)		Yapı Merkezi (1994)		Arıoğlu ve Köylüoğlu (1996)	
		Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdesi (%)	Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdesi (%)	Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdesi (%)	Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdesi (%)
1	I-2	23,1	15,32	23,1	15,32	21,81	20,05	21,58	20,89
2	I-3	18,73	36,31	18,45	37,27	17,58	40,22	17,29	41,21
3	I-4	23,01	19,4	23,05	19,26	21,69	24,03	21,46	24,83
4	I-5	24,98	9,92	24,11	13,05	24,33	12,26	24,18	12,8
5	I-6	15,92	32,28	14,67	37,6	15,12	35,69	14,83	36,92
6	I-7	24,17	0,37	22,88	4,98	23,5	2,41	23,32	3,16
7	II-2	6,06	46,59	6,39	43,69	6,46	43,07	6,39	43,69
8	II-3	4,42	60,83	4,61	59,14	5,61	50,28	5,58	50,55
9	II-4	6,37	43,83	6,75	40,48	6,81	39,95	6,72	40,74
10	II-5	6,37	44,33	6,75	41,01	6,81	40,49	6,72	41,27
11	II-6	4,02	63,76	4,1	63,04	5,18	53,3	5,17	53,39
12	II-7	4,34	60,25	4,5	58,79	5,52	49,45	5,49	49,72
13	III-2	27,54	42,88	27,03	43,94	27,14	43,71	27,1	43,79
14	III-3	29,36	36,59	28,76	37,88	29,41	36,48	29,49	36,31
15	III-4	27,54	32,33	27,03	33,58	27,14	33,31	27,1	33,41
16	III-5	27,54	33,38	27,03	34,62	27,14	34,35	27,1	34,45
17	III-6	25,91	45,57	25,39	46,66	25,25	46,96	25,13	47,21
18	III-7	26,51	40,01	25,7	41,84	26,07	41	25,99	41,18
19	IV-1	28,99	38,53	27,73	41,2	29,21	38,07	29,27	37,94
20	IV-2	29,21	35,83	27,83	38,87	29,51	35,18	29,59	35
21	IV-3	27,78	37,72	26,3	41,04	27,75	37,79	27,74	37,81
22	IV-4	30,79	35,89	30,29	36,93	31,14	35,16	31,32	34,78
23	IV-5	29,36	36,16	28,76	37,46	29,41	36,05	29,49	35,87
24	IV-6	28,57	37,55	26,66	41,72	28,76	37,13	28,8	37,04
25	V-2	10,07	32,83	10,35	30,96	9,96	33,56	9,76	34,89
26	V-3	15,83	31,86	16,01	31,08	14,66	36,89	14,37	38,14
27	V-4	6,8	46,05	7,06	43,99	6,24	50,49	6,18	50,97
28	V-5	24,39	24,93	23,81	26,72	23,56	27,49	23,38	28,04
29	V-6	16,7	23,42	17,61	19,25	14,23	34,75	13,94	36,08
30	V-7	12,62	21,81	13,43	16,79	10,53	34,76	10,31	36,12

Çizelge 6.10. 90 günlük değerlerin farklı çalışmalardan elde edilen bağıntılarda kullanılması ve basınç değerleri, fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir (Kullanılan bağıntılar Arıoğlu ve Arıoğlu (2005)’dan alınmıştır)

Numune		Farklı Bağıntılarla Bulunan Değerler							
		Meynink ve Samarin (1979)		Tanigawa ve ark. Ranyar ve Kol (1996)		Yapı Merkezi (1994)		Arıoğlu ve Köylüoğlu (1996)	
		Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)	Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)	Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)	Dayanım Değeri (MPa)	Fark Yüzdeleri (%)
1	I-8	23,25	28,96	22,43	31,47	22,4	31,56	22,19	32,2
2	I-9	24,18	26,9	24,43	26,14	22,74	31,25	22,54	31,86
3	I-10	24,68	27,72	23,96	29,82	23,94	29,88	23,78	30,35
4	II-8	9,69	31,35	10,05	28,8	9,58	32,13	9,38	33,55
5	II-9	6,41	55,58	6,63	54,05	7,51	47,95	7,39	48,78
6	II-10	7,96	43,82	8,26	41,7	8,42	40,57	8,27	41,63
7	III-8	28,57	41,14	26,66	45,07	28,76	40,74	28,8	40,66
8	III-9	25,08	47,33	24,16	49,26	24,46	48,63	24,31	48,95
9	III-10	25,72	45,94	25,29	46,85	24,98	47,5	24,85	47,77
10	IV-7	35,57	25,65	32,37	32,34	38,2	20,15	38,9	18,69
11	IV-8	34,66	28,57	32,01	34,03	36,95	23,85	37,53	22,65
12	IV-9	33,11	26,47	30,43	32,42	34,75	22,83	35,16	21,92
13	V-8	27,29	4,81	27,65	6,19	26,11	0,28	26,03	0,03
14	V-9	18,69	27,95	19,08	26,45	17,04	34,32	16,74	35,47
15	V-10	17,03	35,75	17,39	34,39	15,55	41,33	15,25	42,46
16	V-11	11,96	46,15	12,24	44,89	11,39	48,71	11,15	49,8
17	V-12	18,56	33,57	19,49	30,24	15,97	42,84	15,68	43,88

