

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Yükünlisiz Beton Denetim Yöntemleri

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bülent Akbaşı

1992

**YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YIKINTISIZ BETON DENETİM
YÖNTEMLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞ . MÜH . BÜLENT AKBAŞ

İSTANBUL 1992

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 150
: 222

Alındığı Yer : Y.T.Ü.

Tarih : 22.8.1995

Fatura : -

Fiyatı : 25.000 TL.

Ayniyat No : 1-16

Kayıt No : 51522

UDC :

Ek :

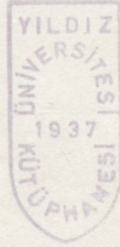
Y. T. Ü.

KÜTÜPHANE DOK. DAİRE BAŞKANLIĞI

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



YIKINTISIZ BETON DENETİM YÖNTEMLERİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞ . MÜH . BÜLENT AKBAŞ

İSTANBUL 1992

TEŞEKKÜR

Tüm çalışmam süresince yol göstericiliği için, danışman hocam Sayın Prof. İlhan BERKTAY'a ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr.Gör. Hasan BİRİCİK'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	I
SUMMARY	III
1. GİRİŞ	1
1.1. Yıkıntısız Beton Denetiminin Amacı ve Gerekliliği	1
1.2. Betonun Yerinde Denetiminin Nedenleri	1
2. YIKINTISIZ BETON DENETİM YÖNTEMLERİ	3
3. YÜZEY SERTLİĞİ YÖNTEMLERİ	4
3.1. Yüzey Sertliği Yöntemlerinin Yetersizlikleri	5
3.2. " " " Kullanıldığı Yerler	5
3.3. " " " Kullanılmayacağı Alanlar	5
3.4. Yüzey Sertliğini Etkileyen Faktörler	6
3.4.1. Çimento Cinsi	6
3.4.2. " Miktarı	6
3.4.3. Agregası Tipinin Etkisi	6
3.4.4. Yüzey Tipinin Etkisi	6
3.4.5. Yüzeydeki Nem Miktarının Etkisi	7
3.4.6. Karbonatlaşma Etkisi	7
3.4.7. Beton Yaşının Etkisi	7
3.4.8. Saklama Etkisi	8
3.4.9. Kompozitenin Etkisi	8
3.4.10. Diğer Faktörlerin Etkisi	8
3.5. Kalibrasyon	8
3.6. Sonuçların Rapor Edilmesi	9
4. GERİ TEPME(SCHMİDT ÇEKİCİ) YÖNTEMİ	10
5. İZ YÖNTEMİ	14

6. ULTRASONİK YÖNTEM	16
6.1. Ultrasonik Yöntemin Temel Prensipleri	16
6.1.1. Dalgalar	16
6.1.1.1. Titreşimler ve Dalgalar	16
6.1.1.2. Dalga Çeşitleri	18
6.1.2. Notasyonlar, Formüller ve Sayısal Bilgiler	20
6.2. Ultrasonik Ölçmelerle Beton Dayanımının Belirlenmesi	21
6.3. Beton İçindeki Ses Hızının Anlamı	22
6.4. Ultrasonik Yöntemin Kullanıldığı Yerler	24
6.5. Transdüserlerin Düzenlenmesi	24
6.5.1. Direkt İletim Düzenlemesi	24
6.5.2. Yarı Direkt İletim Düzenlemesi	25
6.5.3. Direkt Olmayan İletim Düzenlemesi	25
6.6. Beton İçindeki Ultrases Hızını Etkileyen Faktörler	26
6.6.1. Yüzey Koşulları	26
6.6.2. Nem İçeriği	26
6.6.3. Betonun Sıcaklığı	26
6.6.4. Ölçüm Yolu Uzunluğu	27
6.6.5. Deney Elemanının Şekli ve Boyutu	27
6.6.6. Donatı Çeliğinin Etkisi	27
6.6.6.1. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Dik Olması Durumu	27
6.6.6.2. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Paralel Olması Durumu	29
6.6.7. Gerilme Etkisi	31
6.7. Elastisite Modülü ve Dinamik Poisson Oranının Belirlenmesi	31
6.8. Hataların Belirlenmesi	33
6.8.1. Yüzey Çatlak Derinliğinin Belirlenmesi	33
6.8.2. Hasar Görmüş Bir Yapıda Dayanımı Azalmış Beton Tabaka Kalınlığının Belirlenmesi	35

6.9. Ultrases Hızı Yardımıyla Beton Dayanımının Tahmin Edilmesi	36
6.10. Sonuçların Rapor Edilmesi	37
7. BİLEŞİK YIKINTISIZ DENETİM YÖNTEMLERİ	38
8. İSTATİSTİKSEL KAVRAMLAR	39
8.1. Aritmetik Ortalama	39
8.2. Sapma Değeri	39
8.3. Standart Sapma	40
8.4. Varyans	40
8.5. Standart Değer	40
8.6. Standart Normal Olasılık Dağılımı	40
8.7. t Dağılımı	42
8.8. Korelasyon ve Regresyon	44
8.9. Korelasyon Katsayısı	45
8.10. En Küçük Kareler Yöntemi	45
8.11. Tahminin Standart Hatası	47
9. BİLGİSAYARLA DEĞERLENDİRME	48
9.1. Betonun Yerinde Denetiminde Bilgisayar Kullanılması	48
9.2. Programın Kullanılabileceği Yerler	48
9.3. Programın Özellikleri	48
9.4. Programın Kullanılması	50
9.5. Kullanılan Notasyon	52
9.6. Programın Akış Diyagramı	54
9.7. Bilgisayar Programı	62
10. YIKINTISIZ BETON DENETİMİ ÜZERİNE YAPILAN DENEYSSEL ÇALIŞMALAR	68
10.1. Yaklaşım Yöntemleri	68
10.2. Ultrases Hızı Üzerine Bir Araştırma	74

10.3. Schmidt Çekici ve Ultrases Hızı Üzerine Bir Araştırma	76
10.4. Beton Yaşının Ultrases Hızı ve Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bir Araştırma	77
10.5. Schmidt Çekici ve Ultrases Hızı Ölçümleri Yardımıyla Basınç Dayanımının Belirlenmesi	79
10.6. Ultrases Hızı ve Schmidt Çekici Sayısı ile Basınç Dayanımı Arasındaki Bağlantılarda Numune Nem Durumunun Etkisi	80
10.7. Çimento Türünün Belirli Olması Durumunda Korelasyonda Sağlanan Güvenilirliğin Araştırılması	81
10.8. Yangın Görmüş Bir Binada Hasar Saptama Çalışmaları ve Programın Uygulanması	82
11. SONUÇLAR	84
EKLER	87
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ	97

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, yıkıntısız beton denetimi ve denetim yöntemleri hakkında bilgi vermek, geri tepme indisi ve ultrases hızı arasında ikili korelasyonlar kurarak beton basınç dayanımını tahmin etmektir.

Birinci ve ikinci bölümlerde, yıkıntısız beton denetiminin amacı ve gerekliliği anlatılmış, kullanılan yöntemler sınıflandırılmıştır.

Üçüncü bölümde, yüzey sertliği yöntemleri hakkında önce genel bir bilgi verilmiş, sonra yüzey sertliğini etkileyen faktörler ve sonuçların nasıl değerlendirileceği detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

Dördüncü ve beşinci bölümlerde, yüzey sertliği yöntemlerinden geri tepme ve iz yöntemleri açıklanmıştır.

Altıncı bölümde, ultrasonik yöntem ve ultrases hızı ölçülerek beton basınç dayanımının nasıl belirleneceği anlatılmış, ayrıca ultrases hızını etkileyen faktörler açıklanmıştır.

Yedinci bölümde, bileşik yıkıntısız denetim yöntemlerinin amacı açıklanmış ve kullanılmakta olan bazı yöntemlerin adları verilmiştir.

Sekizinci bölümde, geri tepme indisi ve ultrases hızı arasında ikili korelasyonlar kurmak için gerekli olan istatistiksel kavramlar ve yöntemler açıklanmıştır.

Dokuzuncu bölümde, geri tepme indisi ve ultrases hızı ölçümleri arasında, lineer ve üstel türde iki tip regresyon bağıntısının belirlenmesi ve bu bağıntılardan yararlanarak yapının istenilen noktalarında geri tepme indisi ve ultrases hızı ölçülmek suretiyle, ortalama ve %90-95 olasılıkla beton basınç dayanımının tahmini için bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Onuncu bölümde, yıkıntısız beton denetimi konusunda yapılan çalışmalar anlatılmıştır. Ayrıca deney sonuçlarına dayanarak, hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla korelasyon bağıntıları kurulmuştur.

Sonuçlar kısmında, en çok kullanılan bileşik yıkıntısız denetim yöntemleri olan ultrasonik yöntem ve Schmidt çekici yönteminin avantaj ve dezavantajları kısaca tekrarlanmış ve yıkıntısız beton denetiminin gerekliliği için somut fikirler ortaya atılmıştır.

SUMMARY

The aim of the present work is to give a knowledge about non-destructive test and methods of concrete and to predict the compression strength of concrete by establishing multiple correlation between rebound index and ultrasonic pulse velocity.

In the first and second parts of the work, the aim and necessary of using non-destructive test of concrete was explained and the methods being used were classified.

In the third part of the work, first, a general knowledge about surface hardness methods was given and the factors influencing surface hardness and how to evaluate the results were explained in detail.

In the fourth and fifth parts of the work, both rebound index and indentation methods that of surface hardness methods were explained.

In the sixth part of the work, ultrasonic method and how to determine the compressive strength of concrete by measuring ultrasonic pulse velocity were explained.

In the seventh part of the work, the aim of combined non-destructive test of concrete was explained and some of those methods' name were given.

In the eighth part of the work, statistical concepts and methods required for obtaining multiple correlation between rebound index and ultrasonic pulse velocity were explained.

In the ninth part of the work, a computer program was developed for determining both linear and exponential regression functions between rebound index and ultrasonic pulse velocity and for predicting the compressive strength of concrete with an average, 90-95 probabilities by using

these functions at certain point of the structure by measuring rebound index and ultrasonic pulse velocity at these points.

In the tenth part of the work, searches made about non-destructive test of concrete were explained. In addition, by means of experimental results, correlation functions were established by using the computer program.

In the part of the results, advantages and disadvantages of ultrasonic and rebound index methods were repeated shortly -the most used combined non-destructive test methods of concrete- and then the concrete ideas for the necessary of non-destructive test of concrete were asserted.

1. GİRİŞ

1.1. Yıkıntısız Beton Denetiminin Amacı ve Gerekliliği

Bir yapının geometrik boyutları, yapı kusurları ve bileşimi hakkında, onu bir daha kullanılamaz hale getirmeden bilgi edinmek " Yıkıntısız Beton Denetimi "nin tarifi ve gayesidir(13).

Yıkıntısız beton denetimi üretim sırasında kalite kontrolünde, tesislerin yerlerinde incelenmesinde, işletme yükleri hakkında çatlakların kontrol edilmesi ve bozuklukların zamanında anlaşılması için uygulanmaktadır.

Günümüz teknolojisinde yıkıntısız beton denetimi daha çok kalite kontrolü işlerinde kullanılır. Yönetmelikler kontrol mekanizması olarak, bir yapıda beton üretimi sırasında dökülen her 50 m³ betondan veya bir binanın her katından en az bir deneylik küp veya silindir şeklinde numune alınmasını ve bunların laboratuvarlarda kırılarak basınç dayanımlarının belirlenmesini öngörür. Bu numunelerin tüm yapıyı temsil etmeleri olanaksızdır. Yapının her yerinde istenilen dayanımın sağlanıp sağlanmadığı tartışma konusudur. Yıkıntısız beton denetimi bu durumda yarar sağlar, yıkıntılı beton deneyleriyle birleştirilerek somut ve yaygın değerlendirmelere izin verirler(5).

2. Betonun Yerinde Denetiminin Nedenleri

1) Üretilen betonun dayanımından muhtelif nedenlerle kuşku duyulur. Örneğin bileşiminde bir hata işlenmiş olabilir veya betonun gözle görülebilecek boşluklu bir görünümü olabilir.

2) Beton kalıba döküldükten hemen sonraki günlerde havanın sıcaklığı sıfırın altına düşerek donma olayını meydana getirmesi sonucunda

betonun içyapısında bir takım çatlaklar oluşabilir. Bu çatlaklar betonun dayanımının düşmesine yol açabilirler.

3) Betonun dökümünü izleyen günlerde havanın rutubetinin küçük değerler alması halinde betondaki çimento, hidratasyon için gerekli suyu bulamaz, bu da dayanımı belirgin ölçüde düşürür.

4) Kalıbı yeni alınan bir yapının deprem etkisine maruz kalması halinde depremin oluşturduğu gerilmeler, beton dayanımından büyük değerler alarak beton içyapısında çatlaklar oluşturabilirler.

5) Betonarme bir yapının yangına maruz kalması halinde betonun dayanımında azalma olması beklenen bir durumdur. Yapının etkiyecek kuvvetler karşısında yeterli bir emniyete sahip olup olmadığını anlamak için, betonun dayanımında yangın sonunda ne miktarda bir azalma olduğunu saptamak gerekir.

6) Yapı bazı hallerde aşırı mekanik zorlamalara maruz kalabilir. Örneğin bir köprüden projede öngörülenden daha ağır taşıtların geçmesi vb. Bu durumların betonda çatlaklar meydana getirmesi mümkün olduğundan yapıda, öngörülen emniyetin bulunup bulunmadığını anlamak için yerinde denetime başvurmak gerekir.

7) Herhangi bir nedenle betonun dayanımının belirlenmesi gerekebilir. Bir binaya ilave kat çıkılması veya yapının kullanım amacının değişmesi hallerinde böyle durumlarla karşılaşılır.

8) Bazı yapılar zararlı ortamların içinde bulunur. Böyle bir durumda kimyasal etkililerin oluşması ve bunların gelişmesiyle çimentonun içyapısında oluşan değişimler sonunda betonun dayanımında bazı azalmalar meydana gelebilir. Bazen de betonu oluşturan çimento ve agregalar bulunmaması gereken maddeleri içerirler. Bu maddelerin meydana getirdikleri kimyasal etkililer yine beton dayanımını önemli ölçüde azaltarak yapının emniyetini tehlikeli bir duruma sokabilir(8).

2. YIKINTISIZ BETON DENETİM YÖNTEMLERİ

Yıkıntısız beton denetim yöntemleri genel olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilir(7) :

- 1) Yüzey Sertliği Yöntemleri
- 2) Ultrasonik Yöntem
- 3) Çekip-Çıkarma(Pull-Out) Yöntemi
- 4) γ Işını Yöntemi
- 5) Rezonans Frekansı Yöntemi
- 6) Bileşik Yöntemler

Yukarıdaki yöntemler içinde en çok kullanılanlar yüzey sertliği, ultrasonik ve bileşik yöntemlerdir. Bu sebeple sadece bu üç yöntem açıklanacaktır.

3. YÜZEY SERTLİĞİ YÖNTEMLERİ

Sertlik, malzeme yüzeyinin şekil değiştirmeye karşı direncidir. Betonda sertlik, geri tepme veya izçapı yöntemlerinden birisiyle araştırılır.

Yüzey sertliği yöntemleri, yıkıntısız beton denetim yöntemlerinin en eskileridir ve yapılan muayene sonuçlarından elde edilen büyük bir bilgi ve tecrübe birikimi vardır. Bu konuda geliştirilmiş birkaç alet halihazırda inşaat endüstrisinde kullanılmaktadır. Bu aletlerin nasıl kullanılacakları ve sonuçların nasıl yorumlanacağı konusundaki bir standart, yanlış kullanım ve değerlendirmeleri ortadan kaldıracığı gibi kullanım alanlarının da genişlemesine yolaçar. Ülkemizde malesef standartlaşma konusunda yapılmış ciddi bir çalışma yoktur.

Betonun yüzey sertliği yöntemleriyle muayenesinde kullanılan aletler, beton kalitesi hakkında sadece yaklaşık değerlendirmelere imkan vermelerine karşın, birçok uygulamalarda oldukça faydalıdır. Genellikle beton mukavemeti veya betonun diğer ölçülebilen özellikleriyle yüzey sertliği arasında, tekli bir korelasyon kurmak tercih edilmemektedir. Aletler kullanılmadan önce kalibre edilerek doğruluk derecesi arttırılmalıdır. Çok az nemli ve büyük oranda katkı içeren çimentolarla hazırlanmış betonlarda, 3 aydan yaşlı betonlarda, düşük dozajlı betonlarda yüzey sertliği yöntemleri, yalnız başlarına mukavemet tahmininde büyük hatalara yol açabilir. Ancak bu sonuçlar, yıkıcı beton deneyleri (yapıdan karot numune alınarak laboratuarda kırılması gibi) sonuçlarıyla birlikte değerlendirildiğinde hata oranı oldukça azalır.

Yüzey sertliği yöntemleri, başka yöntemlerle yapılan muayene sonuçlarını destekleyici yöntemler olarak düşünülmemelidir. Fakat şu unutulmamalıdır ki, bu yöntemlerle sadece yaklaşık olarak beton yüzeyinin sertliği belirlenebilir, sertlikle betonun diğer özellikleri arasındaki ilişki tamamen deneyseldir.

Yüzey sertliği yöntemleri basit olmaları, doğrudan doğruya yapı üzerine uygulanabilme olanakları, deneylerin hızı, aletlerin ucuz fiyatları, elektrik enerjisine ve yüksek nitelikli personele gereksinme göstermemeleri nedeniyle yaygın bir kullanım alanına sahiptirler(2,7).

3.1. Yüzey Sertliği Yöntemlerinin Yetersizlikleri

- a) Ancak yerel ve 2-3 cm. derinliğindeki yüzeysel bölge hakkında bilgi verirler.
- b) 3 aydan genç betonlarda, beton mukavemeti ± 15 hata ile bulunabilir. Daha yaşlı betonlarda hata oranı ± 40 'a çıkabilir.

3.2. Yüzey Sertliği Yöntemlerinin Kullanıldığı Yerler

- a) Yapıdaki beton kalitesinin homojenliğinin kontrolü,
- b) Yapıda istenilen mukavemetin sağlanıp sağlanmadığının belirlenmesi,
- c) Yapıdan alınan deney numuneleri üzerinde yüzey sertliği ve beton mukavemeti ölçülerek, bu ikisi arasında korelasyon kurmak ve bu korelasyondan yararlanarak yapının istenilen noktalarındaki beton mukavemetlerini belirlemek.

3.3. Yüzey Sertliği Yöntemlerinin Kullanılamayacağı Alanlar

- a) Derinlik hatalarının(boşluk ve çatlak) ortaya çıkarılması durumu,
- b) Yüzeydeki beton kalitesiyle derinlikteki beton kalitesi farklı ise(don, yangın vb. sebeplerden dolayı) ve beton kalitesi hakkında tam bir fikir elde edinilmesi isteniyorsa.

3.4. Yüzey Sertliğini Etkileyen Faktörler

3.4.1. Çimento Cinsi

Yapılan araştırmalar, çimento cinsinin beton mukavemetini etkilediğini göstermiştir. Çeşitli tipteki Portland çimentolarıyla yapılan betonların mukavemetleri arasında, %10'u aşmayan farklar saptanmıştır. Yüksek oranda alüminyum ihtiva eden çimentolarla yapılan betonlarda, Portland çimentosuyla yapılanlara oranla %100 mukavemet artışı olduğu görülmüştür. Sülfatlı çimentolarla yapılan betonlarda ise Portland çimentosuyla yapılanlara oranla %50 oranında mukavemette düşüş görülmüştür. Değişik tipteki çimentolar için alet yeniden kalibre edilmelidir (2).

3.4.2. Çimento Miktarı

Çimento miktarı da yüzey sertliğini etkileyen bir faktördür. Fakat çimento oranındaki değişiklikler, beton mukavemeti tahmininde en fazla %10'luk bir hataya yolaçar. Genellikle Çimento miktarı fazla olan betonlarda mukavemet daha düşük, çimento miktarı az olan betonlarda mukavemet daha yüksek bulunmaktadır(2).

3.4.3. Agregat Tipinin Etkisi

Çeşitli tipteki agregalar değişik korelasyonlar vermektedir. Normal agregalarda(çakıl, kırmataş) benzer korelasyonlara rastlanırken, hafif agregalar ve değişik özelliklere sahip agregalar özel kalibrasyon gerektirirler(2).

3.4.4. Yüzey Tipinin Etkisi

Kısmi kompoziteli betonlarda sertlik okumaları tek bir bağıntıyla

ifade edilemeyeceğinden, bütün korelasyonlarda kompozitenin tam olduğu kabul edilir. Emici veya emici olmayan maddeler içeren beton yüzeyleri, sertlik yöntemlerine değişik cevap verirler. Bazı emici maddeler daha sert yüzeylerin oluşmasına yolaçarken, bazıları da daha yumuşak yüzeyler oluştururlar. Yüzeyin özelliklerinin önceden bilinmemesi ihmal edilemeyecek hatalara yol açabilir(2).

3.4.5. Yüzeydeki Nem Miktarının Etkisi

Eğer alet kuru bir yüzeyde kalibre edilmişse, yaş bir yüzeyde sertlik ölçümü yapılması, beton mukavemetinin daha düşük bulunmasına yol açacaktır. Bu etki oldukça önemlidir. Yapı betonlarında eşdeğer kuru betona oranla, yaş bir yüzeyde beton mukavemeti yaklaşık %20 daha düşük bulunabilir. Bazı tip betonlar daha büyük sarpmalar da gösterebilirler (2).

3.4.6. Karbonatlaşma Etkisi

Karbonatlaşmanın yüzey sertliğine etkisi oldukça belirgindir. Yüzeyi karbonatlaşmış betonlar, beton mukavemetinin fazla bulunmasına yolaçarlar(bazı durumlarda mukavemet %50 daha fazla bulunabilir). Karbonatlaşmış tabaka(1 veya 2 cm. derinliğinde) kaldırılıp karbonatlaşmamış beton yüzeyi üzerinde ölçüm yapılmalıdır veya karbonatlaşma etkisi bir düzeltme çarpanıyla dikkate alınmalıdır(2).

3.4.7. Beton Yaşının Etkisi

Betonun zamanla dış etkilere maruz kalması(don, yangın etkisi vb.) mukavemetin de değişmesine yolaçar. 3 aya kadar olan betonlarda, standart koşullar altında kurulan korelasyonlar kabul edilebilir. Daha yaşlı betonlarda bulunan değerler bir düzeltme çarpanıyla çarpılarak hesa-

ba katılmalıdır(2).

3.4.8. Saklama Etkisi

Suda saklanan betonlarla havada saklanan betonlar için değişik korelasyonlar gerekmektedir. Eğer kalibrasyon yapılamıyorsa sonuçlarda gerekli düzeltmeler yapılmalıdır(2).

3.4.9. Kompositenin Etkisi

Yüzey sertliği yöntemleri kompositeye karşı duyarsızdırlar. Genellikle yüzeye yakın tabakanın, tam kompositeye sahip olduğu kabul edilir(2).

3.4.10. Diğer Faktörlerin Etkisi

Yüzey sertliğine etkisi bilinen diğer faktörler şunlardır: Deney yapılan betonun kütlesi, deneye tabi tutulan yapı elemanlarının azlığı, deney elemanındaki gerilme durumu, aletin ve betonun sıcaklığı(2).

3.5. Kalibrasyon

Deney numuneleri, boyutların sonuçlar üzerindeki etkisini minimuma indirmek için mümkün olduğunca büyük seçilmelidir. 15 cm.'lik küpler 10 cm.'lik küplere oranla daha çok tercih edilir. Aletin kalibrasyonu sertliği önceden bilinen ve enaz 450 kg/mm^2 Brinell sertlik derecesinde olan bir çelik kütlesi ile yapılır. Numunelerin düz ve sert bir yüzeyde muayene edilmesi daha uygundur. Numuneler çarpma esnasında hareket etmemelidir.

Eğer numuneler su altında saklanmışlarsa, muayene edilmeden önce

sudan çıkarılmalı ve 24 saat laboratuvar koşullarında saklanmalıdır. Su altında saklanan numunelerin mukavemeti, havada saklanan numunelerinkine oranla %10 daha düşük olur(2).

3.6. Sonuçların Rapor Edilmesi

Deney sonuçları aşağıdaki bilgileri kapsayacak şekilde rapor edilmelidir:

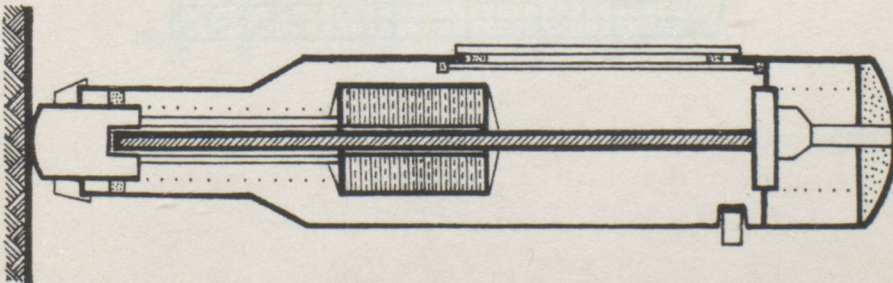
- 1) Kullanılan alet(imal eden firma ve aletin tipi),
- 2) Deney yönü(yatay, düşey ve belli bir α açısıyla),
- 3) Aletin son kontrolüyle ilgili bilgiler,
- 4) Yapının ve deney bölgesinin tarifi(gerekliyorsa bir kroki),
- 5) Betonun maruz kaldığı etkiler(yaşı, nem durumu, sıcaklık vb.),
- 6) Deney yapılan bölgeye ait ortalama değer, standart sapma ve varyasyon katsayısı,
- 7) Bir korelasyon bağıntısı kullanıldıysa bu bağıntı hakkında bilgiler(bu bağıntıların çıkarıldığı numunelerin özellikleri vb.),
- 8) Tamamlayıcı deney bilgileri.