Yukarıda verilen bağıntılar 150 × 150 ×150 mm’lik küp numunelerin değerleri yardımıyla bulunmuştur. Ancak mevcut bir bina üzerinde inceleme yapılmadan önce mutlaka betonun kalite aralığının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için karotlar alınarak ortalama bir değer bulunması gerekmektedir.

Küp numuneler üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ayrıca aşağıdaki sonuçlar da elde edilmiştir.

- o 5. Grup olarak tasarlanan ve küp kalıplara yerleştirilen beton homojen bir karışım şeklinde hazırlanmıştır. Ancak kalıplara yerleştirme esnasında tam olarak sıkıştırma yapılamamış ve beton içerisinde boşluklar oluşmuştur. Bundan dolayı 28 ve 90. günlerde basınç değerlerinde farklılıklar gözlemlenmiştir. Ayrıca Schmidt çekici değerleri ve ultrases geçiş sürelerinde de paralel şekilde farklılıklar görülmektedir. Saçılmaların bundan dolayı olduğu düşünülmektedir.

- o Tüm gruplarda 28. gün sonunda bulunan basınç değerlerinde 90. günün sonunda artış gözlemlenmiştir. Ancak Schmidt çekici değerlerinde ve ultrases geçiş süreleri değerlerinde herhangi bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Çalışmanın ikinci aşamasında mevcut bir bina üzerinde farklı yatay ve düşey taşıyıcı elemanlar üzerinde tahribatlı ve tahribatsız deneyler yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bazı taşıyıcı elemanların ultrases geçiş hızları, Schmidt çekici değerleri bulunmuş, bazılarında da karot alınarak beton basınç deney düzeneğinde kırılarak basınç dayanımları bulunmaya çalışılmıştır.

- o Tahribatlı yöntem olan taşıyıcı elemanlardan karot alarak ve kırarak basınç dayanımını belirlemek esastır. Ancak karot alma esnasında çelik donatıların kesilmemesi gerekmektedir. Bunun için taşıyıcı elemanların taranarak donatılarının yerlerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu amaçla yapı radarı (YR) ile görüntüleme yapılmış böylece donatıların yerleri belirlenebilmiştir.
- o Donatıların çok sık olduğu görüldüğünden düşey taşıyıcı elemanlarda karot alınamayacağı anlaşılmıştır. Bunun için karotlar yatay taşıyıcı elemanlardan alınmış ve binanın beton kalitesi hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Kırılan karotların sonucunda basınç dayanımı ortalama 14,57 MPa olarak tespit edilmiştir.
- o Alınan karotların basınç dayanımı değerleri ile Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızları arasında bir ilişki kurulmaya çalışılarak, karot alınamayan diğer taşıyıcı elemanların basınç dayanım değerlerinin tahmin edilebileceği düşünülmüştür.
- o Ancak ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi Schmidt çekici değerleri kadar istikrarlı sonuçlar vermemiştir. Taşıyıcı elemanlar içerisinde bulunan çelik donatılardan dolayı ultrases geçiş hızlarında önemli saçılmalar gözlemlenmiştir. Donatıların bulundukları yerlerde sürenin çok arttığı görülmüştür.
- o Kullanılan tahribatsız yöntemler ile uygun ilişkiler kurularak karot sayısının azaltılabileceği ya da karotların alınamadığı yerler hakkında fikir edinilebileceği anlaşılabilmektedir.
- o Mevcut bir yapı üzerinde Schmidt çekici değerleri yardımı ile beton basınç dayanımı değerleri hakkında fikir edinilmek isteniyorsa mutlaka üretici firmanın verdiği R değerleri ile basınç değerleri dönüşüm abaklarından yararlanılması gerekmektedir. Ancak bu değerlerde önemli ölçüde sapmalar görüldüğünden öncelikle binanın çeşitli yerlerinden karot alarak R değerleri ile arasında ilişki kurulup kalibrasyon yapıldıktan sonra devam edilmelidir.