4. GERİ TEPME (SCHMIDT ÇEKİCİ) YÖNTEMİ

Schmidt çekici yöntemi adıyla da anılan geri tepme yöntemi, betonun basınç mukavemeti tahmininde birçok ülkede kullanılmakta olup, bu ülkelerin teknik şartnamelerine de girmiştir.

Bu yöntemde, hareketli elemanın geliş enerjisine oranla oluşan dönüş elastik enerjisi ölçülür. Betonun yüzeyine belirli bir hızla bilya fırlatılmaktadır. Yüzeye çarpan bilyanın, geri sıçrama veya geri tepme mesafesi ne kadar fazla ise beton o kadar serttir ve mukavemeti de o kadar büyüktür. Alette bilyanın (S) ile gösterilen geri tepme mesafesi ölçülmek suretiyle betonun mukavemeti hakkında bilgi edinilmektedir.

Bir agrega yığınının Schmidt çekici uygulayacak olursak, daneler etrafa dağılır ve alette hiç bir geri tepme meydana gelmez. Danelerin etrafa saçılmasının önlenmesi ancak bunların bir bağlayıcı madde hamuru ile birbirlerine bağlanmasıyla gerçekleşebilir. Bir betonda bağlayıcı madde hamurunun mukavemeti ne kadar büyükse bilyanın yüzeye çarpması esnasında, danelerin dışarıya doğru hareketleri o kadar kısıtlanmış olacak ve bilya o oranda fazla miktarda geri sıçrayacaktır. Bağlayıcı maddenin mukavemeti ise çimentonun hidrasyonunun zamanla gelişmesi sonucunda artmaya devam edecektir. Buradan Schmidt yönteminden elde edilen ve (S) ile gösterilen geri tepme miktarının, çimentonun hidrasyonu veya betonun yaşıyla artmakta olan bir karakteristik olabileceği sonucuna varılmaktadır. Yalnız hemen ilave edilmelidir ki, çimentonun hidrasyonu sertliği etkileyen tek bir faktör değildir(8).



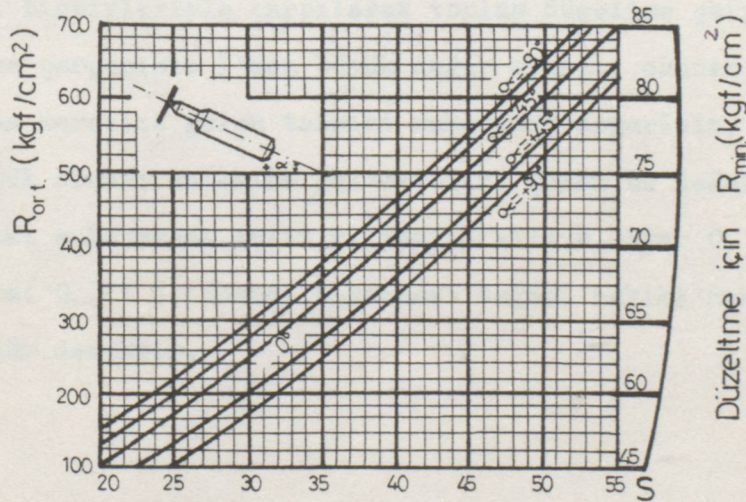
Şekil 4.1. Schmidt çekicinin enine kesiti

Schmidt çekici yönteminde dikkat edilecek hususlar şunlardır(7):

a) Deney bölgelerinin seçiminde çimento şerbeti birikimi olan yüzeylerden kaçınılmalıdır. Yüzeyler mükemmel düzlemsel ve pürüzsüz olmalıdır. Seçilen bölgenin elemanı tümüyle temsil ettiğine, en çok zorlanan bölgeleri içerdiğine ve dayanım yönünden düşük olduğundan şüphe edilen bölgede bulunduğuna dikkat edilmelidir. Yaklaşık 20x20 cm.'lik bir deney bölgesinde 5-10 okuma yapılmalıdır.

b) Deney bölgelerinin seçiminde, elemanın ayrıtlarına yakın olan yerlerden kaçınılmalıdır. Deney noktaları arasında en az 2 cm. mesafe olmalıdır. Görünen boşluklar ve iri agregalar(7mm.'den kalın) üzerinde deney yapılmamalıdır. İri daneler üzerindeki deney sonuçlarını ayıklamak için bir seçim yapmak ve ortalamadan 5 bölümden fazla(veya +%8) farkedenden sonuçları atmak gerekir.

c) Yapılan ölçümlerden itibaren(geri tepme indisi) beton dayanımına geçebilmek için, sadece o bölgenin ortalama indisi kullanılmalıdır.



Sekil 4.2. Dayanım-Geri Tepme İndisi Dönüşüm Eğrisi

Yüzey sertliğine etkisi bilinen faktörler, mukavemet tahmininde hata miktarını azaltmak için bir düzeltme çarpanıyla birlikte dikkate alınmalıdır. Düzeltme çarpanı 1'den küçük veya büyük bir sayı olabilir.

$$R_i^f = R_i^s \cdot C_i \quad (4.1)$$

R_i^f : S_i geri tepme sayısına karşı gelen herhangi bir betonun dayanımı

R_i^s : Aynı S_i geri tepme sayısına karşı gelen referans betonun dayanımı

C_i : Düzeltme çarpanı

C_i düzeltme çarpanı için genel bir fikir vermek amacıyla tablo(4.1) verilmiştir. Ayrıca referans numuneye ait bilgiler de verilmiştir. C_i değeri için bütün araştırmacılar kendilerine özgü değerler vermektedir. Yalnız hepsinin ortak noktası bu katsayıların verilmiş biçimleridir. Örneğin tüm araştırmacılar, çimento dozajındaki artışın 1'den büyük bir düzeltme çarpanıyla dikkate alınmasını önermişlerdir. Yüzey sertliğine etki eden faktörler birden fazlaysa, herbiri için bulunan düzeltme çarpanları birbirleriyle çarpılarak toplam düzeltme çarpanı bulunur. C_i düzeltme çarpanının 1'den büyük değer alması, okunan Schmidt çeki-çi sayısına karşılık gelen tahmini mukavemet değerinin, hakiki mukavemetten küçük olması anlamına gelmektedir. Çünkü bu değer referans durumunda hakiki mukavemete eşittir, yani $C_i = 1$ 'dir. Eğer C_i 'yi büyültmek gerekiyorsa($C_i > 1$) tahmini mukavemet değeri hakiki mukavemet değerinden küçüktür demektir.

	$C_i > 1$	$C_i < 1$
Çimento dozajının artışı	X	
Çimento kalitesinin artışı	X	
0-1 mm. arasındaki ince dane miktarının artışı	X	
Maksimum agrega çapının artışı		X
Nem artışı	X	
Beton yaşının artışı		X

Tablo 4.1. Geri Tepme Yöntemi İçin C_i Düzeltme Carpanı (3)

Referans betonun özellikleri:

- . Nehir agregası 0-31,5 mm.
- . 0-1 mm. arasındaki ince dane miktarı %12
- . Portland çimentosu 300 kg/m³
- . Beton yaşı 28 gün
- . Saklama Standart koşullarda
(7 gün suda + 21 gün havada)

5. İZ YÖNTEMİ

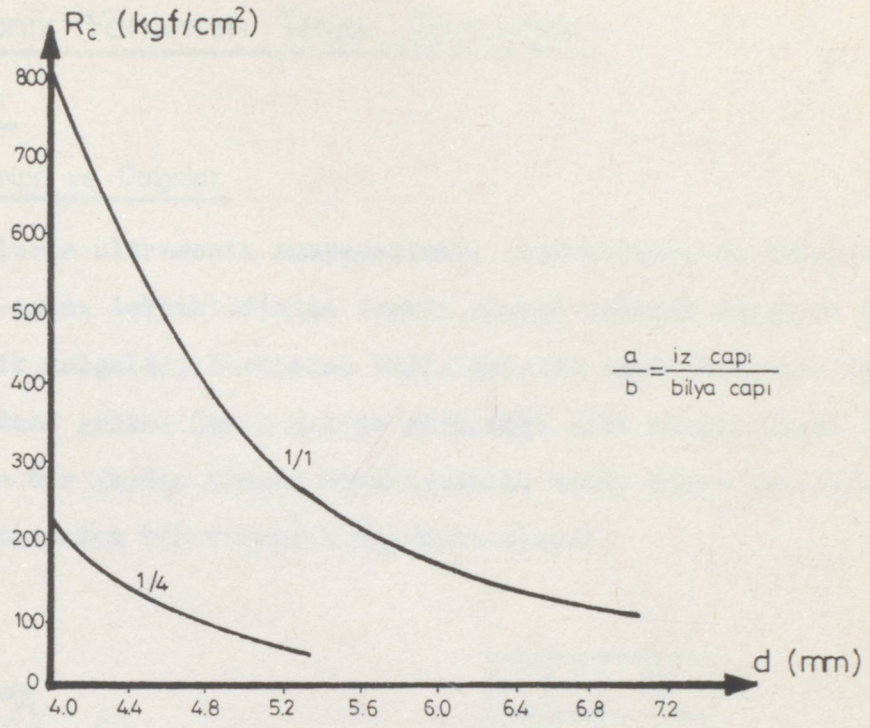
İz yöntemi, deneye tabi tutulan ve sabit elemanı oluşturan betonun sabit deformasyon enerjisi şeklinde yuttuğu toplam enerji oranını ölçme esasına dayanmaktadır. Aygıttaki hareketli eleman beton yüzüne belirli bir hızla fırlattığı bilyaya etkimektedir. Deformasyon enerjisine dönüşen başlangıç enerjisinin oranı, çarpışma sonucu beton yüzeyinde bilyanın bıraktığı iz aracılığı ile ölçülmektedir.

Bu yöntem, yapıdaki betonun kalitesinin homojenliğinin kontrolü için uygulanır. Bir oranda da dayanımın sertlikle olan ilişkisine bağlı olarak basınç dayanımını tayine yarar.

Alet deney yüzüne dik olarak tutulur. Daha sonra basınç kuvveti sürekli olarak ve yavaşca arttırılır. Bu durum darbe olana kadar devam eder. İzin çapı birbirine dik iki yönde okunur. Eğer bu iki çap %20'den fazla farkedirse sonuç dikkate alınmaz.

Bir bölgedeki beton dayanımı en az 10 ölçümle belirlenmelidir. Ortalamadan 5 bölümden fazla(veya +%8) farkedenden değerleri atmak gerekir. Bunlar iri agregalar veya boşluklarda yapılan ölçümlerdir.

Ortalama çaplardan beton dayanımına şekil(5.1)'deki eğrilerden yararlanılarak geçilir.



Şekil 5.1. İz Çapı - Dayanım Dönüşüm Eğrileri (7)

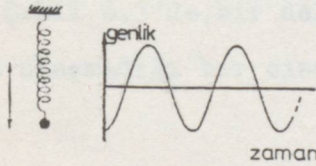
6. ULTRASONİK YÖNTEM

6.1. Ultrasonik Yöntemin Temel Prensipleri

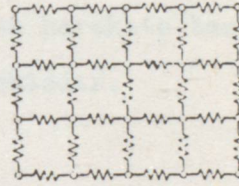
6.1.1. Dalgalar

6.1.1.1. Titreşimler ve Dalgalar

Malzemelerin ultrasonik muayenesinde, elektromanyetik dalgalar kullanılan X-ışını tekniklerinden farklı olarak mekanik dalgalar kullanılır. Mekanik dalgalar, birbirine bağlı malzeme taneciklerinin titreşmesinden meydana gelir. Şekil 6.1'de görüldüğü gibi ucunda küçük bir kütle bulunan bir yaydan oluşan mekanizmanın, aşağı doğru çekilip serbest bırakılmasından bir titreşim hareketi oluşur.



Şekil 6.1. Bir yayın sinüzoidal titreşimi



Şekil 6.2. Elastik bir cisim modeli

Yay kendi haline bırakıldığında, kütle, denge durumuna dönünceye kadar titreşir. Bu tip bir titreşim sinüzoidal olduğundan, önemlidir. Titreşim hareketi bir sinüs eğrisi olarak zamana bağlı bir fonksiyonla ifade edilebilir. Fakat bu sadece tahrik kuvvetinin (bu örnekte yay tarafından sağlanıyor) deplasmanla orantılı olarak artması halinde geçerlidir. Bu yüzden, bu tip bir titreşime "Elastik Titreşim" adı verilir. Elastik kuvvetler tarafından dengede tutulan taneciklerden oluşan bir cisim düşünelim. Olayı daha da basitleştirerek, şekil 6.2'deki gibi bir elastik cisim modeli gözönüne alalım. Cisim, yay örneğinde olduğu gibi davranır. Cismi oluşturan tanecikler, elastik titreşimler meydana getirirler. O halde şu soru akla gelebilir; " Bir titreşimden bir dalga na-

sil meydana gelir? "

Modelin sol tarafındaki taneciklerin sinüzoidal titreşimlerle harekete geçtiğini varsayalım. Birinci düzlemdeki tanecikler aynı genlik (titreşim genişliği) ve frekansla (saniyedeki titreşim sayısı) titreşirler. Elastik kuvvetler titreşimleri ikinci düzlemdeki taneciklere iletirler. Bu tanecikler de titreşmeye başladığında titreşim hareketi üçüncü düzleme iletir ve böyle devam eder. Eğer bütün noktalar rijit olarak birbirlerine bağlansalardı, hepsi aynı anda harekete başlardı ve hareketin herhangi bir evresinde hepsi aynı durumda kalırdı. Elastik bir cisimde ise durum böyle değildir. Hareketin iletilmesi için belli bir zaman gereklidir ve hareket diğer düzlemlere, kendinden önceki düzlem harekete geçtikten sonra ulaşır.

Şekil 6.3'de, bir dalganın, sol ucundan harekete başlayıp henüz sağ ucuna ulaşmadığı bir cismin kesiti görülmektedir.



Şekil 6.3. Boyuna dalga

Şekilden de görüldüğü gibi, titreşimlerdeki düzlem değişikliği, taneciklerin birbirlerine yaklaştığı yerlerde, basınç bölgeleri meydana getirir. Bu basınç bölgeleri, yoğunluğun azaldığı bölgelerle birlikte devamlı bir şekilde değişir. Bu bölgeler, cismin içinde sabit bir hızla ve üniform aralıklarla sağa doğru hareket eder. Bu olay elastik bir dalganın oluşunu gösterir.

Şüphesiz, katı bir cisim modeli, eğer cisim üniformsa (homojen) ve her yönde aynı elastik davranışı gösteriyorsa (izotrop), ayrı tanecikler-

den meydana gelmiş gibi düşünülebilir. Şekil 6.3'deki her nokta küçük bir kübün kütlesini gösterir.

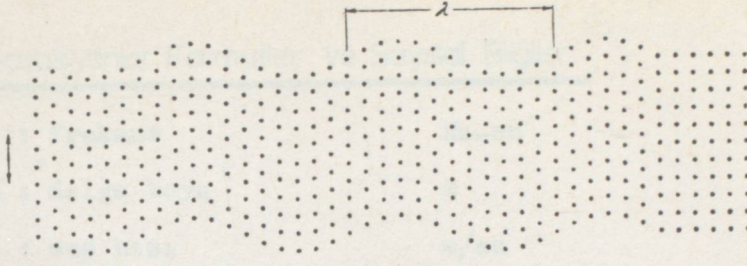
Şekil 6.2'deki yay modeli, sıvı ve gaz maddelere uygulanamaz. Bu maddelerin tanecikleri serbest olmalarına rağmen birbirlerine bağlı değildirler. Fakat bu maddeler, sıkıştırıldıklarında ve genişlediklerinde belli bir direnç gösterirler. Bu sebepten dolayı elastik dalgaları benzer şekilde iletebilirler.

Şimdi konuyla ilgili birkaç tanım verelim. Bir dalganın frekansı, bir taneciğin saniyedeki titreşim sayısıdır. Bir dalga hareketinde frekans bütün tanecikler için aynıdır ve seçilen jeneratörün frekansına eşittir. Dalga boyu, taneciklerin aynı hareket durumunda olduğu iki düzlem arasındaki mesafedir (λ). Frekansla ters orantılıdır. Frekans arttıkça dalga boyu küçülür veya tam tersi olur. Ses hızı, belli koşullar altındaki yayılma hızıdır ve karakteristik bir özelliktir, belli bir frekans ve dalga boyuna sahip bir malzemede sabittir(4).

6.1.1.2. Dalga Çeşitleri

Katı cisimlerde 3 çeşit dalga oluşur. Boyuna, enine ve yüzey dalgaları. Şekil 6.3'de tanımlanan dalga, titreşimlerin ve yayılma doğrultusunun boyuna doğrultuda olmasından dolayı " Boyuna Dalga " olarak adlandırılır. Başka dalga çeşitleri de olmasına karşın bizim için en önemlisi boyuna dalgadır. Çünkü, boyuna dalgaların hızları diğerlerinden daha büyüktür.

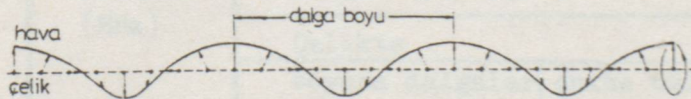
Şekil 6.4'de enine dalga görülmektedir. Görüldüğü gibi tanecikler yayılma doğrultusunda hareket etmemektedirler.



Sekil 6.4. Enine dalga

Enine dalga oluşumunda, tanecikler yukarı ve aşağı doğru hareket ettiklerinden kesme kuvveti meydana getirirler. Katı cisimlerde bu kesme kuvveti komşu düzlemdaki tanecikleri iletilir. Enine dalgaya aynı zamanda " Kesme Dalgası " da denir.

Boyuna ve enine dalgalar, sonsuz büyüklükteki cisimlerde meydana gelirler. Sonlu büyüklükteki elemanlarda(plaklar, çelik çubuk vb.) dalgalar yansiyarak yayılır. Hatta, yansıyan boyuna dalgalar enine dalgalara dönüşebilir veya tam tersi de olabilir. Bu etkiler nedeniyle, basit şekilli cisimlerde bile dalgaların, sesin yayılma doğrultusunda oluşması oldukça zor olmaktadır. Sonlu büyüklükteki cisimlerde oluşan bu dalgalara " Yüzey veya Rayleigh Dalgaları " adı verilir. Şekil 6.5, çelik yüzeyinde oluşan yüzey dalgasını göstermektedir(en dış liffteki taneciklerin hareketi). Bu dalgalar derinliğe doğru sönerler ve tanecikler eliptik bir yörünge(bir su yüzeyine atılan taşın oluşturduğu gibi) üzerinde titreşirler(4).



Sekil 6.5. Yüzey dalgası (sağ ucta, bir tanecigin eliptik titreşimi ve dönüş yönü görülüyor)

6.1.2. Notasyonlar, Formüller ve Sayısal Bilgiler

f : frekans	Hz=sn ⁻¹
λ : dalga boyu	m
C : ses hızı	m/sn
C _l : boyuna dalga hızı	m/sn
C _t : enine " "	m/sn
C _s : yüzey " "	m/sn
ρ : yoğunluk	kg/m ³
ν : poisson oranı	-
E : elastisite modülü	N/m ²
G : kayma modülü	N/m ²

Frekans, dalga boyu ve ses hızı arasında aşağıdaki bağıntı mevcuttur.

$$f \cdot \lambda = C \quad (6.1)$$

Birim olarak genellikle Hz ve m yerine MHz ve mm kullanılır. Ses hızı km/sn olarak bulunur.

$$\frac{f \cdot \lambda}{\text{MHz mm}} = \frac{C}{\text{km/sn}}$$

Tablo 6.1'de 0,5-10 MHz arası frekanslar için çelik ve sudaki ses hızları verilmiştir.

Tablo 6.1.

Frekans (MHz)	Dalga boyları(mm)		
	Çelikte		suda (c = 1,5km/sn)
	boyuna dalgalar (c _l = 5,9 km/sn)	enine dalgalar (c _t = 3,2km/sn)	
0,5	12	6,5	3
1	6	3	1,5
2	3	1,6	0,8
4	1,5	0,8	0,4
6	1	0,6	0,25
10	0,6	0,3	0,15

Çeşitli ses dalgalarına ait hızlar, malzemenin elastik sabitlerinden yararlanarak hesaplanabilir.

Boyuna dalga hızı :

$$c_1 = \sqrt{\frac{E \cdot (1 - \nu)}{\rho \cdot (1 + \nu)(1 - 2\nu)}} \quad (6.2)$$

Enine dalga hızı :

$$c_t = \sqrt{\frac{E}{\rho} \frac{1}{2(1 + \nu)}} = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \quad (6.3)$$

Yüzey dalga hızı :

$$c_s = \frac{0,87 + 1,12 \cdot \nu}{1 + \nu} c_t \quad (6.4)$$

Boyuna ve enine dalga hızları aşağıdaki şekilde birleştirilebilir:

$$c_t = c_1 \sqrt{\frac{(1 - 2\nu)}{2(1 + \nu)}} \quad (6.5)$$

Çelikte $\nu = 0,28$ ve betonda $\nu = 0,15$ kabul edersek şu oranları elde ederiz:

$$\nu = 0,28 \quad \longrightarrow \quad \frac{c_t}{c_1} = 0,55$$

$$\nu = 0,15 \quad \longrightarrow \quad \frac{c_t}{c_1} = 0,64$$

Buradan enine dalga hızının, boyuna dalga hızının yaklaşık yarısına eşit olduğunu söyleyebiliriz.

6.2. Ultrasonik Ölçmelerle Beton Dayanımının Belirlenmesi

Yapı betonlarının yerinde muayenesi amacıyla geliştirilen yıkıntısız denetim yöntemleri arasında ultrasonik yöntem, günümüzde geniş uygulama kazanmıştır. 40 kHz'den daha yüksek frekanslı ses dalgalarının beton içindeki yayılım hızlarının belirlenmesi ile betonun elastik sabit-

leri arasında güvenilir bilgiler sağlanabilmektedir.

Ultrasonik ölçmelerle beton içindeki büyük boşlukların varlığı, yüzeyel çatlakların derinliği hakkında da bilgi sağlanabilir.

6.3. Beton İçindeki Ultrases Hızının Anlamı

Bir beton numunesinin bir yüzünden, özel bir aletle üretilen yüksek frekanslı ses dalgaları gönderilmekte, bunların karşı yüze ulaşması için geçen süre ölçülmektedir. Ses dalgalarının katettiği mesafenin bu süreye bölünmesiyle beton içindeki ultrases hızı (V) bulunmaktadır. Genel olarak bu büyüklük km/sn cinsinden verilmektedir.

$$V = \frac{L}{T} \quad (6.6)$$

V : Ultrases hızı (km/sn)

L : Toplam uzunluk (km)

T : Geçiş zamanı (sn)

Ses dalgaları beton içinde ilerlerken boşluğa rastlaması halinde, yansımadan dolayı bu boşluğu geçemeyerek etrafını dolaşırlar. Yörünge üzerinde birçok boşluğun bulunması halinde bu olayın birçok defa tekrarlanması sonucunda, ses dalgalarının bir yüzden diğer yüze ulaşması için geçen süre belirgin bir ölçüde artar veya ses hızı belirgin bir azalma gösterir. Bu olay, V ultrases hızı ile betonun kompositesi arasında bir ilişki bulunduğunu ortaya koyar. Kompositenin büyük olması halinde betonun içerdiği boşluk az olacağından ultrases hızı büyük değerler alacaktır. Komposite büyük değerler aldığı anda, genellikle, boşluk içerikli cisimlerin dayanımının yüksek olduğu bilinmektedir. Buradan beton dayanımının ultrases hızı ile birlikte artmakta olduğu anlaşılır. Kompositenin küçük olması halinde ise beton içinde fazla miktarda boşluk bulunacağından, ultrases hızı küçük değerler alır ve bu durumda dayanımın büyük değerler alması beklenemez. Betonun, boşluklar dışında

kalan kısmının düzgün bir içyapıya sahip olması halinde, dayanımı yalnız kompozitenin bir fonksiyonu olarak kabul etmek mümkündür. Böyle bir durumda dayanımı, yalnız ultrases hızı cinsinden ifade etmek mümkündür. Bu konuda yapılmış birçok araştırmada basınç dayanımı ile ultrases hızı arasında çeşitli bağıntılar kurulmuştur. Fakat bu bağıntıların şekli ve bu bağıntılarda yer alan katsayıların değerleri üretilen betonun muhtelif özelliklerine (betonun bileşimine, betonun üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerine, betonun bakım koşullarına ve betonun yaşına) bağlı olarak geniş bir alanda değişmektedir.

Kompozitesi yüksek olan bir betonda, ultrases hızı ile dayanımın aynı yönde artmakta oldukları söylenebilir. Böylece, beton basınç dayanımı ile ultrases hızı arasında kalitatif bir bağıntı verilebilir (Tablo 6.2).