- o Mevcut binanın yatay taşıyıcı elemanları üzerinde (kirişlerden) yapılan Schmidt çekici okumalarında önemli ölçüde farklılıklar gözlemlenmiştir. Binanın özellikle kuzeye bakan kısmında taşıyıcı eleman yüzeyleri önemli ölçüde hasar görmüş ve düz bir yüzey elde edilmekte zorlanılmıştır. Yüzeyin yıpranmış olması sebebi ile okunan değerlerde önemli sapmalar görülmüştür.
- o Yine aynı sebepten dolayı ultrases geçiş hızları belirlenememiştir. Yüzeylerinde düz bir kısım bulunamadığından cihazın alıcı verici uçları yüzeye tam temas ettirilememiş ve sağlıklı okumalar yapılamamıştır.
- o Mevcut bir binada ultrases geçiş hızlarını belirlemek için kullanılan yöntemde bina taşıyıcı elemanlarının yerleşimlerinden dolayı bir takım zorluklar yaşanabilmektedir. Doğrusal ölçümün yapılamadığı yerlerde kimi zaman yarı-doğrusal ya da dolaylı ölçümler yapılmakta bu da dalgaların geçiş sürelerinin uzamasına yani hızlarının düşmesine neden olmaktadır. Mümkün olduğu kadar doğrusal ölçüm yapılması, mümkün olmadığı durumlarda ise diğer doğrusal, yarı-doğrusal ve dolaylı ultrases geçiş hızı yöntemleri arasında bir ilişki kurularak yapılması önerilmektedir.

KAYNAKLAR

- Akman S., 1990. *Yapı Malzemeleri* (2. baskı). İTÜ İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Altundaş S., 2010. Beton Dayanımının Tahmininde Kullanılan Jeofizik Yöntemler. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon.
- Arioğlu E. ve Arıoğlu N., 2005. *Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirmesi* (2. baskı). Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Arıöz Ö., 2004. Beton Dayanımının Standart, Tahribatlı, Yarı-Tahribatlı Ve Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir
- Aydın F., 2005. Beton Kalitesinin Tahribatlı-Tahribatsız Testlerle Belirlenmesi ve Karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Sakarya.
- Başka M.A., 2006. Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Erzurum.
- CEN, 2003. Pr EN 12504-4/2003. Testing Concrete-Part 4: Determination of Ultrasonic Pulse Velocity. Brussels.
- Doğangün A., 2010. *Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı* (4. baskı). Birsan Yayınevi, İstanbul.
- Erdal M., 2002. Beton Basınç Dayanımının Bazı Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Erdoğan S.T. ve Erdoğan T.Y., 2006. *Sorular ve Yanıtlarıyla Beton*, THBB Yayınları, Ankara.
- Erdoğan T.Y., 2004. *Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri*, THBB Yayınları, Ankara.
- Ergün A. ve Kürklü G., 2005. Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi, *Deprem Sempozyumu*, Kocaeli. 817–826.
- Ersoy U., 2002. *Betonarme 1 Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı* (3. baskı), Evrim Yayınevi, İstanbul.
- Güner M.S., Girgin C. ve Arıoğlu E., 2000. Normal Dayanımlı Betonlarda Dayanım-Kür Süresi-Ultrases Hızı-Yüzey Sertliği Bağıntıları. *Hazır Beton Dergisi*, 37: 53–59.
- Hola J. Ve Schabowicz K., 2010. State-of-the Art Non-Destructive Methods For Diagnostic Testing of Building Structures-Anticipated Development Trends. *Archives Of Civil And Mechanical Engineering*, 10 (3): 5–18.
- IAEA, 2002. Guidebook on Non-Destructive Testing of Concrete Structures, International Atomic Energy Agency 2002. Vienna.

- İnan H., Arıoğlu N. Ve Arıoğlu E., 2003. Depremden Yıkılan Bazı Binalara Ait Beton Molozlarının Fiziksel Büyüklükleri. *Beton Prefabrikasyon Dergisi* 67: 5–13.
- Küçük Ö.F., 2006. Ultrasonik Yüzey Dalgaları-Schmidt Yöntemi Yardımıyla Beton Dayanımının Bulunması. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.
- Malhotra V.M. ve Carotte G.G., 2004. Penetration Resistance Methods. In: Malhotra, V.M. ve Carino, N.J., Eds. *Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete*, (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton.
- Malhotra V.M., 2001. NDT Techniques. In: Ramachandran, V.S. ve Beaudoin, J.J., Eds. *Handbook of Analytical Techniques in Concrete Science and Technology Principles, Techniques, and Applications*. Noyes Publications, NJ, William Andrew Publishing, LCC, NY. 738–758
- Malhotra V.M., 2004. Surface Hardness Methods. In: Malhotra, V.M. ve Carino, N.J., Eds. *Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete*, (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton.
- Naik T.R., 2004. The Break-Off Test Method. In: Malhotra, V.M. ve Carino, N.J., Eds. *Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete*, (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton.
- Naik T.R., Malhotra V.M. ve Popovics J.S., 2004. The Ultrasonic Pulse Velocity Method. In: Malhotra, V.M. ve Carino, N.J., Eds. *Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete*, (2nd ed.). CRC Press, Boca Raton.
- Postacıoğlu B., 1987. *Beton*, Cilt 2. Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- Qasrawi H.Y., 2000. Concrete Strength By Combined Nondestructive Methods Simply and Reliably Predicted. *Cement and Concrete Research*, 30: 739-746
- Şimşek O., 2009. *Beton ve Beton Teknolojisi* (3. baskı). Seçkin Yayıncılık, Ankara
- Şimşek O., 2011. *Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri* (4. baskı), Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- TSE, 1980. TS 707/1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama Yöntemi. Ankara.
- TSE, 2000. TS 500/2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Ankara.
- TSE, 2002. TS EN 12390–1/2002. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri. Ankara.
- TSE, 2004. TS EN 12504–2/2004. Yapılarda Beton Deneyleri-Bölüm 2: Tahribatsız Deneyler-Geri Sıçrama Değerinin Tayini. Ankara.

- TSE, 2010a. TS EN 12390–2/2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması. Ankara.
- TSE, 2010b. TS EN 12390–3/2010. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. Ankara.
- TSE, 2010c. TS EN 13791/2010. Basınç Dayanımının Yapılar ve Öndökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini. Ankara
- TSE, 2011. TS EN 12504–1/2011. Beton-Yapıda Beton Deneyleri-Bölüm 1: Karot Numuneler-Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini. Ankara.
- TSE, 2012. TS EN 197–1/2012. Çimento-Bölüm 1: Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. Ankara.
- Turgut P., 2004. Research Into The Correlation Between Concrete Strength and UPV Values. *NDT.net Article*, 12.
- Uyanık O., ve Tezcan S., 2012. Beton Dayanımının Ultrasonik Yöntemle Tayini. *Jeofizik Bülteni*, 23 (70): 41–45
- Yüksel İ., 1995. Bileşik Yıkıntısız Beton Deneyleri ile Beton Mukavemetinin Belirlenmesi ve Betonarme Bir Yapıda Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