Ultrases Hızı (km/sn)	Beton Kalitesi
2,0'den küçük	Çok kötü
2,0-3,0	Kötü
3,0-3,5	Şüpheli
3,5-4,5	İyi
4,5'dan büyük	Çok iyi

Tablo 6.2. Ultrases Hızı ve Beton Kalitesi Arasındaki İlişki

Başka yöntemlerle kanıtlanmadan, sadece ultrases hızının ölçümüne dayanarak beton dayanımının tayini, %40'ı aşan büyük hatalara sebep olmaktadır. Bu iki büyüklük arasındaki bağıntıları belirlemeden önce, bu bağıntıların hangi şartlarda kurulduğunu belirlemek gerekir.

Ülkemizdeki uygulama, kalite kontrolüne veya hata belirlemesine yönelik değildir. Genellikle, yapı bittikten sonra, sağlamlık konusunda ortaya çıkan hukuki anlaşmazlıkların çözümü için bu yöntem başvurulmak-

tadır. Bu durumlarda da çoğunlukla önceden numune alınmamıştır ve betonun bileşimi konusunda kesin hiçbir bilgi yoktur. Bu sebeble, sadece ultrases hızı ölçülerek yapılan değerlendirmeler çok yaklaşık kalmaktadır(8).

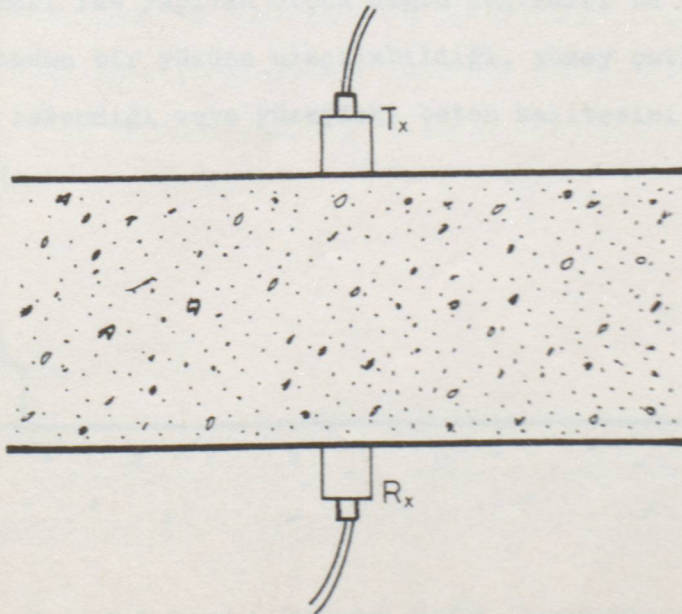
6.4. Ultrasonik Yöntemin Kullanıldığı Yerler

- 1) Betonun homojenliğinin kontrolü,
- 2) Çatlakların, boşlukların ve diğer hataların belirlenmesi,
- 3) Zamanla betonun yapısında oluşacak değişikliklerin belirlenmesi,
- 4) Beton kalitesinin standartlara uyup uymadığının belirlenmesi,
- 5) Bir beton elemanın kalitesinin bir başkasıyla karşılaştırılması,
- 6) Betonun elastisite modülünün belirlenmesi.

6.5. Transdüserlerin Düzenlenmesi

6.5.1. Direkt İletim Düzenlemesi

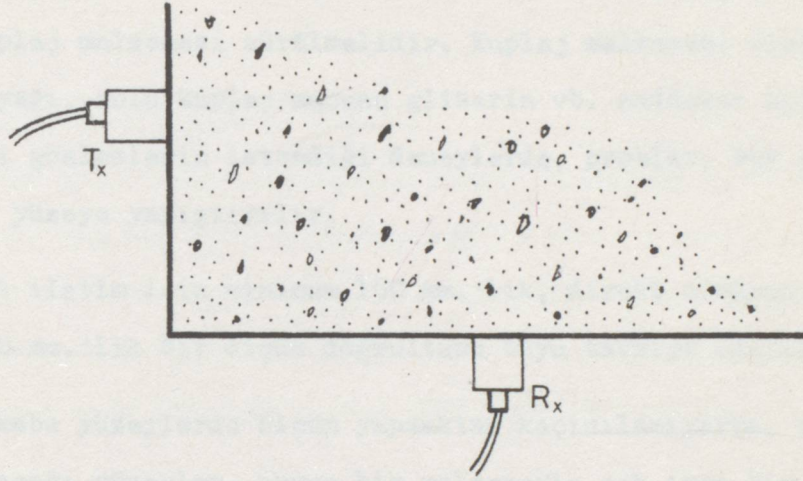
Mümkün olduğu sürece, direkt iletim düzenlemesi yapılmalıdır. Bu tip bir düzenleme maksimum hassaslığı sağlar ve katedilen toplam uzunluk(L) doğru bir şekilde belirlenebilir(1).



Şekil 6.6. Direkt İletim Düzenlemesi

6.5.2. Yarı Direkt İletim Düzenlemesi

Bazen beton kalitesini, çaprazlamasına bir ölçüm doğrultusu kullanarak tespit etmek gerekir. Bu gibi durumlarda yarı direkt iletim düzenlemesi kullanılır(1).



Sekil 6.7. Yarı Direkt İletim Düzenlemesi

6.5.3. Direkt Olmayan İletim Düzenlemesi

En az hassas ölçüm şeklidir. Sadece yüzeye yakın beton tabakasındaki ses hızını ölçer. Yüzeydeki beton kalitesiyle derindeki beton kalitesi farklı ise yapılan ölçüm doğru değildir. Bu tip bir düzenleme sadece betonun bir yüzüne ulaşılabilirdiği, yüzey çatlak derinliğinin belirlenmek istendiği veya yüzeydeki beton kalitesini belirlemek için kullanılır(1).



Şekil 6.8. Direkt Olmayan İletim Düzenlemesi

6.6. Beton İçindeki Ultrases Hızını Etkileyen Faktörler

6.6.1. Yüzey Koşulları

Beton yüzeyinin pürüzsüz olması gerekmektedir. Transdüserlerin ka-
lıptan çıkmış yüzeylere bağlanması istenir. Beton yüzeyiyle transdüser
arasına kuplaj malzemesi sürülmelidir. Kuplaj malzemesi olarak kalın
yağ, gres yağı, sulu kuplaj macunu gliserin vb. maddeler kullanılabilir.
Uzun süreli gözlemlerin istendiğı deneylerde, problemler, bir yapıştırma
maddesiyle yüzeye yapıştırılır.

Direkt iletim için minimum 150 mm.'lik, direkt olmayan iletim için
minimum 400 mm.'lik bir ölçüm doğrultusu boyu tavsiye edilir.

Eğer kaba yüzeylerde ölçüm yapmaktan kaçınılamıyorsa, transdüserle-
rin bağlanacağı yüzeyler, uygun bir malzemeyle çok ince bir şekilde kap-
lanmalı ve ölçüm daha sonra yapılmalıdır(1).

6.6.2. Nem İeriğı

Betonun nem içeriğinin, ultrases hızı üzerindeki etkisi küçüktür.
Genellikle nem içeriğı arttıkça ultrases hızı da artmaktadır. Düşük
kaliteli betonlarda bu etki daha da belirgindir. Suya doymun bir beton-
daki ses hızı, aynı kompozite ve kaliteye sahip kuru betondaki ses hı-
zından yaklaşık %2 daha fazladır. Yüksek mukavemetli betonlarda bu oran
daha düşüktür(1).

6.6.3. Betonun Sıcaklığı

5 - 30°C arasındaki sıcaklık değışimlerinin, betondaki ultrases
hızı üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Sıcaklıkta çok aşırı değışik-
likler olmadığı sürece sıcaklık etkisi ihmal edilebilir(1).

6.6.4. Ölçüm Yolu Uzunluğu

20 mm'lik agregalar için 100 mm'den, 40 mm'lik agregalar için 150 mm'den küçük ölçüm yolu uzunluğu kullanılmadığı sürece, ölçüm yolu uzunluğunun ultrases hızı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir(1).

6.6.5. Deney Elemanının Şekli ve Boyutu

Ultrases hızı, deney elemanının yanal boyutu(dalga yoluna dik olarak ölçülen boyut), dalga boyundan küçük olmadığı sürece deney elemanının şeklinden ve boyutundan etkilenmez. 50 kHz'lik frekanslar için minimum yanal boyut 80 mm. olmalıdır. Aksi takdirde ultrases hızı azalabilir. Bu durumda deney sonuçları ihtiyatla kullanılmalıdır(1).

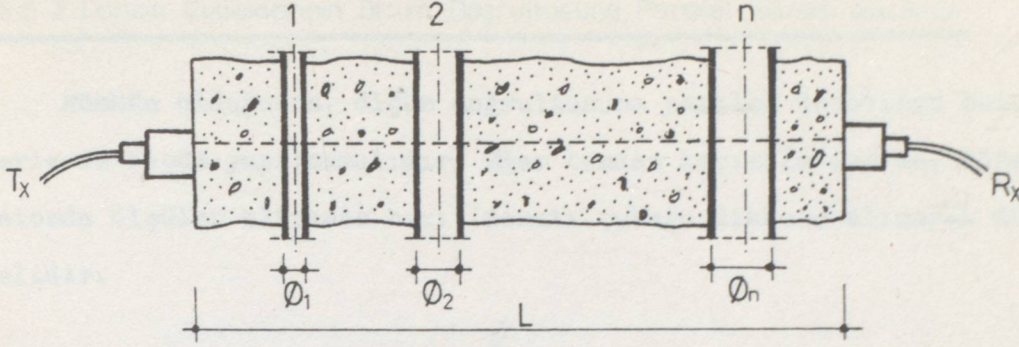
6.6.6. Donatı Çeliğinin Etkisi

Betonarme bir elemandaki ultrases hızı, yalın betondaki ultrases hızından daha büyüktür. Bunun nedeni, çelikteki ultrases hızının, yalın betondaki ultrases hızının 1,2 - 1,9 katı fazla olmasıdır. Alıcı transdüsere ulaşan ilk dalga kısmen beton, kısmen de çelik içinde hareket eder. Mümkün olduğunca, ölçümler, donatının bulunmadığı doğrultu üzerinde yapılmalıdır.

Ultrases hızındaki artış; yapılan ölçümün donatı çubuğuna yakınlığına, donatı sayısına ve donatının durumuna(yayıma doğrultusuna dik veya paralel olması) bağlıdır(1).

6.6.6.1. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Dik Olması Durumu

Bu durumda donatının etkisi, ses dalgasının tüm donatı çapı boyunca geçtiği varsayılarak hesaplanabilir.



Şekil 6.9. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Dik Olması

Tablo 6.3, yalın betondaki gerçek ultrases hızını bulmak için, donatılı betonda ölçülen ultrases hızının çarpılması gereken düzeltme çarpanlarını verir. Düzeltme çarpanı değerleri 3 değişik ultrases hızı için verilmiştir(1).

L_s / L	Yalın betondaki ultrases hızı (km/sn)		
	$V_c = 3,0$	$V_c = 4,0$	$V_c = 5,0$
0,10	0,95	0,96	0,98
0,15	0,93	0,95	0,97
0,20	0,90	0,93	0,96
0,25	0,88	0,92	0,95
0,30	0,85	0,92	0,95

Tablo 6.3. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Paralel Olması Durumunda Kullanılacak Düzeltme Çarpanı Değerleri

V_c : Yalın betondaki ultrases hızı (km/sn)

V_s : Çelikteki ultrases hızı (km/sn)

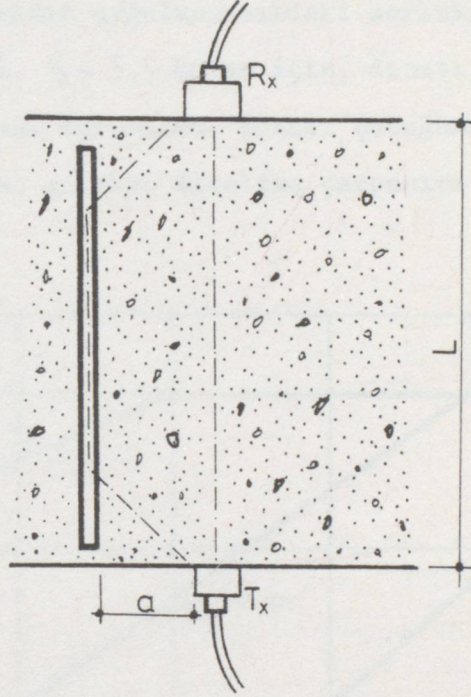
L_s : Çelik içinde katedilen uzaklık ($L_s = \sum \phi_i$)

L : Toplam uzunluk

ϕ_i : Donatı çubuğu çapı

6.6.6.2. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Paralel Olması Durumu

Mümkün olduğunca, ölçüm doğrultusuna paralel donatının bulunduğu yerlerde ölçüm yapılmamalıdır. Eğer bundan kaçınılamıyorsa, donatılı betonda ölçülen ultrases hızı, donatı çubuğu dikkate alınarak düzeltilmelidir.



Şekil 6.10. Donatı Çubuklarının Ölçüm Doğrultusuna Paralel Olması

Yalın betondaki ultrases hızı aşağıdaki bağıntıyla belirlenir.

$$V_c = \frac{2 a V_s}{\sqrt{4 a^2 + (T V_s - L)^2}} \quad (6.7)$$

V_s : Çelikteki ultrases hızı (km/sn)

V_c : Yalın betondaki ultrases hızı (km/sn)

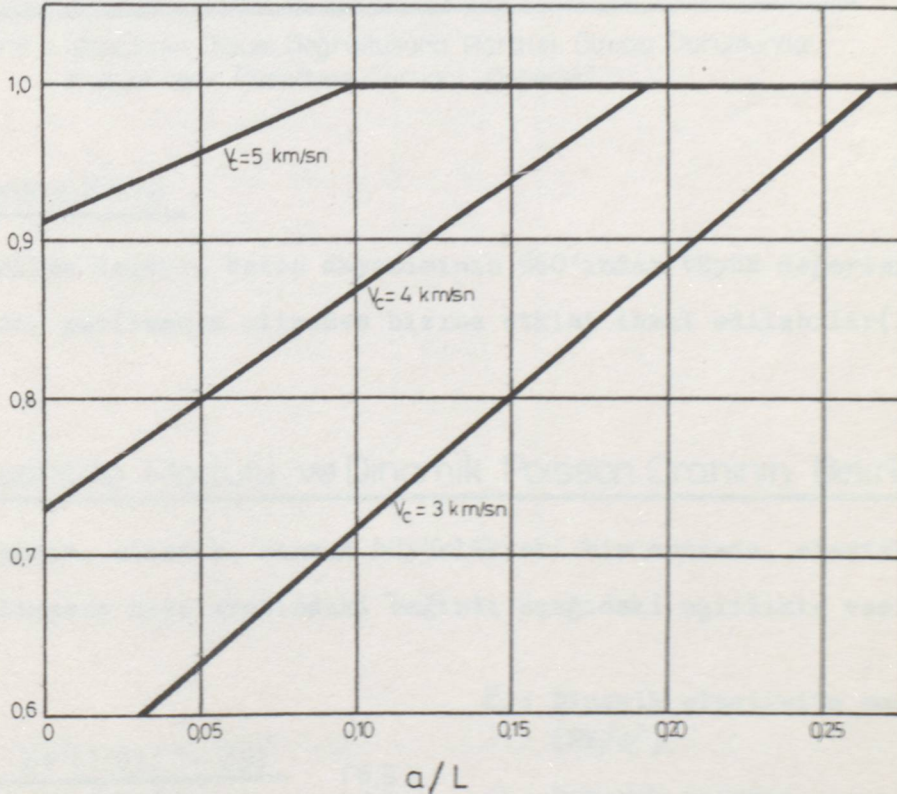
a : Aktif prob parçası ile donatı üzerinde en yakın iki nokta arasındaki uzaklık

$V_s \geq V_c$ şartı her zaman sağlanmalıdır.

Donatı çubukları, aşağıdaki koşul sağlandığında ultrases hızı üzerinde etkili olmaktadır. Aksi halde (6.7) bağıntısı geçersizdir.

$$\frac{a}{L} < \frac{1}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_c}{V_s + V_c}} \quad (6.8)$$

(6.7) bağıntısının uygulanmasındaki zorluk, V_s değerinin belirlenmesidir. Şekil 6.11, $V_s = 5,5$ km/sn için, donatı çubuğunun ölçüm doğrultusuna paralel olması durumunda, donatı çubuğunun ultrases hızına etkisini ve kullanılması gereken düzeltme çarpanını grafik olarak vermektedir(1).



Şekil 6.11. Çesitli a/L Oranlarına Karşılık Gelen Düzeltme Çarpanı Değerleri

Benzer şekilde Tablo 6.4'de, yalın betondaki ultrases hızını bulmak için, donatılı betonda ölçülen ultrases hızlarının çarpılması gereken düzeltme çarpanlarını verir. Düzeltme çarpanı değerleri 4 değişik V_c / V_s oranı için verilmiştir(7).

$\frac{a}{L}$	$\frac{V_c}{V_s} = \frac{\text{Yalın betondaki ultrases hızı (km/sn)}}{\text{Donatılı betondaki ultrases hızı (km/sn)}}$			
	$\frac{V_c}{V_s}=0,90$	$\frac{V_c}{V_s}=0,80$	$\frac{V_c}{V_s}=0,71$	$\frac{V_c}{V_s}=0,60$
0	0,90	0,80	0,71	0,60
1/20	0,94	0,86	0,78	0,68
1/15	0,96	0,88	0,80	0,71
1/10	0,99	0,92	0,85	0,76
1/7	1,00	0,97	0,91	0,83
1/5	1,00	1,00	0,99	0,92
1/4	1,00	1,00	1,00	1,00

Tablo 6.4. Donatının Ölçüm Doğrultusuna Paralel Olması Durumunda Kullanılacak Düzeltme Çarpanı Değerleri

6.6.7. Gerilme Etkisi

Gerilme değeri, beton dayanımının %60'ından büyük değerler almadığı sürece, gerilmenin ultrases hızına etkisi ihmal edilebilir(1).

6.7. Elastisite Modülü ve Dinamik Poisson Oranının Belirlenmesi

İzotrop, elastik, sonsuz büyüklükteki bir ortamda, elastik sabitlerle ultrases hızı arasındaki bağıntı aşağıdaki eşitlikle verilir(1).

$$E_d = \frac{\rho V^2 (1+\nu) (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (6.9)$$

E_d : Dinamik elastisite modülü
(MN/m²)

ν : Dinamik poisson oranı

ρ : yoğunluk(kg/m³)

V : Ultrases hızı(km/sn)

Eğer ρ ve ν biliniyorsa, (6.9) bağıntısını kullanarak E_d 'yi belirlemek mümkündür. Aynı şekilde eğer ρ ve E_d biliniyorsa ν bulunabilir.

Laboratuvar numuneleri yardımıyla, rezonans frekansı yöntemi kullanılarak E_d/ρ oranı aşağıdaki şekilde belirlenebilir(1).

$$\frac{E_d}{\rho} = 4 n^2 L^2 10^{-6} \quad (6.10) \quad n : \text{Rezonans frekansı(Hz)}$$

$$L : \text{Deney elemanının uzunluğu(m)}$$

(6.9) ve (6.10) bağıntılarını birleştirirsek:

$$\frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{(1-\nu)} = \frac{4 n^2 L^2}{V^2} \quad (6.11)$$

değeri Tablo 6.5 yardımıyla hesaplanabilir.

$\frac{n.L}{V}$	ν
0,257	0,45
0,345	0,40
0,395	0,35
0,431	0,30
0,457	0,25
0,475	0,20
0,488	0,15
0,494	0,10
0,499	0,05

Tablo 6.5

Elastisite modülü(dinamik ve statik), poisson oranı ve yoğunluk, beton bir yapıda değişik noktalarda değişik değerler alabilir.

Yapının herhangi bir noktasında ölçülen ultrases hızı yardımıyla, dinamik ve statik elastisite modüllerini, deneysel bağıntılardan yararlanarak belirlemek mümkündür. Ultrases hızı ve elastisite modülleri arasındaki ilişki Tablo 6.6'da verilmiştir. Bu tablo kullanılarak elasti-

site modülleri(dinamik ve statik) tahmin edildiğinde,hata oranı %10 civarında olacaktır(1).

Ultrases hızı (km/sn)	Elastisite Modülleri(MN/m ²)	
	Dinamik	Statik
3,6	24 000	13 000
3,8	26 000	15 000
4,0	29 000	18 000
4,2	32 000	22 000
4,4	36 000	27 000
4,6	42 000	34 000
4,8	49 000	43 000
5,0	58 000	52 000

Tablo 6.6.

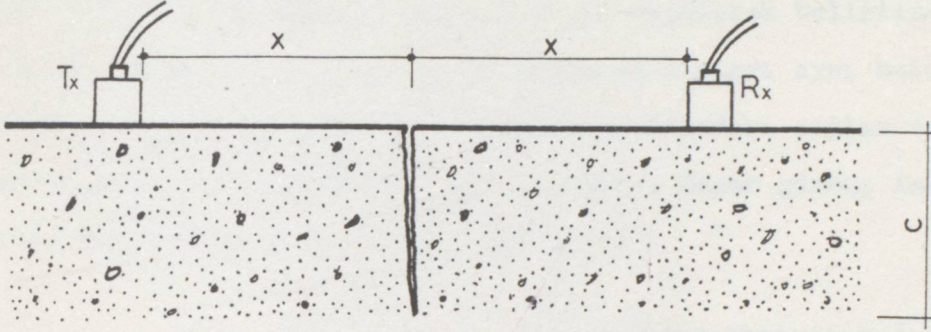
6.8. Hataların Belirlenmesi

Ses dalgaları beton içinde ilerlerken boşluğa ve çatlığa rastlarsa, bu boşluğu geçemeyerek etrafını dolaşır. Bunun sonucu, ses dalgalarının bir yüzden diğer yüze ulaşması için geçen süre belirgin bir ölçüde artar. Ultrases hızı yardımıyla beton içindeki büyük boşlukların varlığı, yüzeysel çatlakların derinliği ve yüzeydeki beton kalitesi hakkında bilgi sağlanabilir.

6.8.1. Yüzey Çatlak Derinliğinin Belirlenmesi

Yüzeyinde gözle görülebilir çatlak bulunan bir betonda, bu çatlakın derinliğinin belirlenmesi gerekebilir. Çatlak derinliği, transdüserler, çatlakın her iki tarafına iki defa farklı mesafelerde yerleştirilerek belirlenebilir. Şekil 6.13'de uygun bir düzenleme görülmektedir.

Transdüserler çatlakın her iki tarafına eşit aralıklarla yerleştirilmiştir. İki değişik x değeri seçilir ve herbirine ait ultrases hızları ölçülür.



Şekil 6.13 Çatlak Derinliğinin Belirlenmesi İçin Transdüserlerin Düzenlenmesi

x mesafesi için iki uygun değer 150 mm. ve 300 mm.'dir. Bu değerler kullanıldığında çatlak derinliği aşağıdaki şekilde belirlenebilir.

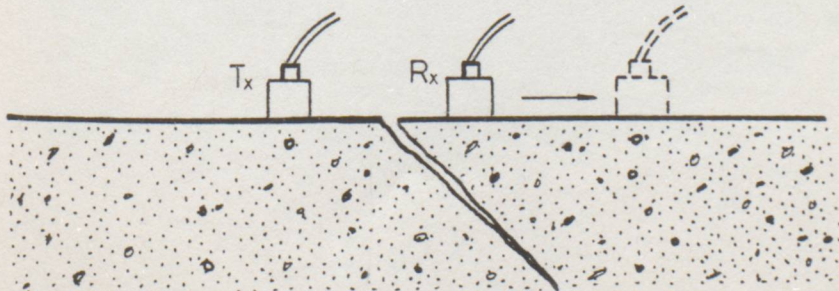
$$c = 150 \sqrt{\frac{4t_1^2 - t_2^2}{t_2^2 - t_1^2}} \quad (6.12)$$

c : Yüzey çatlak derinliği (mm)

t_1 : $x = 150$ mm. için geçiş zamanı

t_2 : $x = 300$ mm. için " "

(6.12) bağıntısı, çatlakın beton yüzeyine dik olduğu varsayılarak çıkartılmıştır. Çatlakın, beton yüzeyine dik olup olmadığını belirlemek için, verici transdüser sabit tutulur ve alıcı transdüserin yeri belli aralıklarla değiştirilir. Eğer geçiş zamanında bir azalma görülürse çatlakın yönü, alıcı transdüserin hareket ettirildiği doğrultuda demektir (Şekil 6.14).



Şekil 6.14 Çatlakın Yönünün Belirlenmesi

6.8.2. Hasar Görmüş Bir Yapıda Dayanımı Azalmış Beton Tabaka Kalınlığının Tespiti

Yangın, don ve kimyasal etkilere maruz kalan bir betonda dış tabakanın dayanımından kuşku duyulabilir. Bu tabakanın kalınlığı, yüzey boyunca ultrases dalgalarının geçiş hızları ölçülerek belirlenebilir (Şekil 6.15). Küçük x mesafeleri için ultrases hızları aynı bulunur. x büyüdükçe gönderilen dalga, zayıf tabakanın altındaki sağlam tabakadan da geçer ve ultrases hızında bir artış görülür. Hasar görmüş tabakanın kalınlığı aşağıdaki bağıntıyla bulunabilir(1).