ÇİZELGELER

Sayfa

Çizelge 3.1. Betonlarda olması beklenen nitelikler.....	9
Çizelge 3.2. Beton sınıfları ve dayanımları.....	12
Çizelge 3.3. Ultrases dalgası geçiş hızı ve beton kalitesi ilişkisi.....	28
Çizelge 3.4. Farklı çalışmalardan elde edilen bağıntılar.....	33
Çizelge 4.1. Tane büyüklüğü dağılımı deney sonuçları.....	36
Çizelge 4.2. Agregalar ile yapılan deneylerin sonuçları.....	37
Çizelge 4.3. AKÇANSA Firmasından ve standarttan alınan çimento bilgileri.....	41
Çizelge 5.1. 7 günlük küp numunelerin beton basınç deney cihazında kırılma sonucu bulunan değerleri.....	59
Çizelge 5.2. 28 ve 90 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri.....	60
Çizelge 5.3. Toplu olarak 28 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri.....	61
Çizelge 5.4. I. Grup beton numunelerin değerleri.....	63
Çizelge 5.5. II. Grup beton numunelerin değerleri.....	64
Çizelge 5.6. III. Grup beton numunelerin değerleri.....	65
Çizelge 5.7. IV. Grup beton numunelerin değerleri.....	66
Çizelge 5.8. V. Grup beton numunelerin değerleri.....	67
Çizelge 5.9. Farklı beton basınç dayanımlarına göre sınıflandırma.....	68
Çizelge 5.10. Toplu olarak 90 günlük küp numunelerin 3 farklı yöntemle elde edilen değerleri.....	70
Çizelge 5.11. I. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	71
Çizelge 5.12. II. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	72
Çizelge 5.13. III. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	73
Çizelge 5.14. IV. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	74
Çizelge 5.15. V. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	75
Çizelge 5.16. Farklı beton basınç dayanımlarına göre sınıflandırma (90 günlük değerler)	76
Çizelge 5.17. Ölçüm yapılan taşıyıcı elemanlar.....	78
Çizelge 5.18. 1 Numaralı numunenin değerleri.....	84
Çizelge 5.19. 2 Numaralı numunenin değerleri.....	85
Çizelge 5.20. 3 Numaralı numunenin değerleri.....	86
Çizelge 5.21. 4 Numaralı numunenin değerleri.....	87
Çizelge 5.22. 5 Numaralı numunenin değerleri.....	88

Çizelge 5.23. 6 Numaralı numunenin değerleri.....	89
Çizelge 5.24. 7 Numaralı numunenin değerleri.....	90
Çizelge 5.25. 8 Numaralı numunenin değerleri.....	91
Çizelge 5.26. 9 Numaralı numunenin değerleri.....	92
Çizelge 5.27. 10 Numaralı numunenin değerleri.....	93
Çizelge 5.28. 11 Numaralı numunenin değerleri.....	94
Çizelge 5.29. Karotlardan elde edilen değerler.....	95
Çizelge 5.30. K2 Numaralı numunenin değerleri.....	96
Çizelge 5.31. K3 Numaralı numunenin değerleri.....	97
Çizelge 5.32. K4 Numaralı numunenin değerleri.....	98
Çizelge 5.33. K5 Numaralı numunenin değerleri.....	99
Çizelge 5.34. K6 Numaralı numunenin değerleri.....	100
Çizelge 5.35. K7 Numaralı numunenin değerleri.....	101
Çizelge 5.36. K8 Numaralı numunenin değerleri.....	102
Çizelge 5.37. K9 Numaralı numunenin değerleri.....	103
Çizelge 5.38. K10 Numaralı numunenin değerleri.....	104
Çizelge 5.39. K11 Numaralı numunenin değerleri.....	105
Çizelge 5.40. K12 Numaralı numunenin değerleri.....	106
Çizelge 5.41. K13 Numaralı numunenin değerleri.....	107
Çizelge 6.1. Kalite sınıflandırmasına göre kullanılacak bağıntılar.....	108
Çizelge 6.2. Bağıntılarla bulunan basınç değerleri, fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir	109
Çizelge 6.3. 28 günlük ortalama değerler.....	110
Çizelge 6.4. 90 günlük ortalama değerler.....	110
Çizelge 6.5. Kalite sınıflandırmasına göre kullanılacak bağıntılar (Ultras es geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).....	112
Çizelge 6.6. Bağıntılarla bulunan basınç değerleri (Ultras es geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile) fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir	112
Çizelge 6.7. 28 günlük ortalama değerler (Ultras es geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).....	113
Çizelge 6.8. 90 günlük ortalama değerler (Ultras es geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).....	113

Çizelge 6.9. 28 günlük değerlerin farklı çalışmalardan elde edilen bağıntılarda kullanılması ve basınç değerleri, fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir	115
Çizelge 6.10. 90 günlük değerlerin farklı çalışmalardan elde edilen bağıntılarda kullanılması ve basınç değerleri, fark yüzdesi değeri %15 ve daha yukarısında olanlar kırmızı renkle gösterilmiştir	116

ŞEKİLLER

Sayfa

Şekil 3.1. Beton numunelerine ait standart ölçü ve şekiller, (a) küp numuneler, (b) silindir numuneler, (c) prizma numuneler.....	16
Şekil 3.2. Küp ve silindir numunelerin kabul edilebilir kırılma şekilleri, (a) küp numuneler, (b) silindir numuneler	17
Şekil 3.3. Küp numunelerin kabul edilebilir olmayan bazı kırılma şekilleri.....	17
Şekil 3.4. Küp numunelerin basınç dayanımı testinin uygulanmasına ilişkin şema gösterimi.....	18
Şekil 3.5. Silindir karotların basınç dayanımı testinin uygulanmasına ilişkin şema gösterimi.....	20
Şekil 3.6. Silindirik numunelerin kabul edilebilir olmayan bazı kırılma şekilleri.....	21
Şekil 3.7. Binaların taşıyıcı sistem malzemelerinin kalitelerinin belirlenmesi için kullanılan bazı tahribatsız yöntemler	24
Şekil 3.8. Ultrases yöntemi deney düzeneği.....	29
Şekil 3.9. Ultrases yöntemi deneyinin farklı şekillerde uygulanma düzeneği.....	30
Şekil 3.10. Schmidt çekici ve üretici firma tarafından verilmiş Schmidt çekici dönüşüm tablosu.....	32
Şekil 4.1. Agregaların tane dağılımı (granülometre) eğrileri.....	36
Şekil 4.2. Agregaların istiflenmesi.....	37
Şekil 4.3. Agregaların (a) küçük elekte, (b) büyük elekte yıkanması.....	38
Şekil 4.4. Agregaların kuruması için oda sıcaklığında bırakılması	38
Şekil 4.5. Agregaların etüvde kurutulması	39
Şekil 4.6. Agregaların çeşitli deneyler için tartılarak hazırlanması	39
Şekil 4.7. Los Angeles deneyi.....	40
Şekil 4.8. Elek analizi.....	40
Şekil 4.9. Taze betonun mikserde hazırlanması.....	42
Şekil 4.10. Hazırlanan taze betonun çökme değerine bakılması (slump).....	42
Şekil 4.11. Taze betondaki hava miktarının belirlenmesi.....	43
Şekil 4.12. Hazırlanan taze betonun plastik küp kalıplara dökülmesi	43
Şekil 4.13. Küp beton modellerinin kürü için havuza yerleştirilmesi.....	44
Şekil 4.14. PUNDIT cihazı.....	45
Şekil 4.15. Schmidt çekici	45
Şekil 4.16. Schmidt çekicinin iç donanımı	46

Şekil 4.17. Beton basınç deney düzeneği.....	47
Şekil 4.18. Küp beton modeller üzerinde ultrases geçiş hızının ölçülmesi.....	48
Şekil 4.19. Schmidt çekici ile yüzey sertliğinin belirlenmesi	48
Şekil 4.20. Modellerin beton basınç deney cihazı ile kırılması.....	49
Şekil 4.21. Mevcut binanın kat planı	50
Şekil 4.22. Karotiyer	51
Şekil 4.23 Yüksek frekanslı radar (2,3 ve 1,0 GHz) uygulaması	52
Şekil 4.24. Kolonlar üzerinde ultrases geçiş süresinin ölçülmesi.....	53
Şekil 4.25. Kiriş üzerinde ultrases geçiş süresinin ölçülmesi.....	53
Şekil 4.26. Belirlenen elemanlar üzerinde Schmidt çekici ile yüzey sertlik değerlerinin okunması.....	54
Şekil 4.27. Yapı radarı ile okumaların (a) Şablon yardımı ile (b) Perde beton üzerinde yapılması (1,0 GHz anten ile), (c) kolonda yapılması (2,3 GHz anten ile).....	55
Şekil 4.28. Düşey taşıyıcı elemanlardaki donatı sıklığı.....	56
Şekil 4.29. Kirişlerden karot alınması.....	56
Şekil 4.30. Binadan alınan karotların görüntüsü	57
Şekil 4.31. Karotların ultrases geçiş hızlarının belirlenmesi.....	57
Şekil 4.32. Başlıklararak deneye hazır hale getirilen karotlar.....	58
Şekil 4.33. Karotların basınç deney cihazı ile kırılması.....	58
Şekil 5.1. 28 günlük değerlerin toplu sonuçlarının grafiksel gösterimi.....	62
Şekil 5.2. I. Grup beton numunelerin değerleri	63
Şekil 5.3. II. Grup beton numunelerin değerleri	64
Şekil 5.4. III. Grup beton numunelerin değerleri	65
Şekil 5.5. IV. Grup beton numunelerin değerleri	66
Şekil 5.6. V. Grup beton numunelerin değerleri	67
Şekil 5.7. Farklı beton kalitesindeki numunelerin bulunan sonuçlarının toplu gösterimi .	69
Şekil 5.8. 90 günlük değerlerin toplu sonuçlarının grafiksel gösterimi	70
Şekil 5.9. I. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	71
Şekil 5.10. II. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	72
Şekil 5.11. III. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	73
Şekil 5.12. IV. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	74
Şekil 5.13. V. Grup beton numunelerin değerleri (90 günlük).....	75
Şekil 5.14. Farklı beton kalitesindeki numunelerin bulunan sonuçlarının toplu gösterimi (90 günlük).....	77