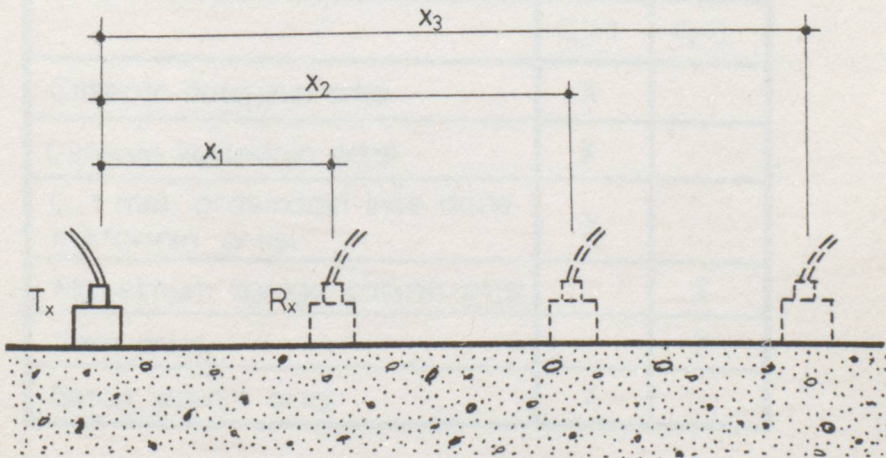
$$t = \frac{x_0}{2} \sqrt{\frac{V_s - V_d}{V_s + V_d}} \quad (6.13)$$

x_0 : Ultrases hızının değişim gösterdiği x mesafesi

V_d : Hasar görmüş beton tabakadaki ultrases hızı

V_s : Hasar görmüş beton tabakanın altındaki sağlam betonda ölçülen ultrases hızı

t : Hasar görmüş beton tabakanın kalınlığı



Şekil 6.15. Hasar Görmüş Tabakanın Belirlenmesi

6.9. Ultrases Hızı Yardımıyla Beton Dayanımının Tahmin Edilmesi

Ultrases hızına etkisi bilinen faktörler, basınç dayanımının belirlenmesinde hata miktarını azaltmak için bir düzeltme çarpanıyla dikkate alınmalıdır. Düzeltme çarpanı (C_i) 1'den küçük veya 1'den büyük bir sayı olabilir.

$$R_i^f = R_i^y \cdot C_i \quad (6.14)$$

R_i^f : V_i ultrases hızına karşılık gelen herhangi bir betonun dayanımı

R_i^y : Aynı V_i ultrases hızına karşılık gelen referans betonun dayanımı

C_i : Düzeltme çarpanı

C_i düzeltme çarpanı için gerekli açıklama, geri tepme yöntemi açıklanırken yapılmıştı. Ultrases hızı yardımıyla, beton basınç dayanımının tahmininde geçerli C_i düzeltme çarpanı değerleri Tablo 6.8'de verilmiştir. Referans numunenin özellikleri aynıdır.

	$C_i > 1$	$C_i < 1$
Çimento dozajının artışı	X	
Çimento kalitesinin artışı	X	
0_1 mm. arasındaki ince dane miktarının artışı	X	
Maksimum agrega çapının artışı		X
Nem artışı		X
Beton yaşının artışı	X	

Tablo 6.8. Ultrasonik yöntem için C_i düzeltme çarpanı (3)

6.10.Sonuçların Rapor Edilmesi

Deney sonuçları, aşağıdaki bilgileri kapsayacak şekilde rapor edilmelidir.

- 1) Aleti yapan firma ve aletin tipi, okuma hassasiyeti, frekansı ve diğer özellikleri
- 2) Yapının ve deney yapılan numunelerin tarifi
- 3) Betonun özellikleri
- 4) Betonun içeriği
 - a) Çimento tipi
 - b) Çimento içeriği
 - c) Su/Çimento oranı
 - d) Agrega tipi ve boyutu
 - e) Kullanılan katkı maddeleri
- 5) Saklama koşulları, sıcaklık ve deney sırasındaki beton yaşı
- 6) Transdüserlerin düzenini ve dalgaların yayılım doğrultusunu gösteren kroki (Bu kroki üzerinde donatı çubuklarının durumu da belirtilmelidir)
- 7) Deney noktalarındaki yüzey koşulları (düzgün, pürüzlü)
- 8) Deney tarihinde betonun tahmini nem durumu
- 9) Ölçüm yapılan uzunluk, ölçüm metodu ve tahmini ölçüm hassaslığı
- 10) Ölçülen ultrases hızları
- 11) Gerekli yerlerde donatı sebebiyle düzeltilmiş ultrases hızı değerleri

7. BİLEŞİK YIKINTISIZ DENETİM YÖNTEMLERİ

Yıkıntısız denetim yöntemlerinde, numuneler üzerinde istatistiksel değerlendirmelerle kurulan analitik veya grafik bağıntılar tüm yapıya uygulanmakta, böylece geniş kapsamlı ve güvenilir bir denetim gerçekleştirilmektedir.

İstatistiksel yaklaşımı daha iyileştirmek amacı ile farklı yöntemlerle elde edilen sonuçlar birlikte değerlendirilmeye başlanmış ve buna " Bileşik Yıkıntısız Denetim " adı verilmiştir. En çok kullanılan bileşik yıkıntısız denetim yöntemleri şunlardır:

- . Ultrases hızı ile geri tepme indisi
- . " " " ultrases sönümü
- . " " " rezonans frekansı
- . " " " akustik kayıplar katsayıları

Bu yöntemlerin herbirinde ortak bir faktör ultrases hızı olmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olan, ultrases hızı ile Schmidt geri tepme indisinin birleştirilmesinden oluşan yöntemdir. Dayanımı ultrasonik yöntem yüksek, geri tepme yöntemi düşük değerlendirmektedir. Bu sebeple iki yöntemin birleştirilmesiyle, daha doğru sonuçlar elde edilebilir. Ancak hiçbir zaman, sonucun mükemmel olacağı anlamı çıkarılmamalıdır(7).

8. İSTATİSTİKSEL KAVRAMLAR

8.1. Aritmetik Ortalama

Serideki gözlem değerleri toplamının, toplam gözlem sayısına bölünmesiyle bulunur(12).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (8.1)$$

\bar{X} : Aritmetik ortalama

X_i : i. gözlem değeri

$\sum X_i$: Gözlem değerlerinin toplamı

N : Toplam gözlem sayısı

Gruplandırılmış değerlerin aritmetik ortalaması aşağıdaki gibi bulunur.

$$\bar{X} = \frac{\sum f_i \cdot X_i}{N} \quad (8.2)$$

f_i : i. gözlem değerinin frekansı
(tekrar sayısı)

8.2. Sapma Değeri

Dağılımdaki her bir X_i değerinden \bar{X} değeri çıkarılarak, her bir değeri için " Sapma Değeri " bulunur(12).

$$x_i = X_i - \bar{X} \quad (8.3)$$

x_i : Sapma değeri

Bu işlemle elde edilecek sonuçlar aşağıdaki gibi olacaktır.

x_i değeri \bar{X} 'ye eşitse $X_i - \bar{X} = 0$

x_i " \bar{X} 'den büyükse $X_i - \bar{X} > 0$ (pozitif)

x_i " \bar{X} 'den küçükse $X_i - \bar{X} < 0$ (negatif)

Herhangi bir dağılımda, aritmetik ortalamadan sapma değerlerinin toplamı her zaman sıfırdır.

$$\sum (X_i - \bar{X}) = 0 \quad (8.4)$$

8.3. Standart Sapma

Sapma değerlerinin karelerinin ortalamasının kareköküne "Standart Sapma" denir. Gözlem sayısı 30'dan küçük ise ($N < 30$) aşağıdaki bağıntıda (N) yerine ($N-1$) kullanılır(12).

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{\sum X_i^2}{N}} \quad (8.5)$$

\bar{v} : Standart sapma

x_i : i. gözleme ait sapma değeri

8.4. Varyans

Standart sapmanın karesine "Varyans" denir. Bir dağılımın varyansı, sapmaların karelerinin toplamının ortalamasına eşit olur(12).

$$\text{Var} = \bar{v}^2 \quad (8.6)$$

Var : Varyans

8.5. Standart Değer

Sapma değerinin standart sapmaya bölünmesiyle elde edilen değere "Standart Değer" denir.

$$z = \frac{x_i}{\bar{v}} = \frac{X_i - \bar{X}}{\bar{v}} \quad (8.7)$$

z : Standart değer

Standart z değeri, dağılımdaki değerlerin ortalamadan sapmalarını standart sapmanın katları cinsinden verir(12).

8.6. Standart Normal Olasılık Dağılımı

X eksenindeki ölçülendirmesi standart değerleri cinsinden olan normal dağılıma "Standart Normal Olasılık Dağılımı" denir. Standart normal eğri, bütün eğrilerin özelliklerini gösterir, çan biçiminde olup 0 (sıfır) ortalama değerine göre simetriktir, standart sapması da 1'dir.

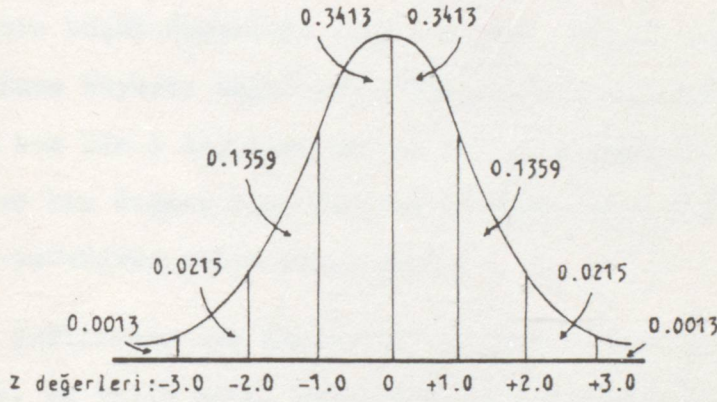
Normal dağılım Gauss adlı matematikçinin adıyla " Gauss Dağılımı " olarak da anılır. Normal dağılımı matematiksel olarak aşağıdaki eşitlikle belirliyebiliriz.

$$y = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (8.8)$$

y : y eksenini üzerindeki uzaklık cinsinden bağımlı değişken

z : Bağımsız değişken (standart değer)

e : Doğal logaritma tabanı



Şekil 8.1. Standart normal eğri alanları

Standart normal dağılım, denkleminin belirli bir eşitlikle verilen eğridir (Şekil 8.1). Bu dağılımda y eksenini olasılıkları vermez. Olasılıkları eğri altında kalan alanlarla hesaplarız.

Deney sayısı arttıkça elde edilen olasılık dağılımını normal eğriye yaklaşıp. Bu nedenle gözlem sayısı (N)'nin büyük olduğu deney sonuçlarının hesaplanmasında standart normal eğri altında kalan alanları kullanırız.

Herhangi bir sonuca ilişkin olasılığı bulmak için o sonucun hangi standart değere dönüştüğünü bulmamız gerekir.

Normal eğri tablosunda z'in bütün değerleri için ortalama z'ye kadar olan değerler verilir. Bu tablo Ek 1'de verilmiştir.

Herhangi bir olasılık değerine karşılık gelen karakteristik değeri aşağıdaki şekilde bulabiliriz(12).

$$X_k = \bar{X} + z \cdot \sqrt{V} \quad (8.9) \quad X_k: \text{Karakteristik değer}$$

8.7. t Dağılımı

N'nin küçük değerleri için t değeri, farklı dağılımlara sahiptir. N yeterince büyürse dağılımın normale yaklaştığı kabul edilir. İşte bu nedenle tek bir t dağılımı yerine bir grup dağılımdan söz edilebilir. N'nin her bir değeri için varolan bu dağılımlar N değeri 30'u geçerse normale yeterince yakın kabul edilir.

Bu dağılımlar ilk kez ortaya atıldıkları bilim adamının adıyla anılırlar. Bu bilim adamı çalışmalarında Student takma adını kullandığı için bu dağılım aynı zamanda " Student-t Dağılımı " adıyla da anılır. N'nin 30'dan küçük değerleri için bu dağılımlara ilişkin olasılıklar ayrı ayrı hesaplanmış olup Ek 2'de verilmiştir. N'nin 30'dan büyük değerleri için normal eğri tablolarından yararlanılır.

t'nin dağılımlarından her biri, belli bir serbestlik derecesine göre hesaplanmıştır(Şekil 8.2). Örneğin:

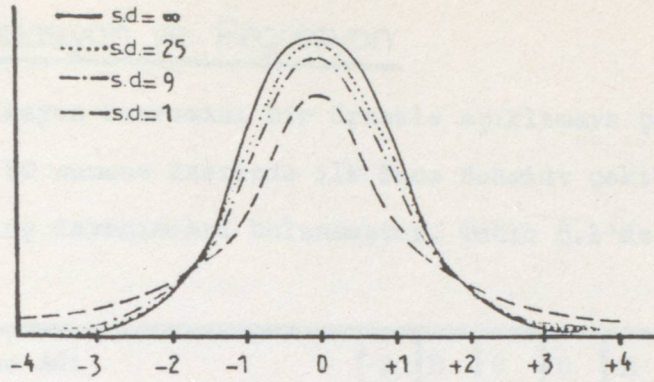
N=10 örnek büyüklüğü için serbestlik derecesi N-1=9,

N=30 " " " " " N-1=29 olur.

Herhangi bir örnek büyüklüğü N için serbestlik derecesi(s.d.), örnek büyüklüğünden bir eksik yani (N-1) olur.

t tablosunun normal eğri tablosuyla karşılaştırılması:

.. t tablosu görünüm açısından normal eğri tablosuna hiç benzemez. Bu farklılıkların bazıları şunlardır.



Şekil 8.2. Farklı serbestlik dereceleriyle t dağılımı

.. s.d.=sonsuz için verilen t değerleri tablonun son satırında, yatay olarak sıralanmıştır. Karşı gelen Z değerleri ise, normal eğri tablosundaki sütunlarda düşey olarak sıralanmıştır.

.. Normal eğri tablosunda, t tablosunun son satırına kıyasla pek çok Z değeri verilmiştir. Normal eğri alanları tablosunda daha çok Z değeri vardır. Çünkü bu tabloda yalnızca bir dağılıma ilişkin bilgiler vardır. Öte yandan t tablosunda serbestlik derecesi farklı birden fazla dağılıma ilişkin bilgiler yer almaktadır.

.. Normal eğri tablosunda yukarıdan aşağıya doğru sıralanan rakamlar olasılıkları verir, t tablosundaki olasılıklar ise sütunların üstünde başlıklar biçiminde verilmiştir.

.. t tablosundaki olasılıklar, dağılımın her iki ucunda kalan alanlara karşılık gelir. Oysa normal eğri tablosu, ortalama ile Z arasında kalan alanı verir. Herhangi bir Z değerinin ötesinde, normal eğri altında kalan alanı bulmak istersek, olasılığı 0,5'den çıkarmamız gerekir.

t dağılımını kullanarak herhangi bir olasılık değerine karşılık gelen karakteristik değeri aşağıdaki şekilde bulabiliriz(12).

$$X_k = \bar{X} + t \cdot \sigma \quad (8.10)$$

X_k : karakteristik değer

8.8. Korelasyon ve Regresyon

Korelasyon kavramını bir örnekle açıklamaya çalışalım. Laboratuara getirilen 10 numune üzerinde ilk önce Schmidt çekici okumaları yapılmış- sonra basınç dayanımları bulunmuştur. Tablo 8.1'de sonuçlar verilmiştir.

Numune Adı	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
(X) Schmidt Çekici Okumaları	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34
(Y) Basınç Dayanımları (kgf/cm)	250	260	270	280	290	300	310	320	330	340

Tablo 8.1.

Görüldüğü gibi Schmidt çekici okumalarının(X) yüksek olması durumunda basınç dayanımları da(Y) yüksek değerler alıyor. Schmidt çekici okumalarının yüksek olması durumunda basınç dayanımı değerlerinin de yüksek olacağını biliyorsak, herhangi bir numunenin basınç dayanımını bilmemek de Schmidt çekici sayısına bakarak bir şeyler söyleyebiliriz. Aynı şey Schmidt çekici sayıları küçük olan numuneler için de geçerli- dir.

İşte X ve Y arasında böyle düzenli bir ilişki varsa ve X değerleri hakkında bilgi sahibi olunursa Y değerleri hakkında da bir miktar bilgi- miz var demektir. İşte bu düzenli ilişkiye " Korelasyon " adı verilir. Bu korelasyon arttıkça X değerlerinin Y değerleri için içerdiği bilgi miktarı da artacaktır.

X ve Y değerleri arasındaki ilişkiyi belirleyen eşitliğe " Regres- yon Denklemi " adı verilir. Bu ilişki doğrusalsa, sözkonusu doğrunun gra- fiğine " Regresyon Doğrusu " denir. Böyle bir ilişki aşağıdaki şekilde olabilir.

$$Y = A_1 + A_2 \cdot X \quad (8.11)$$

A_1, A_2 : Regresyon sabitleri

8.9. Korelasyon Katsayısı

Bunu da aynı örnekle açıklamaya çalışalım. Schmidt çekici okumalarının bize, basınç dayanımları hakkında ne kadar bilgi sağladığından haberdar olmak isteyebiliriz. Sözügelisi bir numunenin Schmidt çekici okumasını biliyorsak, basınç dayanımı hakkında ne kadar bilgi sahibi olduğumuzu bilmek isteriz. Bir başka deyişle, Schmidt çekici okumaları ve basınç değerleri arasındaki ilişkinin derecesini ölçmemiz gerekebilir. Bu ilişki tek bir sayıyla ifade edilebilir. Bu katsayıya da " Korelasyon Katsayısı " denir.

Kusursuz bir ilişkide korelasyon katsayısı (işareti ne olursa olsun) 1'dir. Kusursuz pozitif korelasyonda korelasyon katsayısı +, kusursuz negatif bir korelasyonda korelasyon katsayısı - işaretlidir.

Korelasyon katsayısı iki değişken arasındaki ilişkinin yönünü de belirler. Çünkü korelasyon pozitifse, X değeri büyüdükçe Y değeri de büyür. Korelasyon negatifse, X değeri büyüdükçe Y değeri küçülür.

X ve Y değerleri arasında herhangi bir ilişki yoksa korelasyon katsayısı değeri $r=0$ olur(12).

Korelasyon katsayısı aşağıdaki şekilde hesaplanabilir(3):

$$r = \frac{\sum (Y_i - \bar{Y}) \cdot (Y_{i,tah} - \bar{Y}_{i,tah})}{\sqrt{\sum (Y_i - \bar{Y})^2 \cdot (Y_{i,tah} - \bar{Y}_{i,tah})^2}} \quad (8.12)$$

\bar{Y} : Aritmetik ortalama

Y_i : i. gözlem değeri

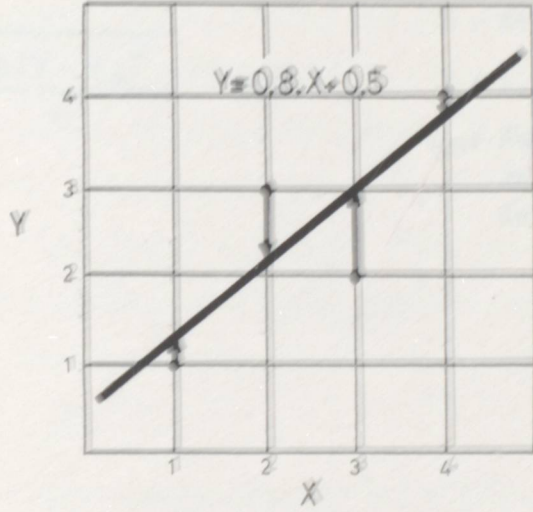
$Y_{i,tah}$: Regresyon denkleminde yerine konularak bulunan değer

$\bar{Y}_{i,tah}$: $Y_{i,tah}$ değerlerinin aritmetik ortalaması

8.10. En Küçük Kareler Yöntemi

X ve Y arasındaki ilişki tam ve kusursuz bir ilişki olmadıkça, Y'nin X'e göre regresyon doğrusu, diyagramdaki noktaların tümünden geç-

mez(Şekil 8.3). Bir başka deyişle, regresyon doğrusunun diyagramdaki noktaların tümünden geçebilmesi için, ilişkinin(korelasyonun) tam ve kusursuz olması gerekir. Bu ilişki kusursuz değilse bazı noktalarda regresyon doğrusundan sapmalar görülür.



Şekil 8.3: Dört Noktanın Regresyon Doğrusundan Gösterdikleri Düşey Sapmalar

Kendisinden görülen farkların kareleri toplamı en küçük olan doğru regresyon doğrusudur. Bu nedenle de regresyon doğrusunun belirleniş yöntemine "En Küçük Kareler Yöntemi" adı verilir(12).

Regresyon doğrusunun katsayıları, en küçük kareler yönteminde normal denklemler yardımıyla hesaplanır. (8.11) bağıntısı için normal denklemler aşağıdaki gibidir.

$$\Sigma Y = A_1 \Sigma N + A_2 \Sigma X$$

$$\Sigma X.Y = A_1 \Sigma X + A_2 \Sigma X^2$$

8.11. Tahminin Standart Hatası

X_i değerlerine karşı tahmin edilen Y değerlerini $Y_{i,tah}$ ile gösterirsek, X_i 'ye bağlı olarak Y regresyon doğrusundan olan sapmanın ölçüsüne "Standart Hata" adı verilir ve aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır(3).

$$S = \sqrt{\frac{\sum (Y_i - Y_{i,tah})^2}{N}} \quad (8.13)$$

S : Standart hata

Y_i : i . gözlem değeri

$Y_{i,tah}$: Regresyon denkleminde X_i değeri yerine konularak bulunan değer

9. BİLGİSAYARLA DEĞERLENDİRME

9.1. Betonun Yerinde Denetiminde Bilgisayar Kullanılması

Bileşik yıkıntısız denetim yöntemleriyle beton dayanımının belirlenmesi için, pek çok araştırmacı tarafından önerilen analitik ve grafik fonksiyonlar mevcuttur. Ölçüm sonuçlarına göre beton dayanımını tahmine yarayan bu fonksiyonlar, pek çok değişik faktörün etkisindedir. Bu faktörler betonun bileşimi, bileşime giren elemanların kimyasal ve mineralojik özelliklerinden, kullanılan aletlerin nitelikleri, deney sırasındaki ortam şartlarına kadar geniş bir dağılım alanına sahiptirler. Bu sebebledir ki, üretim sırasında beton kontrolünde veya bitmiş yapıdaki beton kontrolünde yıkıntısız denetim yöntemlerinden yararlanmada, bu tip genelleştirilmiş formülasyonların denetimsiz kullanılması büyük hatalara yol açar.

İstatistiksel yaklaşımla gerçekleştirilen tahmin fonksiyonları, numune sayısı arttıkça bilgisayar kullanmayı zorunlu hale getirmiştir. Bu noktadan hareketle kısa fakat oldukça kullanışlı bir bilgisayar programı hazırladık.

9.2. Programın Kullanılabileceği Yerler

Program genel olarak aşağıdaki durumlarda kullanılabilir:

- 1) Devam etmekte olan bir inşaatta,
- 2) Kabul aşamasına gelmiş bir yapıda,
- 3) Hasar görmüş bir yapıda beton dayanımının belirlenmesinde.

9.3. Programın Özellikleri

Program, Schmidt çekici sayısı ve ultrases hızı ile beton basınç dayanımı arasında, lineer ve üstel türde iki regresyon bağıntısı bulmaya yarar. Lineer ve üstel regresyon bağıntıları aşağıdaki şekilde düşünülmüştür.

Lineer regresyon bağıntısı :

$$R_1 = A_1 + A_2 \cdot S + A_3 \cdot V \quad (9.1)$$

Üstel regresyon bağıntısı :

$$R_2 = A_1 \cdot S^{A_2} \cdot e^{A_3 \cdot V} \quad (9.2)$$

Program ayrıcı, bu iki regresyon bağıntısından yararlanarak veya daha önceden hazırlanmış bir regresyon bağıntısını kullanarak, Gauss veya t dağılımı yardımıyla %50 olasılıkla ortalama beton basınç dayanımını (silindir) ve %90-95 olasılıkla beton basınç dayanımlarının alt sınır değerlerini (silindir) de belirlemeye yarar.

Günümüz teknolojisinde bilgisayarlar, cebimize girecek kadar küçültülmüştür. Bu tip kişisel bilgisayarlar da mühendisler arasında oldukça geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır. Hazırladığımız programın bu tip bir bilgisayarda daha çok kullanılacağı gözönünde tutulmuştur. Çünkü burada problem, çok büyük hafızalar gerektiren bir bilgisayar kullanmak veya çok geliştirilmiş bir program hazırlamak değil, inşaatta yerinde değerlendirmeye imkan verebilecek bir durum yaratmaktır. Denetim yapan kişi için, cebinde taşıdığı küçük bir bilgisayarla inşaatta anında değerlendirme yapmak, şüphesiz daha uygun bir çözümdür.

Bu sebeplerle bilgisayar programı " Casio PBl000 " tipi küçük bir el bilgisayarında yazılmış ve fazla detaya girilmemiştir. İstenildiği takdirde daha kapsamlı bir program hazırlamak da mümkündür. Programın akış diyagramı anahatlarıyla verilmiştir. Bu akış diyagramı sayesinde çok az herhangi bir bilgisayar dili bilen bir kimse bile, problemi kendi bilgisayarında çözebilecek bir program yazabilir ve programı istediği şekilde geliştirebilir.

9.4. Programın Kullanılması

Program başlangıçta iki seçenek sunar.

1) Lineer ve üstel türde regresyon bağıntıları kurmak ve bunlardan yararlanarak ortalama ve %90-95 olasılıkla beton basınç dayanımlarını (silindir) hesaplamak.

Bu seçenek seçilirse sırasıyla aşağıdakiler yapılır.

a) Ölçüm yapılan numune sayısı girilir.
b) Ölçüm yapılan numunelere ait Schmidt çekici okumaları ve ultrases hızları girilir.

c) Gerekliyse düzeltme yapılır.

d) İstenilirse girilen değerler ekranda görülebilir.

e) Program bundan sonra ilk olarak lineer regresyon bağıntısını hesaplar ve buna ait korelasyon katsayısı ve standart sapma ile birlikte ekrana yazar. Devam etmek için herhangi bir tuşa basılır.

f) Program bu defa üstel regresyon bağıntısını hesaplar ve buna ait korelasyon katsayısı ve standart sapma ile birlikte ekrana yazar. Devam etmek için herhangi bir tuşa basılır.

g) Bu iki regresyon bağıntısından yararlanarak, yapının istenilen noktalarında, ortalama ve %90-95 olasılıkla beton basınç dayanımlarının belirlenmek istenip istenmediği sorulur.

g1) İstenmiyorsa program sona erer.

g2) İsteniyorsa, yapıda ölçüm yapılan nokta sayısı girilir.

g3) Her noktaya ait Schmidt çekici okumaları ve ultrases hızları girilir.

g4) Gerekliyse düzeltme yapılır.

g5) İstenilirse girilen değerler ekranda görülebilir.

g6) Regresyon bağıntılarının hesabı için ölçüm yapılan numune sayısı 30'dan küçükse, t dağılımı tablosu kullanılarak %90-95 olasılıklarına karşılık gelen standart değerler(t değerleri) girilir.

g7) Program bundan sonra korelasyon katsayısı büyük olan regresyon bağıntısını kullanarak, ölçüm yapılan her nokta için R_{ort} , $\%90R$, $\%95R$ değerlerini hesaplayarak sırasıyla ekrana yazar. Bir sonraki noktaya ait değerleri görmek için herhangi bir tuşa basılır.

g8) Bütün noktalar ekranda görüldükten sonra program sona erer.

2) Daha önceden belirlenmiş lineer veya üstel türde regresyon bağıntıları yardımıyla, ortalama ve $\%90-95$ olasılıkla beton basınç dayanımlarını (silindir) hesaplamak.

Bu seçenek seçilirse sırasıyla aşağıdakiler yapılır.

- a) Regresyon bağıntısının türü sorulur (lineer veya üstel).
- b) Bu regresyon bağıntısına ait A_1, A_2, A_3 katsayıları girilir.
- c) Yapıda ölçüm yapılan nokta sayısı girilir.
- d) Her noktaya ait Schmidt çekici okumaları ve ultrases hızları girilir.
- e) Gerekliyorsa düzeltme yapılır.
- f) İstenilirse girilen değerler ekranda görülebilir.
- g) Gauss veya t dağılımı tabloları kullanılarak $\%90-95$ olasılıklarına karşılık gelen standart değerler (z veya t değerleri) girilir.

Not: Regresyon bağıntısının hesabı için ölçüm yapılan numune sayısı 30'dan küçükse ($N < 30$) t dağılımı, 30'dan büyükse ($N > 30$) Gauss dağılımı tabloları kullanılır.

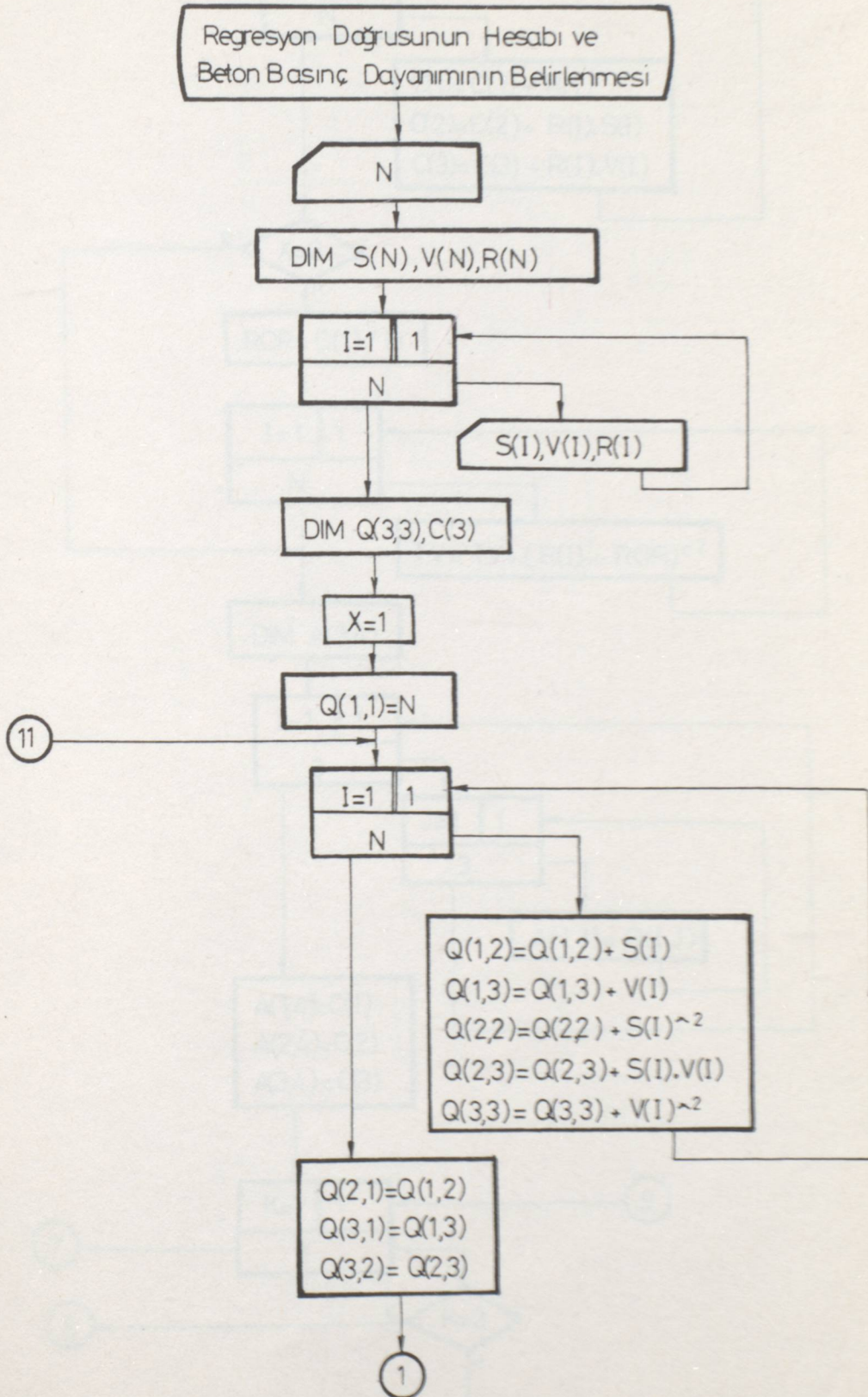
- h) Kullanılan regresyon bağıntısına ait standart hata girilir.
- ı) Program bundan sonra her nokta için R_{ort} , $\%90R$, $\%95R$ değerlerini hesaplayarak sırasıyla ekrana yazar. Bir sonraki noktaya ait değerleri görmek için herhangi bir tuşa basılır.
- j) Bütün noktalar ekranda görüldükten sonra program sona erer.

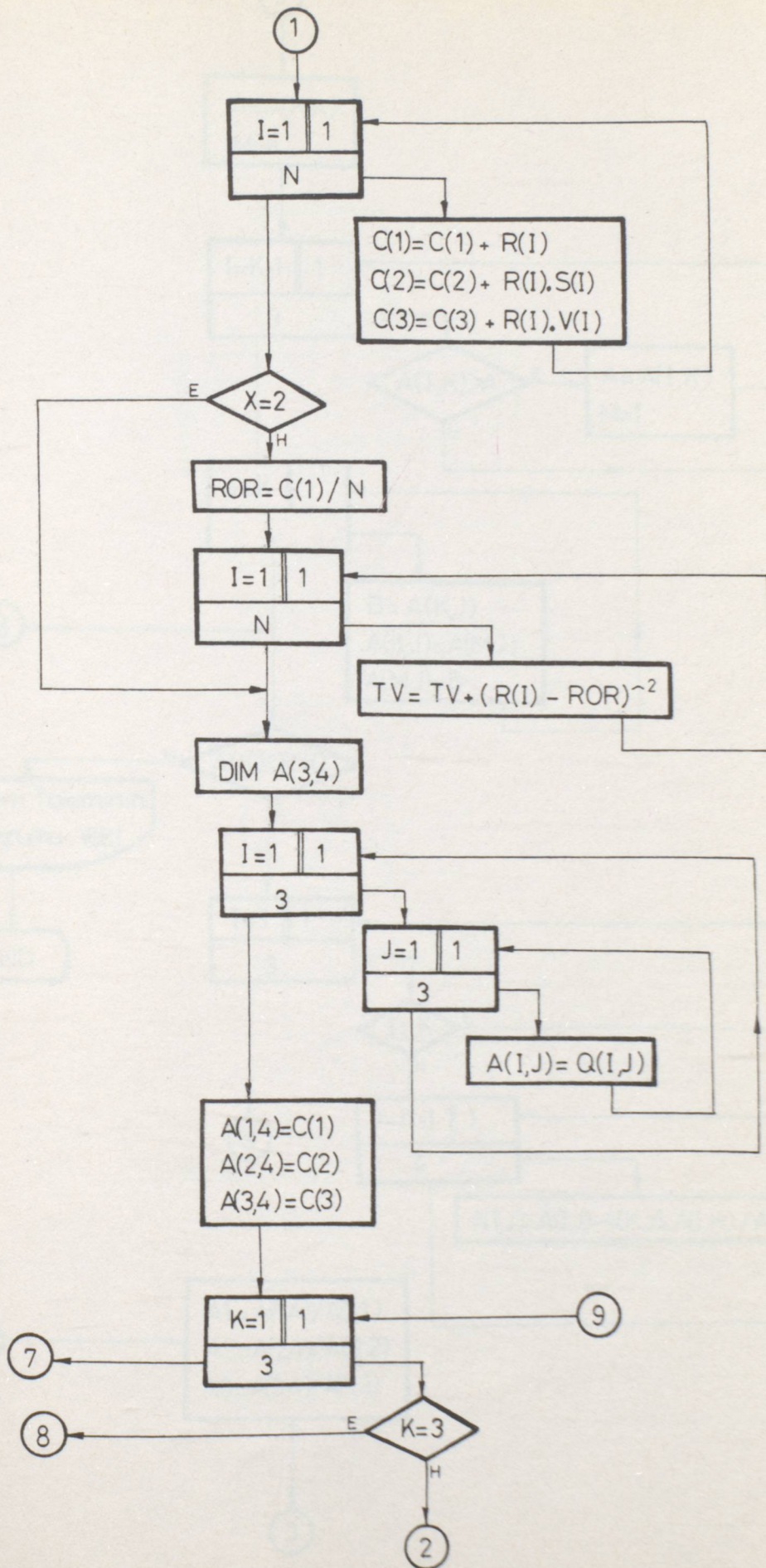
9.5. Kullanılan Notasyon

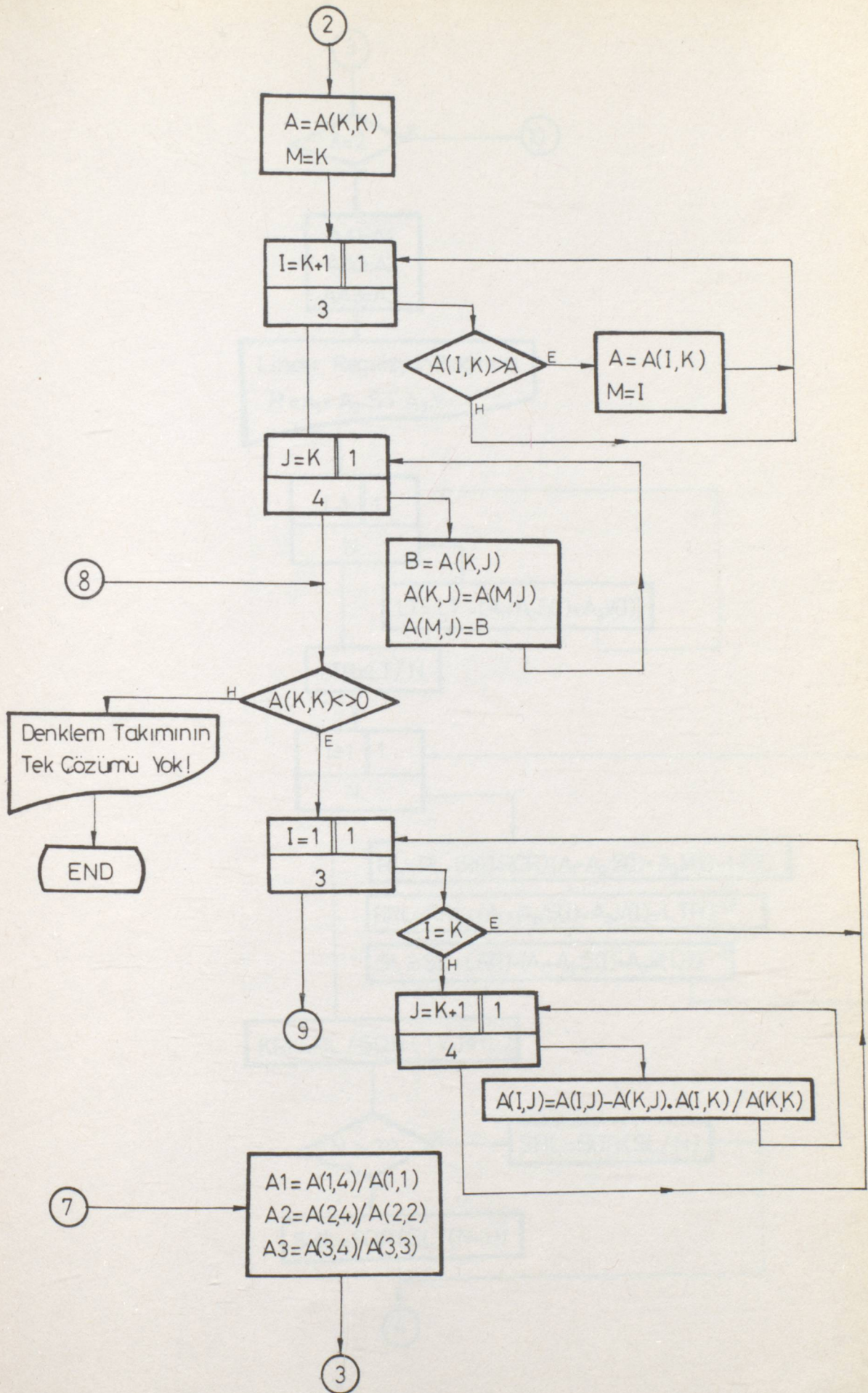
N	: Ölçüm yapılan numune sayısı
S(N)	: Ölçüm yapılan numunelere ait Schmidt çekici okumaları
V(N)	: " " " " ultarases hızı okumaları (km/s)
R(N)	: " " " " basınç dayanımları (kgf/cm ²) (karot numuneler üzerinde)
Q(3,3)	: Denklem takımının katsayılar matrisi
C(3)	: " " sabitler vektörü
X	: Sayaç
ROR	: Basınç dayanımı değerlerinin aritmetik ortalaması
TV	: Toplam varyasyon ($\sum (R_i - \bar{R})^2$)
A(3,4)	: Denklem takımı matrisi
A ₁ , A ₂ , A ₃	: Regresyon bağıntılarına ait katsayılar
AA ₁ , AA ₂ , AA ₃	: " " " "
LT	: Lineer regresyon bağıntısı kullanılarak bulunan basınç dayanımları toplamı ($\sum R_{i,tah}$)
LTR	: Lineer regresyon bağıntısı kullanılarak bulunan basınç dayanımları ortalaması ($\bar{R}_{i,tah} = \sum R_{i,tah} / N$)
RL	: $\sum (R_i - \bar{R}) \cdot (R_{i,tah} - \bar{R}_{i,tah})$ (Lineer regresyon için)
RRL	: $\sum (R_{i,tah} - \bar{R}_{i,tah})^2$ (" " ")
SL	: $\sum (R_i - \bar{R})^2$ (" " ")
KRL	: Lineer regresyona ait korelasyon katsayısı
SHL	: " " " tahminin standart hatası
UT	: Üstel regresyon bağıntısı kullanılarak bulunan basınç dayanımları toplamı ($\sum R_{i,tah}$)
UTR	: Üstel regresyon bağıntısı kullanılarak bulunan basınç dayanımları ortalaması ($\bar{R}_{i,tah} = \sum R_{i,tah} / N$)
RU	: $\sum (R_i - \bar{R}) \cdot (R_{i,tah} - \bar{R}_{i,tah})$ (Üstel regresyon için)
RRU	: $\sum (R_{i,tah} - \bar{R}_{i,tah})^2$ (" " ")
SU	: $\sum (R_i - \bar{R})^2$ (" " ")
KRU	: Üstel regresyona ait korelasyon katsayısı

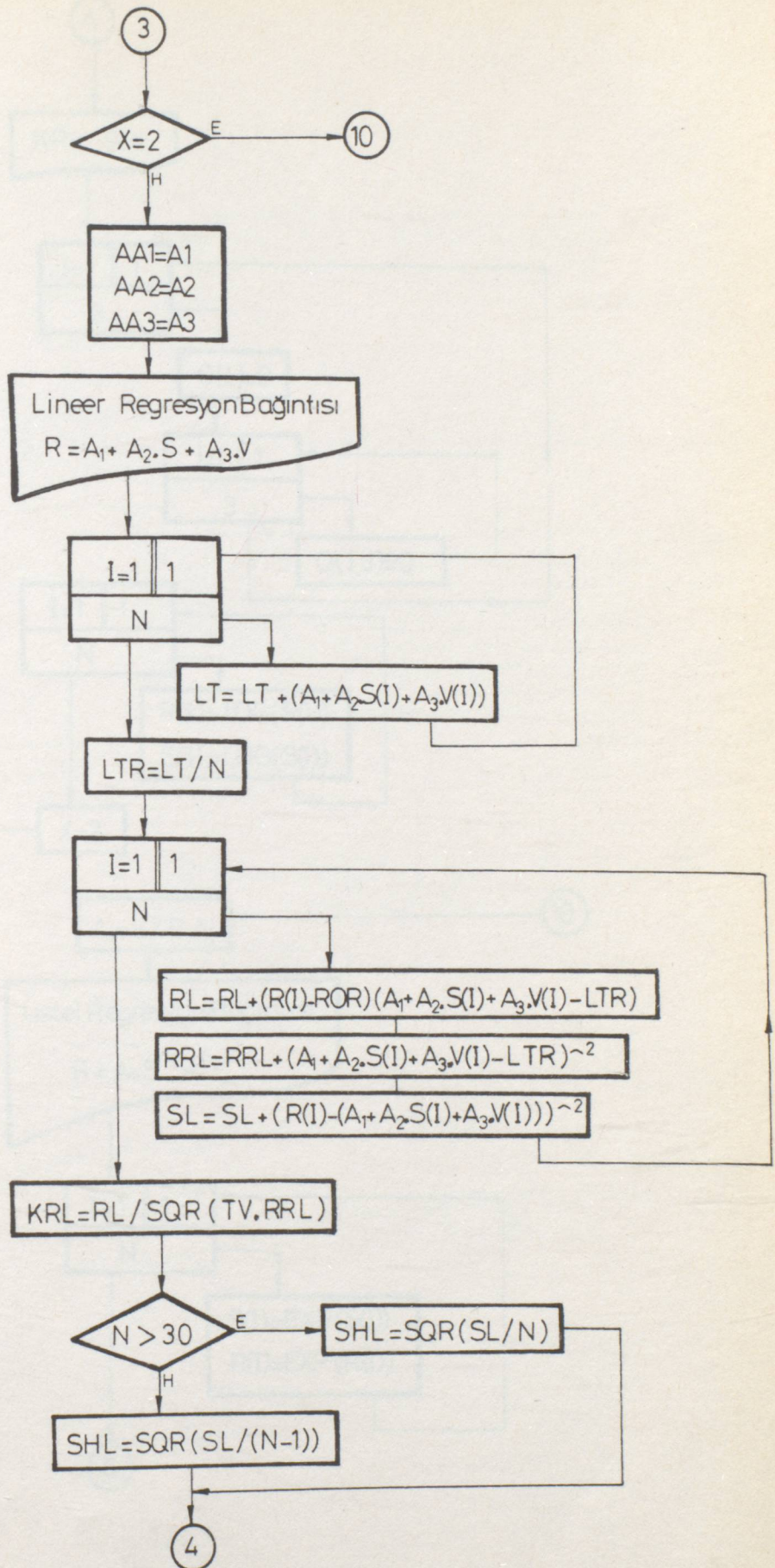
- SHU : Üstel regresyona ait tahminin standart hatası
- NY : Yapıda, beton basınç dayanımının belirlenmek istendiği nokta sayısı
- SS(NY) : Yapıda, beton basınç dayanımının belirlenmek istendiği noktalardaki Schmidt çekici okumaları
- VV(NY) : Yapıda, beton basınç dayanımının belirlenmek istendiği noktalardaki ultrases hızı okumaları
- RR : Regresyon bağıntısı yardımıyla bulunan ortalama basınç dayanımı(silindir)
- SD1 : Standart değer(%90 olasılığa karşı gelen)
- SD2 : " " (%95 " " ")
- P : Sayaç
- R90 : %90 olasılıkla basınç dayanımının alabileceği alt sınır değeri(silindir)
- R95 : %95 olasılıkla basınç dayanımının alabileceği alt sınır değeri(silindir)