Şekil 5.15. Ölçüm yapılan taşıyıcı elemanlar	79
Şekil 5.16. 5 Numaralı numunenin pas payını temsil etmek üzere 5 cm’de alınmış derinlik kesiti.....	80
Şekil 5.17. 5 Numaralı numunenin etriyelerini temsil etmek için 7 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (kırmızı çizgiler etriyeleri gösterir).....	80
Şekil 5.18. 5 Numaralı numunenin boyuna donatılarını temsil etmek için 9 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (mavi çizgiler boyuna donatıları gösterir).....	81
Şekil 5.19. 6 Numaralı numunenin pas payını temsil etmek üzere 5 cm’de alınmış derinlik kesiti.....	81
Şekil 5.20. 6 Numaralı numunenin etriyelerini temsil etmek için 7 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (kırmızı çizgiler etriyeleri gösterir).....	82
Şekil 5.21. 6 Numaralı numunenin boyuna donatılarını temsil etmek için 9 cm’de alınmış derinlik kesiti, (a) işlenmiş veri, (b) modellenmiş veri (mavi çizgiler boyuna donatıları gösterir).....	83
Şekil 5.22. 1 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (150×30 cm).....	84
Şekil 5.23. 2 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (40×60 cm).....	85
Şekil 5.24. 3 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (150×30 cm)	86
Şekil 5.25. 4 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (35×100 cm).....	87
Şekil 5.26. 5 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (65×65 cm).....	88
Şekil 5.27. 6 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (65×65 cm).....	89
Şekil 5.28. 7 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (60/30×130 cm).....	90
Şekil 5.29. 8 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (35×100 cm).....	91
Şekil 5.30. 9 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (60/30×130 cm).....	92
Şekil 5.31. 10 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (25x250 cm).....	93
Şekil 5.32. 11 Numaralı numunenin sembolik çizimi ve grafikleri (25×250 cm).....	94
Şekil 5.33. K2 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).....	96
Şekil 5.34. K3 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	97
Şekil 5.35. K4 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	98
Şekil 5.36. K5 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).....	99
Şekil 5.37. K6 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	100

Şekil 5.38. K7 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	101
Şekil 5.39. K8 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	102
Şekil 5.40. K9 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	103
Şekil 5.41. K10 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).....	104
Şekil 5.42. K11 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	105
Şekil 5.43. K12 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×70×625 cm).....	106
Şekil 5.44. K13 Numaralı elemanın sembolik çizimi ve grafikleri (30×80×350 cm).....	107
Şekil 6.1. 28 günlük ortalama değerler.....	110
Şekil 6.2. 90 günlük ortalama değerler	111
Şekil 6.3. 28 günlük ortalama değerler (Ultras ses geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).....	113
Şekil 6.4. 90 günlük ortalama değerler (Ultras ses geçiş hızı ve Schmidt çekici değeri ile).....	114

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı: N. Şebnem KARAHAN

Doğum Yeri: İstanbul

Doğum Tarihi: 27/09/1974

EĞİTİM DURUMU

Lisans Öğrenimi: Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Yüksek Lisans Öğrenimi: Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Jeofizik Mühendisliği
Anabilim Dalı

Bildiği Yabancı Diller: İngilizce

BİLİMSEL FAALİYETLERİ

-Şengün F., Karahan Ş., Türkdönmez O. ve Baba A., 2007. Engineering Properties of Monuments in the Gallipoli Peninsula, Northwest Turkey. *Journal of İstanbul Kültür University*, 4: 17-22

-Çavga M., Karahan Ş. Ve Soysal P., 2008. İnşaat Mühendisliğinin Küresel Barıştaki Yeri ve Önemi. 5. *Uluslar arası STK Kongresi*, Çanakkale

İŞ DENEYİMİ

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl: Yıldız Teknik Üniversitesi Mimarlık Bölümü (1997-1999)
Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Çanakkale Meslek
Yüksekokulu (1999-...)