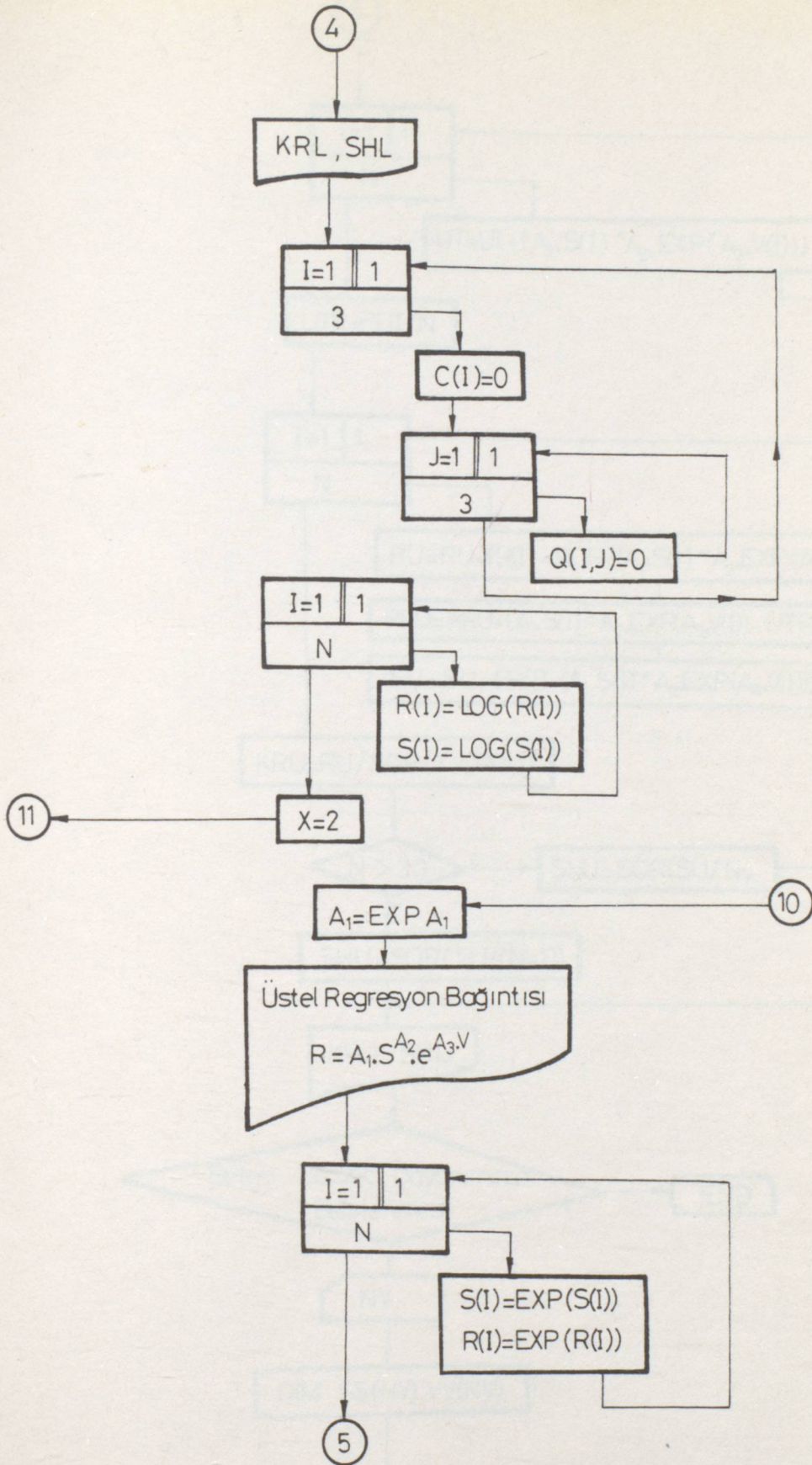
9.6. Akış Diyagramı

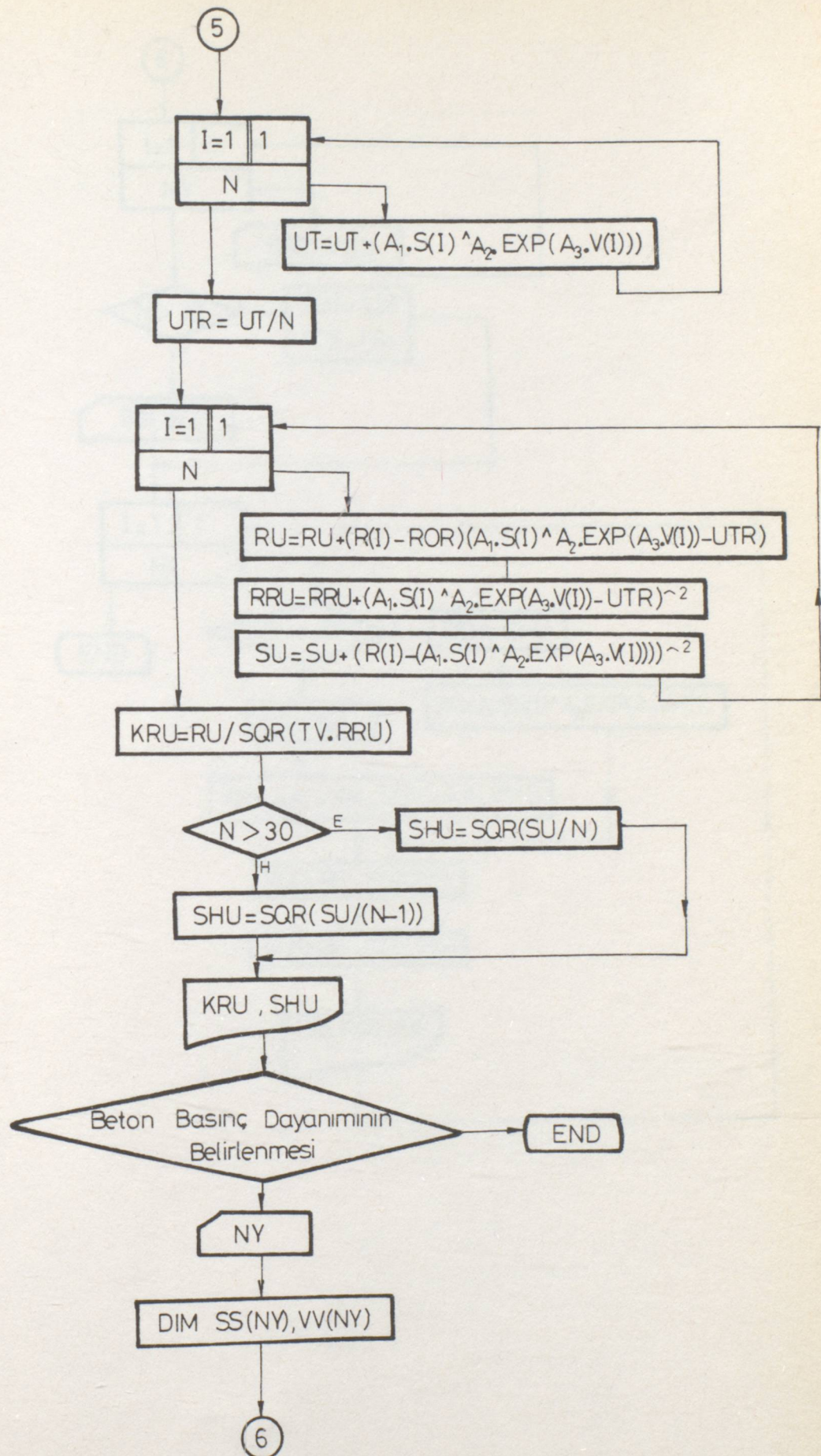


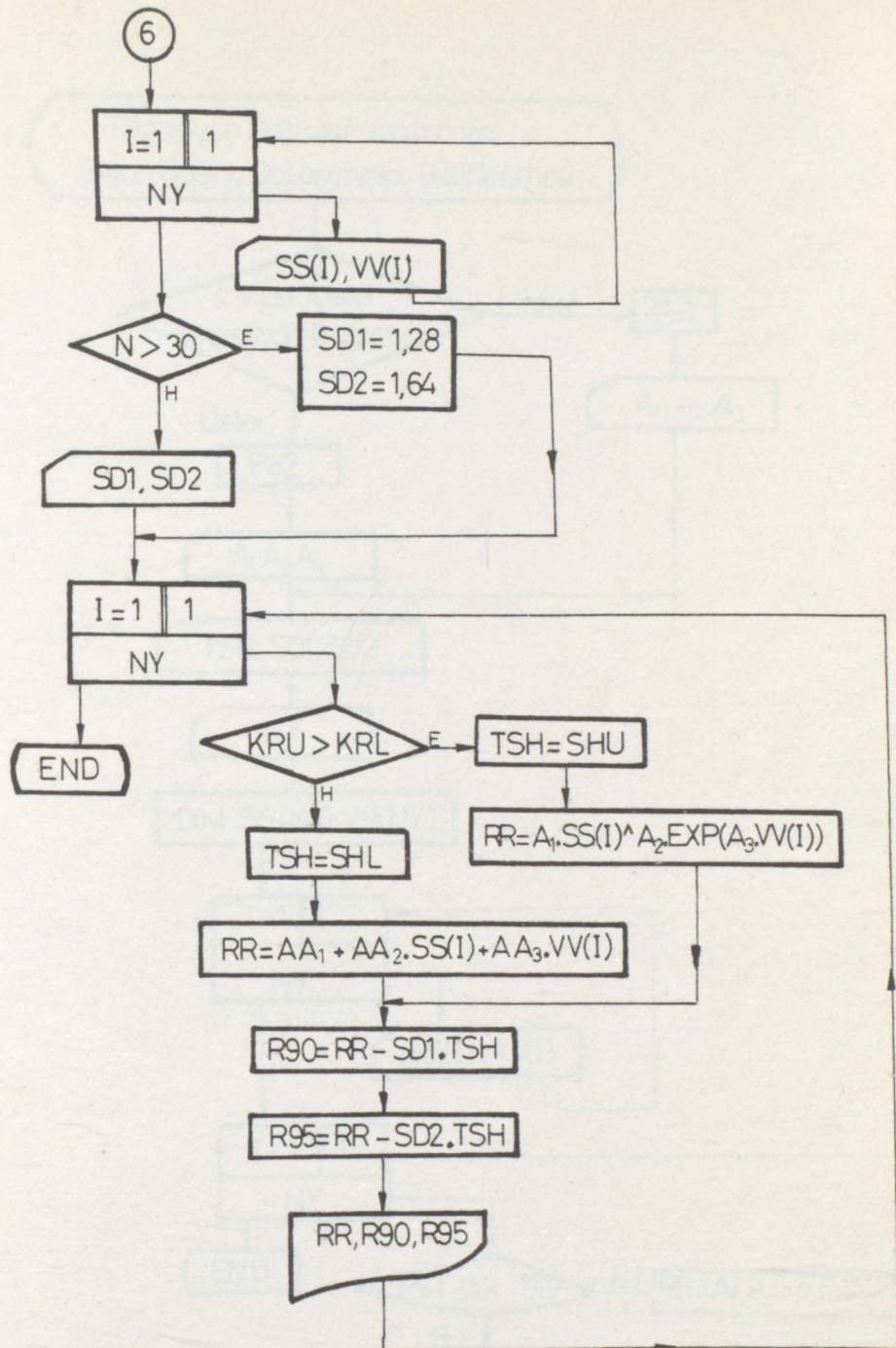


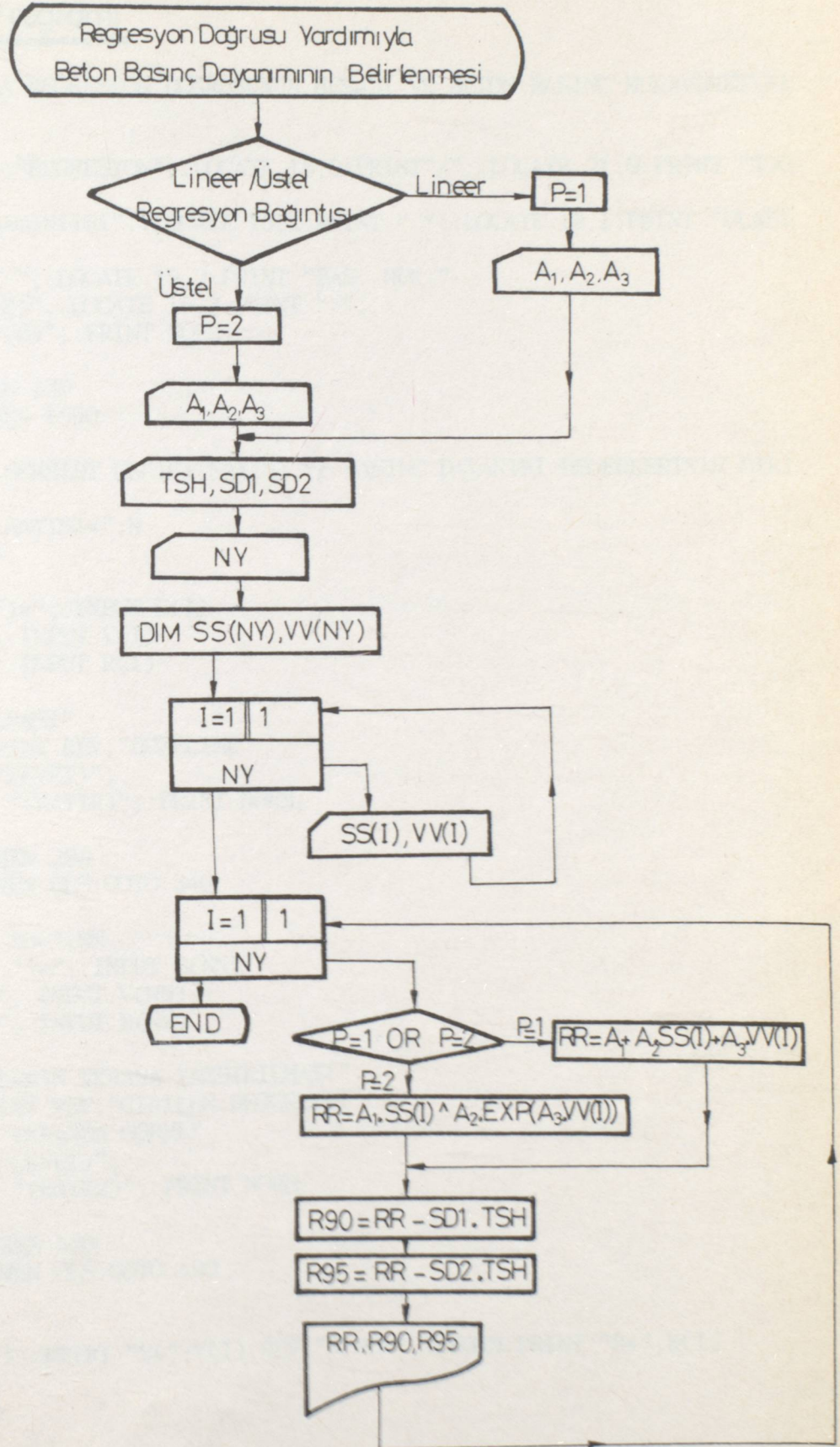












9.7. Bilgisayar Programı

```

10 REM"SONREB METODUYLA REGRESYON DOGRUSUNUN HESABI VE BETON BASINC MUKAVEMETINI
N BULUNMASTI"
20 CLS: CLEAR: ERASE
30 LOCATE 3,0: PRINTREV;"REGRESYON";: LOCATE 15,0: PRINT"/";: LOCATE 21,0: PRINT "%90
-95"
40 LOCATE 3,1: PRINT "BAGINTISI";: LOCATE 15,1: PRINT "/";: LOCATE 19,1: PRINT "OLASI
LIKLA"
50 LOCATE 15,2: PRINT "/";: LOCATE 19,2: PRINT "BAS. MUK."
60 LOCATE 3,3: PRINT "(R)";: LOCATE 15,3: PRINT "/";
70 LOCATE 26,3: PRINT "(B)";: PRINT NORM;
80 A$=INKEY$
90 IF A$=CHR$(252) THEN 130
100 IF A$=CHR$(255) THEN 1590
110 GOTO 80
120 REM"ULTRASON HIZI, SCHMIDT CEKICI SAYISI VE BASINC DAYANIMI DEGERLERININ GIRI
LMESI"
130 CLS: INPUT "NUMUNE SAYISI="; N
140 DIM S(N), V(N), R(N)
150 FOR I=1 TO N
160 CLS: PRINT "S("; I; ")=";: INPUT S(I)
170 PRINT "V("; I; ")=";: INPUT V(I)
180 PRINT "R("; I; ")=";: INPUT R(I)
190 NEXT I
200 REM"DUZELTME YAPILMASI"
210 CLS: LOCATE 12,1: PRINT REV;"DUZELTME"
220 LOCATE 3,3: PRINT "(EVET)";
230 LOCATE 22,3: PRINT "(HAYIR)";: PRINT NORM;
240 C$=INKEY$
250 IF C$=CHR$(252) THEN 280
260 IF C$=CHR$(255) THEN CLS: GOTO 340
270 GOTO 240
280 CLS: INPUT "NUMUNE NO="; NN
290 CLS: PRINT "S("; NN; ")=";: INPUT S(NN)
300 PRINT "V("; NN; ")=";: INPUT V(NN)
310 PRINT "R("; NN; ")=";: INPUT R(NN)
320 GOTO 210
330 REM"GIRILEN DEGERLERIN EKRANA YAZDIRILMASI"
340 CLS: LOCATE 7,0: PRINT REV;"GIRILEN DEGERLERI"
350 LOCATE 9,1: PRINT "EKRANDA GORME"
360 LOCATE 3,3: PRINT "(EVET)";
370 LOCATE 22,3: PRINT "(HAYIR)";: PRINT NORM;
380 C$=INKEY$
390 IF C$=CHR$(252) THEN 420
400 IF C$=CHR$(255) THEN CLS: GOTO 490
410 GOTO 380
420 FOR I=1 TO N
430 CLS: PRINT "S="; S(I): PRINT "V="; V(I); REV;"N.NO="; I; NORM: PRINT "R="; R(I)
440 Z$=INKEY$
450 IF Z$="" THEN 440

```

```

460 NEXT I
470 REM"DENKLEM TAKIMININ OLUSTURULMASI"
480 REM"LINEER REGRESYON ICIN DENKLEM TAKIMI"
490 DIM Q(3,3),C(3):X=1:Q(1,1)=N
500 FOR I= 1 TO N
510 Q(1,2)=Q(1,2)+S(I)
520 Q(1,3)=Q(1,3)+V(I)
530 Q(2,2)=Q(2,2)+S(I)^2
540 Q(2,3)=Q(2,3)+S(I)*V(I)
550 Q(3,3)=Q(3,3)+V(I)^2
560 NEXT I
570 Q(2,1)=Q(1,2):Q(3,1)=Q(1,3):Q(3,2)=Q(2,3)
580 REM"SABITLER VEKTORUNUN BELIRLENMESI"
590 FOR I=1 TO N
600 C(1)=C(1)+R(I)
610 C(2)=C(2)+R(I)*S(I)
620 C(3)=C(3)+R(I)*V(I)
630 NEXT I
640 IF X=2 THEN 710
650 REM"BASINC DAYANIMI DEGERLERININ ARITMATIK ORTALAMASI VE TOPLAM VARYASYONUN
HESAPLANMASI"
660 ROR=C(1)/N
670 FOR I=1 TO N
680 TV=TV+(R(I)-ROR)^2
690 NEXT I
700 REM"GAUSS-JORDAN YONTEMI ILE LINEER DENKLEM TAKIMININ COZUMU"
710 DIM A(3,4)
720 FOR I=1 TO 3
730 FOR J=1 TO 3
740 A(I,J)=Q(I,J)
750 NEXT J:NEXT I
760 A(1,4)=C(1):A(2,4)=C(2):A(3,4)=C(3)
770 FOR K=1 TO 3
780 IF K=3 THEN 860
790 A=A(K,K):M=K
800 FOR I=K+1 TO 3
810 IF A(I,K)>A THEN A=A(I,K):M=I
820 NEXT I
830 FOR J=K TO 4
840 B=A(K,J):A(K,J)=A(M,J):A(M,J)=B
850 NEXT J
860 IF A(K,K)<>0 THEN 880
870 CLS:PRINT "TEK COZUM YOK!":END
880 FOR I=1 TO 3
890 IF I=K THEN 930
900 FOR J=K+1 TO 4

```

```

910 A(I,J)=A(I,J)-A(K,J)*A(I,K)/A(K,K)
920 NEXT J
930 NEXT I
940 NEXT K
950 A1=A(1,4)/A(1,1)
960 A2=A(2,4)/A(2,2)
970 A3=A(3,4)/A(3,3)
980 IF X=2 THEN 1310
990 AA1=A1:AA2=A2:AA3=A3
1000 CLS:BEEP1:PRINT REV;"LINEER REGRESYON BAGINTISI";NORM:PRINT "R=";ROUND(A1,-
3);"+";ROUND(A2,-3);"*S+";ROUND(A3,-3);"*V"
1010 REM "LINEER REGRESYON ICIN KORELASYON KATSAYISI VE STANDART HATANIN BELIRLE
MESTI"
1020 FOR I=1 TO N
1030 LT=LT+(A1+A2*S(I)+A3*V(I))
1040 NEXT I
1050 LTR=LT/N
1060 FOR I=1 TO N
1070 RL=RL+(R(I)-ROR)*(A1+A2*S(I)+A3*V(I)-LTR)
1080 RRL=RRL+(A1+A2*S(I)+A3*V(I)-LTR)^2
1090 SL=SL+(R(I)-(A1+A2*S(I)+A3*V(I)))^2
1100 NEXT I
1110 KRL=RL/SQR(TV*RRL)
1120 IF N>30 THEN SHL=SQR(SL/N) ELSE SHL=SQR(SL/(N-1))
1130 PRINT USING "r=###.###";KRL;
1140 PRINT CHR$(209);:PRINT USING "=###.###";SHL
1150 Z$=INKEY$
1160 IF Z$="" THEN 1150
1170 FOR I=1 TO 3
1180 C(I)=0
1190 FOR J=1 TO 3
1200 Q(I,J)=0
1210 NEXT J:NEXT I
1220 REM"USTEL REGRESYON ICIN DENKLEM TAKIMI"
1230 FOR I=1 TO N
1240 R(I)=LOG(R(I))
1250 S(I)=LOG(S(I))
1260 NEXT I
1270 X=2
1280 GOTO 500
1290 REM"USTEL REGRESYONA AIT KORELASYON KATSAYISI VE STANDART HATANIN BELIRLEN
MESTI"
1300 A1=EXPA1
1310 CLS:BEEP 1:PRINT REV;"USTEL REGRESYON BAGINTISI";NORM:PRINT "R=";ROUND(A1,-
5);"*S^";ROUND(A2,-3);"*e^";ROUND(A3,-3);".V"
1320 FOR I=1 TO N
1330 S(I)=EXP(S(I))
1340 R(I)=EXP(R(I))
1350 NEXT I

```

```

1360 FOR I=1 TO N
1370 UT=UT+(A1*S(I)^A2*EXP(A3*V(I)))
1380 NEXT I
1390 UTR=UT/N
1400 FOR I=1 TO N
1410 RU=RU+(R(I)-ROR)*(A1*S(I)^A2*EXP(A3*V(I))-UTR)
1420 RRU=RRU+(A1*S(I)^A2*EXP(A3*V(I))-UTR)^2
1430 SU=SU+(R(I)-(A1*S(I)^A2*EXP(A3*V(I))))^2
1440 NEXT I
1450 KRU=RU/SQR(TV*RRU)
1460 IF N>30 THEN SHU=SQR(SU/N) ELSE SHU=SQR(SU/(N-1))
1470 PRINT USING "r=#.### ";KRU;
1480 PRINT CHR$(209);:PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT PRINT PRIN
T PRINT USING USING USING USING USING USING "=#.##";SHU
1490 Z$=INKEY$
1500 IF Z$="" THEN 1490
1510 CLS:LOCATE 8,0:PRINT REV;"BASINC MUKAVEMETI"
1520 LOCATE 13,1:PRINT "OLCUMU"
1530 LOCATE 3,3:PRINT "(EVET)";
1540 LOCATE 22,3:PRINT "(HAYIR)";:PRINT NORM;
1550 B$=INKEY$
1560 IF B$=CHR$(252) THEN 1590
1570 IF B$=CHR$(255) THEN CLS:END
1580 GOTO 1550
1590 ERASE:CLS
1600 IF A$=CHR$(255) THEN GOSUB 2240
1610 CLS:INPUT "NUMUNE SAYISI=";NY
1620 DIM SS(NY),VV(NY)
1630 FOR I=1 TO NY
1640 CLS:PRINT "S(";I;")=";:INPUT SS(I)
1650 PRINT "V(";I;")=";:INPUT VV(I)
1660 NEXT I
1670 REM"DUZELTME YAPILMASI"
1680 CLS:LOCATE 12,1:PRINT REV;"DUZELTME"
1690 LOCATE 3,3:PRINT "(EVET)";
1700 LOCATE 22,3:PRINT "(HAYIR)";:PRINT NORM;
1710 C$=INKEY$
1720 IF C$=CHR$(252) THEN 1750
1730 IF C$=CHR$(255) THEN CLS:GOTO 1790
1740 GOTO 1710
1750 CLS:INPUT "NUMUNE NO=";NN
1760 CLS:PRINT "S(";NN;")=";:INPUT SS(NN)
1770 PRINT "V(";NN;")=";:INPUT VV(NN)
1780 GOTO 1680
1790 GOSUB 1980
1800 IF A$=CHR$(255) THEN 2120 ELSE 1810

```

```

1810 IF N>30 THEN SD1=1.28:SD2=1.64:GOTO 1850 ELSE 1820
1820 CLS:INPUT "t degeri(%90)=";SD1
1830 INPUT "t degeri(%95)=";SD2
1840 REM"KORELASYON KATSAYISI BUYUK OLAN REGRESYONA AIT %90 CE %95 OLASILIKLA BA
SJNC MUKAVEMETININ BELJRILENMESTI"
1850 FOR I=1 TO NY
1860 IF KRU>KRL THEN TSH=SHU ELSE TSH=SHL
1870 IF KRU>KRI THEN RR=A1*SS(I)^A2*EXP(A3*VV(I)) ELSE RR=AA1+AA2*SS(I)+AA3*VV(I
)
1880 R90=RR-SD1*TSH
1890 R95=RR-SD2*TSH
1900 CLS:PRINT "Rort=";ROUND(RR,-3);"kgf/cm2/"
1910 PRINT "%90R=";ROUND(R90,-3);"kgf/cm2/";:PRINT REV;"N.NO=";I;NORM
1920 PRINT "%95R=";ROUND(R95,-3);"kgf/cm2/"
1930 Z$=INKEY$
1940 IF Z$="" THEN 1930
1950 NEXT I
1960 CLEAR:ERASE:END
1970 REM"GIRILEN DEGERLERIN EKRANA YAZDIRILMASI"
1980 CLS:LOCATE 7,0:PRINTREV;"GIRILEN DEGERLERI"
1990 LOCATE 9,1:PRINT "EKRANDA GORME"
2000 LOCATE 3,3:PRINT "(EVET)";
2010 LOCATE 22,3:PRINT "(HAYIR)";:PRINT NORM;
2020 C$=INKEY$
2030 IF C$=CHR$(252) THEN 2060
2040 IF C$=CHR$(255) THEN RETURN
2050 GOTO 2020
2060 FOR J=1 TO NY
2070 CLS:PRINT "S=";SS(J):PRINT "V=";VV(J);REV;"N.NO=";J;NORM
2080 Z$=INKEY$
2090 IF Z$="" THEN 2080
2100 NEXT J
2110 RETURN
2120 FOR J=1 TO NY
2130 IF P=1 THEN RR=A1+A2*SS(I)+A3*VV(I)
2140 IF P=2 THEN RR=A1*SS(I)^A2*EXP(A3*VV(I))
2150 R90=RR-SD1*TSH
2160 R95=RR-SD2*TSH
2170 CLS:PRINT "Rort=";ROUND(RR,-3);"kgf/cm2/"
2180 PRINT "%90R=";ROUND(R90,-3);"kgf/cm2/";:PRINT REV;"N.NO=";I;NORM
2190 PRINT "%95R=";ROUND(R95,-3);"kgf/cm2/"
2200 Z$=INKEY$
2210 IF Z$="" THEN 2200
2220 NEXT I
2230 CLEAR:ERASE:END
2240 CLS:LOCATE 6,1:PRINT REV;"REGRESYON BAGINTISI"
2250 LOCATE 3,3:PRINT "(LINEER)";

```

```
2260 LOCATE 22,3:PRINT "(USTEL)";:PRINT NORM;  
2270 C$=INKEY$  
2280 IF C$=CHR$(252) THEN P=1:GOTO 2310  
2290 IF C$=CHR$(255) THEN P=2:GOTO 2320  
2300 GOTO 2270  
2310 CLS:INPUT "A1=";A1:INPUT "A2=";A2:INPUT "A3=";A3:GOTO 2330  
2320 CLS:INPUT "A1=";A1:INPUT "A2=";A2:INPUT "A3=";A3  
2330 CLS:INPUT "STANDART HATA=";TSH  
2340 INPUT "STANDART DEGER(%90)=";SD1  
2350 INPUT "STANDART DEGER(%95)=";SD2  
2360 RETURN
```

10. YIKINTISIZ BETON DENETİMİ ÜZERİNE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALAR

10.1. Yaklaşım Yöntemleri

Yıkıntısız denetim yöntemleriyle gerçek dayanımı daha iyi belirlemek için, farklı yöntemlerin birlikte kullanıldığı açıklanmıştır. Bunlardan Schmidt çekici ve ultrasonik yöntemin, birlikte kullanıldıklarında beton basınç dayanımının tahmininde oldukça yüksek bir yaklaşım sağladıkları da bilinmektedir. Bu sebepten dolayı, yapılan çalışmaların çoğu bu iki yöntemin birlikte kullanılmasıyla dayanımı belirlemeye yöneliktir. Bu konuda çalışan araştırmacılar ve önerdikleri bağıntılar aşağıda kısaca anlatılmıştır.

Hollanda yapı araştırma kurumunca (CUR-18) aşağıdaki formül önerilmiştir(6).

$$\log R = 0,01149.S + 0,3794.V + 0,4332 \quad (10.1)$$

R : Beton küp basınç dayanımı (kgf/cm²)

S : Schmidt çekici değeri

V : Ultrases hızı (km/sn)

Bu tür bir başka formülasyon Faccaoru tarafından geliştirilmiştir ve Şekil 10.1'de gösterilen abak önerilmiştir. Karşılaştırma amacıyla aynı abak üzerine CUR-18 formülünden elde edilen grafik değerler de kısmen çizilmiştir. Faccaoru'nun abakları parametrik bir denklemle aşağıdaki şekilde ifade edilebilir(6,14).

$$\log R = 0,0238.S + 0,417.V - 0,000631.R \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (10.2)$$

Bu denklemden R'nin çözümü pratik değildir. Betonun basınç dayanımı için 250 kgf/cm² değerini ortalama bir değer kabul edersek bu ifadeyi daha basitleştirebiliriz(6).

$$\log R = 0,0238.S + 0,417.V - 0,16 \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (10.3)$$

(10.3) ifadesi düşük dayanımlı betonları daha düşük, yüksek dayanımlı betonları daha yüksek değerlendirmektedir.

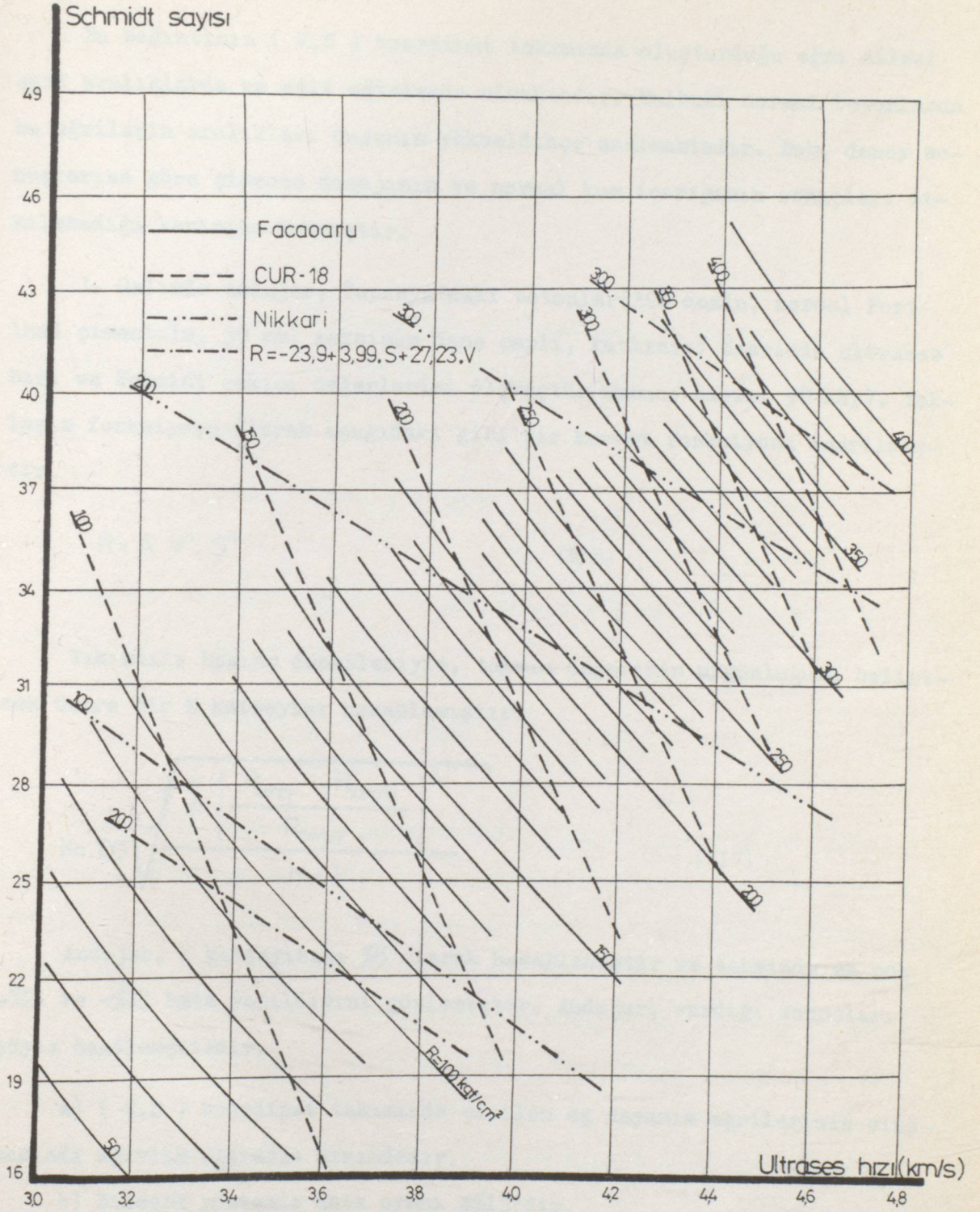
Finlandiya'da Nikkari tarafından yapılan beton dayanımı ile ultrases hızı ve geri tepme sayısı arasındaki ilişkilerin saptanması " Rebultra Metodu " olarak adlandırılmıştır. Araştırma yapılan beton numuneler, Portland çimentosu ve yuvarlak agregaya kullanılarak üretilmişlerdir. Deney neticelerine dayanarak, basınç dayanımı ile geri tepme sayısı ve ultrases hızı arasında aşağıdaki bağıntı önerilmiştir(7,16).

$$R = \frac{1}{2} \left[102 - \sqrt{11,5^2 + \left[\frac{1}{2} \sqrt{(40.V - 280)^2 - (4.S - 252)^2} - 182 \right]^2} \right] \quad (\text{N/mm}^2) \quad (10.4)$$

Bu bağıntıdan yararlanarak çizilen abaklar, Facaoaru'nun abaklarıyla karşılaştırılmışlardır(Şekil 10.1). Sonuçların Facaoaru'nun abaklarına nazaran daha yatık çıktığı gözlenmiştir.

Bob, Schmidt çekici sayısı ve ultrases hızının ölçülmesinden oluşan bileşik yöntemi hafif betonlar üzerinde uygulamıştır. Araştırmada çimento dozajı, normal kum içeriği ve en iri dane boyutu değişken olarak ele alınmıştır. Sonuçta hafif agregalı betonlar için aşağıdaki bağıntı bulunmuştur(7,15).

$$R = 65.S + 155.V - 555 \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad (10.5)$$



Sekil 10.1. Beton basınç dayanımının ultras ses hızı ve Schmidt sayısı ile ifadesi

Bu bağıntının (V,S) koordinat takımında oluşturduğu eğri ailesi eşit aralıklarda ve eşit eğimlerde olmaktadır. Halbuki normal betonlarda bu eğrilerin aralıkları dayanım yükseldikçe azalmaktadır. Bob, deney sonuçlarına göre çimento dozajının ve normal kum içeriğinin sonuçları etkilemediği kanısına varmıştır.

J. Galindo Andujer, İspanya'daki betonlar(300 dozlu, normal Portland çimentolu, 30 mm. maksimum dane çaplı, katkısız) üzerinde ultrases hızı ve Schmidt çekici değerlerini ölçmüştür(numune sayısı 90 küp). Yaklaşım fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi bir kuvvet fonksiyonu önerilmiştir.

$$R = A.V^n.S^m \quad (10.6)$$

Yıkıntılı basınç deneyleriyle, tahmin değerinin uygunluğunu belirtmek üzere bir K katsayısı hesaplamıştır.

$$K = 100 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \left[\frac{R_{\text{deney}} - R_{\text{tahmin}}}{R_{\text{deney}}} \right]^2}{N-1}} \quad (10.7)$$

Andujer, K katsayısını %8 olarak hesaplamıştır ve tahminde en çok +%21 ve -%17 hata yapıldığını gözlemiştir. Andujer, vardığı sonuçları şöyle özetlemektedir.

- (V,S) koordinat takımında çizilen eş dayanım eğrilerinin oluşmasında ağırlık ultrases hızındadır.
- Bileşik yöntemde hata oranı %15'dir.
- Yaş, saklama koşulları, su/çimento oranı gibi parametrelerin bileşik yöntemlere etkileri tam olarak ortaya çıkarılmış değildir.

Bellander, bitmiş yapıdaki beton dayanımını saptamak üzere geliştirdiği kriterde karot numune çıkarmakla birlikte ultrases hızı, Schmidt

çekici sayısı ve bu ikisinden oluşan bileşik yöntemi incelemiştir. Deneysel sonuçlara göre, standart numuneler üzerindeki dayanımla yapı üzerindeki dayanım arasında aşağıdaki bağıntıyı bulmuştur(7,18).

$$R_{\text{yapı}} = 1,11 \cdot R_{\text{standart}}^{0,942} \quad (10.8)$$

Yapıdaki ve numune üzerindeki ultrases hızı ve Schmidt çekici sayılarının eşit olduğu kabul edilmiş ve korelasyon bağıntısı olarak aşağıdaki bağıntı önerilmiştir.

$$R_{\text{standart}} = 0,00082 \cdot S^3 + 11,03 \cdot V - 32,7 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (10.9)$$

Böylece yapıdaki dayanım, yıkıntısız ölçüm sonuçlarına göre aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R_{\text{yapı}} = 1,11 \cdot (0,00082 \cdot S^3 + 11,03 \cdot V - 32,7)^{0,92} \quad (\text{N/mm}^2) \quad (10.10)$$

Maynink ve Samarin, Avustralya'daki 4 büyük bina üzerinde ultrases hızı ve Schmidt çekici ölçümünden oluşan bileşik yöntem ile yerinde karot çıkarılması yöntemini karşılaştırmışlardır. Bunun için daha önce geliştirdikleri katlı korelasyon denklemini kullanmışlardır. Bu denklemin 1 haftadan yaşlı ve 3 aydan genç betonlar için geçerli olduğunu, silindirik dayanımını verdiğini, 300 numune üzerindeki deney sonuçlarına göre korelasyon katsayısının 0,95 olduğunu söylemektedirler. Numuneler nemli ortamda saklanmışlardır. Kullanılan denklem aşağıdaki gibidir(7,19).

$$R = -24,1 + 124 \cdot S + 0,058 \cdot V^4 \quad (\text{N/mm}^2) \quad (10.11)$$

Sonuçta bu yöntemin, inşaattaki özel beton tipine uygun bir korelasyon bağıntısının kurulmuş olması halinde ve bazı sınırlandırmaların

dikkate alınması koşuluyla kullanılabileceği kanısına varmışlardır. Bu sınırlandırmalar şunlardır:

- a) Korelasyonun sağlandığı deney numunelerinin yüzey durumu ile yerindeki beton yüzeyi arasında fark olması,
- b) Deney numuneleri(silindir) ile yerindeki beton arasında nem farklılığı olması,
- c) Ultrases hızının ölçülmesi sırasında, ölçme yapılan doğrultu üzerinde donatı çeliğinin bulunmaması.

Postacıoğlu B., bir deneme olmak üzere, Feret dayanım formülünden esinlenerek şu yöntemi önermiştir(8):

Betonun bileşimine bağlı olarak dayanımını veren Feret formülü K bir katsayı olmak üzere aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$R = K \left[\frac{C}{1 + C - \lambda} \right]^2 \quad (10.12)$$

Burada (C), 1 m³ yerine dökülmüş betonda çimentonun(hidratasyon yapmamış) m³ cinsinden işgal ettiği gerçek hacmini göstermektedir. (λ) ise betonun döküldüğü andaki kompasitesidir. (C) betonun kohezyonunu sağlayan bir büyüklüktür ve dolayısıyla S ile ilgilidir. Kompasitenin ise V ile birlikte değişen bir büyüklük olduğu bilinmektedir. Bu açıklamadan sonra, dayanım S ve V cinsinden aşağıdaki gibi bir şekilde ifade edilebilir.

$$R = \left[\frac{S}{n_1 + n_0 S + n_2 V} \right]^2 \quad (10.13)$$

Bu bağıntıda yer alan n₀, n₁ ve n₂ katsayıları en küçük kareler metodu yardımıyla kolayca bulunabilir.

10.2. Ultrases Hızı Üzerine Bir Araştırma

İTÜ malzeme laboratuvarında gerçekleştirilen bu araştırmada, aynı bileşime sahip olarak üretilen betonlar 3-280 gün yaşları arasında iken deneylere tabi tutularak bunların basınç dayanımları ve ultrases hızları bulunmuştur. Araştırmada biri iri agregası kırmataş diğeri doğal agrega (çakıl) olmak üzere iki tür beton üretilmiştir. Bu betonların karakteristikleri Çizelge 10.1'de verilmiştir(8).

İri agregası	Kırmataş betonu	Çakıl betonu
Çimento dozajı	313 kg	326 kg
Su/çimento oranı	0,49	0,40
Çökme(cm)	0	0
VEBE(sn)	9-12,5	7-9
Birim ağırlık(kg/dm ³)	2,38-2,40	2,43-2,45
Kompasite	0,805-0,815	0,857

Çizelge 10.1

Bu betonlardan üretilen bir kenarı 20 cm olan küp şeklindeki numuneler üzerinde, 3-280 gün yaşları arasında yapılan basınç dayanımı ve ultrases hızı ölçüm sonuçları Çizelge 10.2'de verilmiştir.

Bu deney sonuçlarının incelenmesinden şu sonuçları çıkarabiliriz:

a) Betonun yaşı ne olursa olsun çakıl betonlarına ait ultrases hızları kırmataş betonlarına ait ultrases hızlarından daha büyük değerler almaktadır. Çünkü, çakıl betonların kompasitesi(0,857), kırmataş betonlarının kompasitesinden(0,815) belirgin ölçüde büyüktür.

b) Çakıl betonlarına ait ultrases hızlarının daha büyük değerler almasına rağmen basınç dayanımları, kırmataş betonlarının basınç dayanımlarından daha küçük değerler almaktadır. Bu durum, kırmataş betonla-

Betonun yaşı (gün)	Kırmataş betonu		Çakıl betonu	
	V (km/sn)	R (kgf/cm ³)	V (km/sn)	R (kgf/cm ³)
3	4,58	230	4,767	222
7	4,79	267	5,000	260
14	4,81	294	4,895	287
28	4,80	343	5,04	337
56	4,84	339	5,065	346
84	4,81	326	5,11	363
112	4,83	-	5,08	370
168	4,92	374		
224	4,84	372		
280		373		

Çizelge 10.2

rında çimento hamuru ile agrega arasında iyi bir kenetlenme olmasından ileri gelmektedir. Buradan, ultrases hızının büyük değerler almasının beton basınç dayanımının daha yüksek olmasını her zaman gerektirmediği sonucu çıkarılabilir.

c) Ultrases hızının betonun yaşına göre ne şekilde bir değişme gösterdiği incelenirse, bu karakteristik değerde 14. günden itibaren önemli bir artış olmadığı görülmüştür. Buna karşılık betonun basınç dayanımı zamanla artmaya devam etmektedir. Bir oran vermek gerekirse, kırmataş betonlarında 14-168 günleri arasında basınç dayanımı %27'lik bir artış göstermiştir. Bu oran çakıl betonlarında %29'dur. Bilindiği gibi dayanımdaki bu artış çimentonun hidrasyonunun zamanla devam etmesinden ileri gelmektedir.

Kısaca özetlemek gerekirse, Betondaki ultrases hızının kompozite ile birlikte artmasına karşılık, çimentonun hidrasyonunun zamanla gelişmesinin bu karakteristik değer üzerinde belirgin bir etkisi yoktur.

10.3. Schmidt Çekici Sayısı ve Ultrases Hızı Üzerine Bir Araştırma

İTÜ malzeme laboratuvarında gerçekleştirilen bu araştırmada, aynı malzemeyi kullanmak suretiyle A,B ve K sembolleriyle gösterilen 3 tip beton üretilmiştir. Bu betonların karakteristikleri Çizelge 10.3'de verilmiştir(8).

Beton	A	B	K
Çimento dozajı	300	301	284
Su/çimento oranı	0,58	0,56	0,53
Çökme(cm)	1	1	0
VEBE(sn)	6	6	14
Birim ağırlık(kg/dm ³)	2,426	2,414	2,200
Kompasite	0,82	0,82	0,750

Çizelge 10.3

A,B ve K betonlarından üretilen bir kenarı 20 cm'lik küp şeklindeki numuneler üzerinde yapılan Schmidt çekici, ultrases hızı ve basınç dayanımı ölçüm sonuçları Çizelge 10.4'de verilmiştir.

Bu deney sonuçlarının incelenmesinde şu sonuçları çıkarabiliriz:

a) K betonunun kompasitesi daha küçük olduğundan bu betonun ultrases hızı A ve B betonlarına ait ultrases hızlarından daha küçük değerler almaktadır.

b) Ultrases hızının betonun yaşı ile birlikte artışında 14. günden itibaren önemli bir değişme olmadığı görülmektedir.

c) Schmidt çekici değerleri her üç betonda zamanla devamlı bir şekilde artmaktadır, diğer bir deyişle Schmidt çekici değerleri, çimento-nun hidratasyonu sonucu oluşan basınç dayanımındaki artış oranına paralel bir şekilde artmaktadır. Buradan, Schmidt çekici değerinin çimento-nun hidratasyonuna karşı duyarlı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Betonun yaşı (gün)	A betonu			B betonu			K betonu		
	V (km/sn)	S	R (kgf/cm ²)	V (km/sn)	S	R (kgf/cm ²)	V (km/sn)	S	R (kgf/cm ²)
3	4,68	22,6	-	4,78	25,6	-	4,59	22,2	-
7	4,98	29,2	233	4,87	28,7	253	4,89	28,5	187
14	5,13	30,1	-	4,87	31,0	-	4,69	29,3	-
21	4,91	32,2	-	5,19	32,0	-	4,87	30,9	-
28	5,16	32,9	316	5,06	33,0	315	4,93	32,8	216
42	4,91	33,8	-	5,40	36,0	-	4,80	32,4	-
56	4,95	37,0	368	5,04	35,8	368	4,75	35,3	226

Çizelge 10.4

d) K betonunun kompasitesi daha düşük ve bu nedenle daha fazla boşluk içermesine rağmen bu betonun sertliği A ve B betonlarınınkinden daha düşük değildir. Buradan Schmidt çekici değerinin betonun kompasitesine karşı duyarlı bir karakteristik değer olmadığı anlaşılmaktadır.

10.4. Beton Yaşının Ultrases Hızı ve Basınç Dayanımına Etkisi Üzerine Bir Araştırma

İTÜ malzeme laboratuvarında yapılan bu çalışmada 1 yıl süreyle şantiyelerden getirilen küp numuneler üzerinde ultrases hızı ve basınç dayanımı ölçümleri yapılmıştır. Betonlar yaşlarına göre 3 gruba ayrılmışlardır. Bunlar 7, 28 günlük ve 1 yıldan eski numunelerden oluşan gruplardır.

Ultrases hızı - basınç dayanımı arasındaki bağıntılar, istatistiksel yöntemle kuvvet fonksiyonları olarak elde edilmişlerdir. Bu bağıntılar aşağıda gösterilmişlerdir(6).

7 günlük betonlar için:

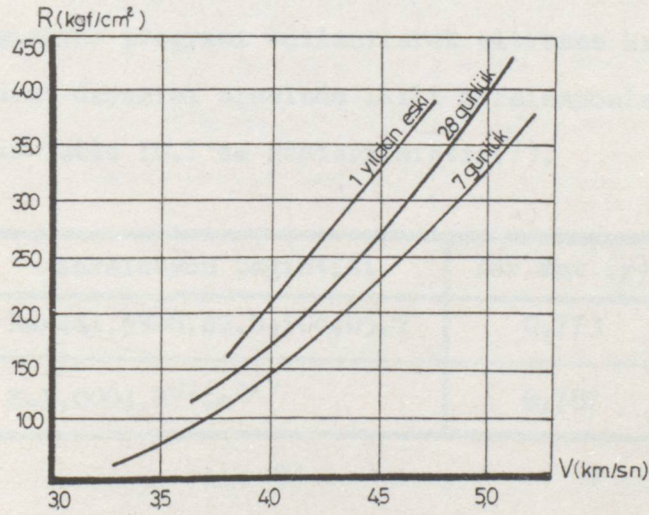
$$R = 2,62.V^3 + 11.V^2 - 76.V + 100 \quad (r=0,833) \quad (10.14)$$

28 günlük betonlar için:

$$R = 13,42.V^3 - 94,4.V^2 + 271.V - 260 \quad (r=0,797) \quad (10.15)$$

1 yıldan eski betonlar için:

$$R = 0,2.V^2 + 244.V - 776 \quad (r=0,704) \quad (10.16)$$



Şekil 10.2 Ultrases hızı-basınç dayanımı bağıntısına beton yaşının etkisi

Şekil 10.2'de (10.14, 15, 16) analitik ifadeleri grafik olarak çizilmiştir. Görüldüğü gibi beton yaşı, ultrases hızı-basınç dayanımı bağıntısını etkilemektedir. Her üç eğrinin birbirlerinden ayrı oldukları görülmektedir. 7 ve 28 günlük eğriler arasındaki fark, aradan geçen zaman dikkate alınırsa, 28 günlük ve 1 yıldan eski betonların eğrilerinin farkına oranla fazladır. Bu olay daha önce açıklandığı gibi çimentonun hidratasyonu ile ilgilidir.

Betonun yaşı dikkate alınmadan, ortalama bir eğri olan 28 günlük betonlara ait olan formülün uygulanması(10.15) genç betonları daha yüksek, yaşlı betonları ise daha düşük değerlendirecektir.

10.5. Schmidt Çekici ve Ultrases Hızı Ölçümleri Yardımıyla Basınç Dayanımının Belirlenmesi

İTÜ malzeme laboratuvarında farklı amaçlar için üretilmiş kum+kırma-taş bileşimli, 20 cm kenarlı, 68 adet numuneye ait ultrases hızları ve Schmidt çekici sayıları ölçülmüş, basınç dayanımları bulunmuştur. Sonuçlar Ek 3'de tablo halinde verilmiştir. Deney sonuçları yardımıyla, hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak ultrases hızı, Schmidt çekici sayısı ve basınç dayanımı arasında ikili korelasyonlar kurulmuştur. Bulunan sonuçlar Tablo 10.1'de gösterilmiştir(7).

	Korelasyon bağıntısı	Kor.kat.(r)	Stan.hata(\bar{v})
Lineer	$R=-441,59+8,42.S+106,05.V$	0,773	54,45
Üstel	$R=1,0003.S^{1,12}.e^{0,4.V}$	0,787	53,35

Tablo 10.1

Görüldüğü gibi bu araştırma için üstel korelasyon bağıntısı daha uygun olmaktadır. Çünkü korelasyon katsayısının bu hal için hesaplanan değeri($r=0,787$), lineer korelasyon bağıntısınıninkine($r=0,773$) oranla daha yüksek çıkmaktadır.

Korelasyon bağıntıları incelenirse ultrases hızının bu değerlendirilmede daha etkin olduğu söylenebilir. Örneğin üstel korelasyon bağıntısı kullanıldığında, ölçülen ultrases hızlarının ortalaması $V=4,40$ km/sn için Schmidt çekici sayısının 20'den 40'a çıkması halinde basınç dayanımı

%117 artarken, ölçülen Schmidt çekici sayısı ortalaması $S=30$ için ve ultrases hızının $2,5 \text{ km/sn'den } 5 \text{ km/sn'ye}$ çıkması halinde basınç dayanımı %172 artmaktadır.

10.6. Ultrases Hızı ve Schmidt Çekici Sayısı ile Basınç Dayanımı Arasındaki Bağıntılarda Numune Nem Durumunun Etkisi

Bu çalışmanın amacı, basınç dayanımı deneyi yapıldığı andaki beton neminin, basınç dayanımı ile ultrases hızı ve Schmidt geri tepme sayısı üzerine olan etkisini incelemektir.

Bu amaçla İTÜ malzeme laboratuvarında 4 farklı dozajda, 6'şar adet olmak üzere, 20 cm kenarlı 24 tane küp şeklinde numune üretilmiştir. Üretilen numune betonlara katkı maddesi katılmamıştır. Basınç dayanımı deneyi yapılan güne kadar numune betonların 12 adedi (her dozajdan 3'er tane) havada, geri kalan 12 adedi de suda saklanmıştır. 28. günde bu betonlar üzerinde ultrases hızı ve Schmidt çekici sayıları ölçülmüş, basınç dayanımları bulunmuştur. Ölçülen değerler Ek 4'de tablo halinde verilmiştir(7).

Deney sonuçları yardımıyla, hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak, ultrases hızı, Schmidt çekici sayısı ve basınç dayanımı arasında ikili korelasyonlar kurulmuştur. Bulunan sonuçlar Tablo 10.2'de gösterilmiştir.

		Korelasyon bağıntısı	Kor.kat.(r)	Stan.hata(\bar{v})
Havada saklanan, düşük su içerikli	Lineer	$R = -501,56 + 12,19.S + 92,37.V$	0,828	25,09
	Üstel	$R = 1.S^{129} \cdot e^{0,28.V}$	0,831	24,95
Suda saklanan, yüksek su içerikli	Lineer	$R = -667,9 + 8,49.S + 154,06.V$	0,938	17,92
	Üstel	$R = 0,9995.S^{105} \cdot e^{0,45.V}$	0,939	19,58

Tablo 10.2

Tablodan da görüldüğü gibi havada ve suda saklanan numuneler için üstel türde korelasyon bağıntıları daha uygun çıkmıştır. Çünkü korelasyon katsayısının bu hal için hesaplanan değeri, lineer korelasyon bağıntısı için hesaplananlara oranla daha büyük çıkmıştır.

Yine tablodan görüleceği gibi, suda saklanan numunelerin korelasyon katsayıları, havada saklanan numunelerin korelasyon katsayılarından daha büyüktür. Bu da su içindeki numunelerde daha homojen bir yapının oluştuğunu göstermektedir. Su içeriği, özellikle yapılar üzerinde yağmur sonrası yıkıntısız deneylerde önem taşımaktadır.

10.7. Çimento Türünün Belirli Olması Durumunda Korelasyonda

Sağlanan Güvenilirliğin Araştırılması

Bu çalışmada, çimento türünün bilinmesi durumunda ultrases hızı, Schmidt çekici sayısı ve basınç dayanımı arasında, hazırlanan bilgisayar programı yardımıyla ikili korelasyonlar kurulmuştur.

Bu amaçla İTÜ malzeme laboratuvarında aynı çimento ile (Aslan fabrikası, normal Portland) üretilmiş 31 adet ve yine laboratuvarında farklı çimentolarla B160 betonu amaçlanarak üretilmiş 31 adet 28 günlük küp numuneler üzerinde ultrases hızları, Schmidt çekici sayıları ölçülmüş ve basınç dayanımları bulunmuştur. Deney sonuçları Ek 5'de verilmiştir. Bu deney sonuçları yardımıyla bulunan korelasyon bağıntıları Tablo 10.3'de gösterilmiştir(7).

Tablodan da görüldüğü gibi çimento türünün belirli olması durumunda üstel, belirsiz olması durumunda lineer korelasyon bağıntısı daha uygun olmaktadır. Fakat bu araştırmada esas göze çarpan nokta şudur:

Çimento türünün belirli olması durumunda korelasyon katsayıları, belirsiz olması durumundaki korelasyon katsayılarına oranla %30 daha büyük çıkmışlardır. Bu durum inşaat süresince yapılan kontrollerde, çimentonun değişmesi halinin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

		Korelasyon bağıntısı	Kor.kat.(r)	Stan.hata(\bar{v})
Çimentö türü belirli	Lineer	$R=-606,4+15,4.S+85,1.V$	0,892	34,16
	Üstel	$R=1,0011.S^{124}.e^{028.V}$	0,898	35,24
Çimentö türü belir- siz	Lineer	$R=-133,77+4,93.S+48,97.V$	0,700	21,11
	Üstel	$R=0,9988.S^{130}.e^{023.V}$	0,671	23,79

Tablo 10.3

10.8. Yangın Görmüş Bir Binada Hasar Saptama Çalışmaları ve Programın Uygulanması

1975 yılında büyük bir yangında yanan, yaklaşık 30.000 m² inşaat alanlı bir betonarme karkas binanın betonlarında yangının etkisini araştırmak üzere yıkıntısız deneylerden yararlanılmıştır(7).

29 noktadan alınan 60x60x12 cm'lik numuneler kesilerek 70 prizma elde edilmiştir. Bunlar üzerinde ultrases hızları ve Schmidt çekici sayıları ölçüldükten sonra basınç dayanımları bulunmuş ve sonuçlar Ek 6'da tablo halinde verilmiştir. Deney sonuçları yardımıyla, hazırlanan bilgisayar programı kullanılarak ultrases hızı, Schmidt çekici sayısı ve basınç dayanımı arasında ikili korelasyonlar kurulmuş ve sonuçlar Tablo 10.4'de verilmiştir. Ayrıca Postacıoğlu B.'in önerdiği (10.13) bağıntısı da en küçük kareler metodu yardımıyla hesaplanmış ve aynı tabloda gösterilmiştir.

Tablodan da görüldüğü gibi, bu araştırmada lineer korelasyon bağıntısı daha uygun çıkmıştır. Çünkü lineer korelasyon katsayısı ($r=0,506$), diğer ikisinden daha büyüktür. Postacıoğlu B.'in önerdiği bağıntıya ait korelasyon katsayısı oldukça küçük çıkmıştır. Tabii bu sonuç, sadece bu araştırma için geçerlidir ve bu bağıntının her zaman uygun olmayacağını göstermez.

	Korelasyon bağıntısı	Kor.kat.(r)	Stan.hata(\sqrt{v})
Lineer	$R=-23,9+3,99.S+37,23.V$	0,506	40,26
Üstel	$R=0,9953.S^{139}.e^{027.V}$	0,489	43,11
Postacıoğlu	$R=\left[\frac{S}{0,81+0,06.S-0,18.V}\right]^2$	0,385	0,01

Tablo 10.4

Daha iyi yaklaşım sağlayan lineer korelasyon bağıntısı esas alınarak, 30 noktada bina kolonlarında yapılan ultrases hızı ve Schmidt çekici ölçümlerine karşı gelen basınç dayanımları ve %90-95 olasılıkla basınç dayanımının alt sınır değerleri hesaplanmış ve Ek 7'de tablo halinde verilmiştir.

Lineer korelasyon bağıntısı, diğer araştırmacılarınkıyla karşılaştırma yapmak amacıyla Şekil 10.1'de grafik olarak gösterilmiştir. Sonuçların birbirlerinden bir hayli farkettileri görülmüştür. Facaoaru, abaklarını referans bir beton türü için geliştirmiş, sonra bileşim faktörlerinde oluşacak farklılıklar için (çimento türü, dozajı, beton nemi vb.) düzeltme çarpanları kullanılmasını önermiştir. Fakat bu çarpanları seçmek, bunların değerlerine karar vermek büyük hatalara sebep olabilir. Eğrilerin farklı eğimlerde olması, ötelemeden ayrı olarak bir rotasyon uygulamasının da zorunlu olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak şunu söyleyebiliriz:

Belirli abakları her özel durum için kullanmak yerine, yeni bir korelasyon araştırmak ve gerekiyorsa yeni abaklar çizmek tercih edilmelidir.

11. SONUÇLAR

1) Çeşitli nedenlerle, betonarme yapılarda beton dayanımının tahmin edilmesi gerekmektedir. Bu gereksinim yapının bir bölümü veya tümü için sözkonusu olmakta ve yapıdaki betonu temsil edecek yeterli sayıda numune bulunmaması halinde yıkıntısız denetim yöntemlerinin uygulanması kaçınılmaz olmaktadır.

2) Yüzey sertliği yöntemleri sadece yüzeydeki 2-3 cm'lik tabaka hakkında bilgi vermektedirler. Eğer yüzeydeki beton kalitesi ile derinlikteki beton kalitesi farklı ise yapılan ölçüm sonuçları gerçeği yansıtmaz. Yüzey sertliği yöntemleri tek başlarına basınç dayanımı tahmininde kullanıldığında büyük hatalara neden olabilirler.

3) Schmidt çekici sayısı(S), çimentonun hidratasyonu hakkında güvenilir bilgiler vermektedir. (S)'in büyük değerler alması, çimentonun hidratasyonunun normal koşullar içinde geliştiğini ve çimento hamurunun beklenen dayanıma sahip olduğunu gösterir. (S)'in küçük değerler alması durumunda ise beton üretiminde kullanılan çimentoda bir bozukluk olduğunu gösterir. Ayrıca yeni dökülen betonun donma olayına maruz kalması halinde (S) büyük değerler almaz. (S)'in küçük değerler alması halinde, betonun dayanımının da büyük olması beklenemez.

4) Kompozitenin, Schmidt çekici sayısı üzerine herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

5) Ultrasonik yöntem ile beton içindeki boşlukların varlığı, çatlak derinliği ve diğer hataların belirlenmesi mümkün olmakta, fakat bu yöntem de tek başına basınç dayanımı tahmininde kullanıldığında büyük hatalara neden olabilmektedir.

6) Betondaki ultrases hızı, kompozite ile artan karakteristik bir değerdir. Çimentonun hidratasyonunun ise bu karakteristik değer üzerinde belirgin bir etkisi yoktur. Bir betonda ultrases hızının düşük çıkması,

betonun içinde boşluk miktarının fazla olduğunu ve bir takım çatlaklar bulunduğunu ortaya koyar.

7) Yıkıntısız ölçüm sonuçları betonun bileşenlerinden, üretim biçiminden, yaşı, saklama koşulları, su içeriği, boyutları, karbonatlaşma düzeyi, donatı durumu gibi faktörlerden önemli ölçüde etkilenir. Belirli bir yapıdaki çimento türü, dozajı, agrega türü, betonun su içeriği gibi değişkenler biliniyorsa, düzeltme çarpanları ve toplam düzeltme çarpanı hesaplanır. Referans betona ait bağıntı kullanılarak elde edilen dayanımlar, bu çarpan uygulanarak düzeltilir, düzeltilmiş tahmini dayanım değeri bulunur. Fakat bu çarpanları seçmek ve değerlerine karar vermek büyük hatalara sebep olabilir.

8) Bileşik yıkıntısız beton denetimi yardımıyla beton dayanımının belirlenmesi için yapılan çalışmaların çoğu, ultrasonik yöntem ve Schmidt çekici yönteminin birlikte kullanılması esasına dayanmaktadır.

9) Ultrases hızı kompasiteye, Schmidt çekici sayısı da hidrasyona karşı duyarlı karakteristik değerlerdir. Bu sebeble, bu iki yöntem birlikte uygulandıklarında, biri diğerinin hatalarını azaltıcı veya eksiklerini tamamlayıcı olduğundan sadece birinin uygulanmasına göre daha az tahmin hatası olacağı söylenebilir.

10) Geliştirilen bilgisayar programı aracılığıyla, yapıdan alınacak yeterli sayıda karot numune üzerinde ultrases hızları, geri tepme sayıları ve karot numunelerin basınç dayanımları bulunarak, ultrases hızı ve geri tepme sayısı arasında lineer ve üstel türde iki tip regresyon bağıntısı belirlemek mümkündür. Daha sonra yapının istenilen noktalarında ultrases hızı ve geri tepme sayıları ölçülerek, bu bağıntılar yardımıyla basınç dayanımı tahmin edilebilir.

11) Belirli analitik bağıntıları veya abakları her özel durum için kullanmak yerine, yeni bir korelasyon bağıntısı araştırmak ve gerekiyorsa buna dayanarak yeni abaklar çizmek daha akılcı bir yoldur.

12) Yıkıntısız denetimler çoğunlukla, sağlamlık konusunda ortaya çıkan hukuki anlaşmazlıklarda veya hasar görmüş yapılarda uygulanmaktadır. Halbuki son Erzincan depremi(1992) göstermiştir ki yapılarımız istenilen dayanıma sahip değildirler. Bu depremde hayati önem taşıyan yapılar bile (hastane, okul vb.) yıkılmışlardır. Olası bir şiddetli deprem, ülkemizde telafisi mümkün olmayan tahribatlara sebep olabilir. Bu nedenle öncelikle büyük şehirlerden başlayarak hayati önem taşıyan yapılar, yerinde denetime tabi tutulmalı ve bundan sonra yapının geleceği hakkında karar verilmelidir. Eğer yapının takviyesi gerekiyorsa derhal takviye edilmeli, işletilmesinde sakınca varsa yapı derhal boşaltılmalıdır.

Bu nedenlerle, üretim aşamasından başlayarak yıkıntılı denetim yöntemleriyle birlikte yıkıntısız denetim yöntemlerinin de yaygınlaştırılması, özellikle deprem bölgesinde yapılacak yapılarda çok faydalı olacaktır.

EK 1

NORMAL EĞRİ ALANLARI (12)

Alan $z = \frac{x}{\sigma}$ (ortalamadan z'ye kadar)		Alan $z = \frac{x}{\sigma}$ (ortalamadan z'ye kadar)		Alan $z = \frac{x}{\sigma}$ (ortalamadan z'ye kadar)		Alan $z = \frac{x}{\sigma}$ (ortalamadan z'ye kadar)	
.00	0.0000	1.40	0.4192	1.96	0.4750	2.46	0.4931
.05	0.0199	1.45	0.4265	1.97	0.4756	2.48	0.4934
.10	0.0398	1.50	0.4332	1.98	0.4761	2.50	0.4938
.15	0.0596	1.52	0.4357	1.99	0.4767	2.52	0.4941
.20	0.0793	1.54	0.4382	2.00	0.4772	2.54	0.4945
.25	0.0987	1.56	0.4406	2.01	0.4778	2.56	0.4948
.30	0.1179	1.58	0.4429	2.02	0.4783	2.58	0.4951
.35	0.1368	1.60	0.4452	2.04	0.4793	2.60	0.4953
.40	0.1554	1.62	0.4474	2.06	0.4803	2.62	0.4956
.45	0.1736	1.64	0.4495	2.08	0.4812	2.64	0.4959
.50	0.1915	1.66	0.4515	2.10	0.4821	2.66	0.4961
.55	0.2088	1.68	0.4535	2.12	0.4830	2.68	0.4963
.60	0.2257	1.70	0.4554	2.14	0.4838	2.70	0.4965
.65	0.2422	1.72	0.4573	2.16	0.4846	2.72	0.4967
.70	0.2580	1.74	0.4591	2.18	0.4854	2.74	0.4969
.75	0.2734	1.76	0.4708	2.20	0.4861	2.76	0.4971
.80	0.2881	1.78	0.4625	2.22	0.4868	2.78	0.4973
.85	0.3023	1.80	0.4641	2.24	0.4875	2.80	0.4974
.90	0.3159	1.82	0.4656	2.26	0.4881	2.82	0.4976
.95	0.3289	1.84	0.4671	2.28	0.4887	2.84	0.4977
1.00	0.3413	1.86	0.4686	2.30	0.4893	2.86	0.4979
1.05	0.3531	1.88	0.4699	2.32	0.4898	2.88	0.4980
1.10	0.3643	1.90	0.4713	2.34	0.4904	2.90	0.4981
1.15	0.3749	1.91	0.4719	2.36	0.4909	2.92	0.4983
1.20	0.3849	1.92	0.4726	2.38	0.4913	2.94	0.4984
1.25	0.3944	1.93	0.4732	2.40	0.4918	2.96	0.4985
1.30	0.4032	1.94	0.4738	2.42	0.4922	2.98	0.4986
1.35	0.4115	1.95	0.4744	2.44	0.4927	3.00	0.4987

EK 2

KRİTİK t DEĞERLERİ TABLOSU (12)

Serbestlik Derecesi	İki yönlü sınamalardaki güven düzeyi					
	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	31.598
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.850
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.646
Sonsuz	1.282	1.645	1.960	2.326	2.756	3.291

EK 3 : Farklı Amaçlar İçin Laboratuarda Üretilmiş
Küp Numuneler Üzerinde Yapılan Yıkıntılı ve
Yıkıntısız Deney Ölçümleri(7)

Numune No	Küp Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı ort. (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)
1	285	29	4,35
2	287	31	4,30
3	292	30	4,35
4	267	29	4,19
5	86	20	4,19
6	87	20	4,24
7	85	20	4,38
8	325	31	4,46
9	174	24	4,35
10	173	23	4,12
11	296	31	4,44
12	204	32	4,55
13	200	30	3,92
14	178	28	3,77
15	240	20	4,65
16	242	21	4,88
17	308	28	4,76
18	299	31	4,76
19	317	31	4,88
20	276	31	4,65
21	238	30	4,65
22	259	28	4,65
23	154	22	3,41
24	147	24	3,42
25	131	23	3,00
26	351	31	4,35
27	340	32	4,35
28	329	32	4,44
29	411	35	4,76
30	455	36	4,76
31	452	36	4,65
32	142	22	3,92
33	329	31	4,62
34	340	29	4,60

Numune No	Küp Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı ort. (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)
35	306	30	4,60
36	322	30	4,83
37	357	29	4,67
38	324	28	4,79
39	310	31	4,19
40	313	33	4,59
41	271	32	4,70
42	333	32	4,67
43	233	36	4,30
44	169	34	4,17
45	126	40	4,19
46	383	33	5,03
47	445	36	5,05
48	403	34	5,20
49	226	22	4,08
50	230	29	4,08
51	213	25	4,26
52	308	29	4,26
53	335	27	4,26
54	339	30	4,26
55	282	28	4,47
56	350	36	4,57
57	307	32	4,57
58	240	28	4,12
59	204	29	4,10
60	217	28	3,94
61	255	27	4,00
62	184	28	4,46
63	325	31	4,76
64	347	31	4,67
65	320	33	4,73
66	327	33	4,70
67	317	30	4,70
68	342	31	4,87

EK 4 : Beton Su İçeriği ve Saklama Koşullarının Etkisini Araştırmak Üzere Yapılan Yıkıntılı ve Yıkıntısız Ölçüm Sonuçları

Dozaj (kg/m ³)	Havada saklanan ve düşük su içerikli numuneler			Suda saklanan ve yüksek su içerikli numuneler		
	Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)	Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)
250	264	31	4,25	314	33	4,59
	278	31	4,29	309	31	4,55
	257	32	4,34	300	32	4,58
290	268	31	4,30	280	32	4,51
	262	32	4,57	308	33	4,53
	272	31	4,23	304	33	4,52
342	272	31	4,32	365	34	4,54
	307	31	4,28	353	37	4,57
	307	32	4,52	333	37	4,62
396	368	38	4,54	411	39	4,81
	360	33	4,57	407	40	4,84
	378	35	4,64	440	41	4,87

EK 5 : Çimento Türünün Belirli veya Belirsiz Olmasının Dayanım-Yıkıntısız Deney Sonuçları Arasındaki Bağantılara Etkisini Araştırmak Üzere Yapılan Yıkıntılı ve Yıkıntısız Deney Ölçümleri

Numune No	Çimento Türü Belirli Numunelerde			Çimento Türü Belirsiz Numunelerde		
	Küp Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)	Küp Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)
1	272	34,0	4,75	259	29,2	4,52
2	237	29,0	4,72	182	24,9	4,43
3	247	31,0	4,74	205	27,3	4,42
4	318	29,9	4,32	232	30,2	4,49
5	263	31,1	4,27	170	23,7	3,78
6	290	33,1	4,41	178	25,2	3,85
7	299	33,9	4,46	172	25,1	3,80
8	296	31,7	4,48	219	31,0	4,04
9	305	31,0	4,45	241	30,5	4,01
10	219	31,2	4,44	244	32,7	4,01
11	222	29,5	4,50	197	30,0	4,19
12	236	31,4	4,52	189	29,5	4,27
13	340	32,9	5,02	201	31,0	4,26
14	344	33,5	4,98	209	30,6	4,93
15	335	33,0	5,08	244	29,2	4,89
16	461	38,3	5,32	246	28,2	4,72
17	443	37,2	5,36	255	30,1	4,51
18	456	36,0	5,22	243	25,0	4,70
19	202	27,7	4,57	301	30,5	4,65
20	202	28,5	4,51	273	30,3	4,71
21	178	30,0	4,60	250	28,9	4,70
22	258	30,8	4,71	227	29,4	4,23
23	259	29,9	4,55	231	29,8	4,29
24	214	30,5	4,57	226	31,4	4,37
25	309	32,2	4,89	223	30,4	4,29
26	305	32,7	4,79	251	32,4	4,67
27	337	33,8	4,88	238	29,6	4,66
28	401	38,2	5,02	239	28,5	4,69
29	356	39,2	4,96	223	28,5	4,45
30	411	39,6	4,90	221	31,1	4,37
31	244	30,1	4,75	210	31,0	4,52

EK 6 : Yangın Hasarı Görmüş Binadan Çıkarılan Numuneler Üzerinde Yapılan Yıkıntılı ve Yıkıntısız Deney Ölçümleri (7)

Num. No	Küp Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)	Num. No	Küp Basınç Dayanımı (R) (kgf/cm ²)	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)
1	159	20,7	3,68	36	149	20,7	3,76
2	206	20,5	2,99	37	177	21,2	3,55
3	218	22,3	4,04	38	140	21,4	1,63
4	209	20,0	3,43	39	218	24,7	3,45
5	223	23,7	3,41	40	156	26,5	2,42
6	154	21,0	3,14	41	211	25,2	2,38
7	230	20,3	3,56	42	201	25,2	2,59
8	180	21,3	2,89	43	252	28,8	2,53
9	247	24,0	2,74	44	184	22,5	3,04
10	178	19,8	3,46	45	208	23,8	3,26
11	187	26,5	3,21	46	200	23,2	2,80
12	164	20,4	3,04	47	118	26,6	2,39
13	300	28,1	3,26	48	189	22,5	2,70
14	217	30,8	2,61	49	127	20,5	2,82
15	213	27,9	2,99	50	152	21,4	2,31
16	219	21,1	3,11	51	243	23,5	2,95
17	164	21,8	3,74	52	176	24,4	2,86
18	142	26,5	3,19	53	148	21,2	2,42
19	180	21,7	2,61	54	164	20,7	3,42
20	181	22,3	3,61	55	122	21,4	2,05
21	119	19,6	2,05	56	153	21,1	2,60
22	154	22,9	2,70	57	135	26,9	2,55
23	126	22,6	1,67	58	190	27,2	2,30
24	316	26,8	3,87	59	153	23,3	1,85
25	135	26,4	2,13	60	180	26,3	2,50
26	135	19,7	2,94	61	221	28,3	2,55
27	91	32,0	2,07	62	153	18,7	1,85
28	65	25,0	3,37	63	166	26,7	2,06
29	56	24,9	2,34	64	204	20,2	2,37
30	207	24,0	2,51	65	94	16,0	1,98
31	135	19,5	2,51	66	175	23,2	1,98
32	138	23,4	2,13	67	166	25,6	3,25
33	138	25,3	2,62	68	182	24,3	2,67
34	141	24,6	1,90	69	127	24,0	1,97
35	120	20,3	2,47	70	167	26,6	2,81

EK 7 : Yangın Hasarı Görmüş Bina Kolonlarında Ölçülen Yıkıntısız
Deney Sonuçları ve Bunlara Karşı Gelen Tahmini Basınç
Dayanımları(7)

Numune No	Schmidt sayısı (S)	Ultrases hızı (V) (km/sn)	Tahmini Basınç Dayanımları (kgf/cm ²)		
			R _{ort.}	%90R	%95R
1	27,9	1,85	156	106	91
2	34,1	3,46	241	191	176
3	31,3	2,71	202	152	137
4	29,3	2,91	201	151	137
5	32,0	2,15	184	133	119
6	37,2	1,85	194	143	129
7	33,5	2,50	203	153	138
8	37,7	3,34	251	201	186
9	33,1	1,48	163	113	99
10	36,1	2,60	217	167	152
11	28,5	2,13	169	119	104
12	27,9	1,23	133	83	68
13	32,2	1,49	160	110	95
14	33,2	1,36	159	109	94
15	31,4	1,33	151	101	86
16	36,7	2,19	204	154	139
17	37,1	2,97	235	185	170
18	36,5	2,98	233	183	168
19	31,6	2,95	212	162	147
20	31,9	2,57	199	149	134
21	30,2	1,30	145	95	80
22	25,4	1,42	130	80	65
23	30,5	1,29	146	95	81
24	30,5	1,69	161	110	96
25	32,4	3,98	254	203	189
26	36,9	3,32	247	197	182
27	32,3	2,87	212	162	147
28	30,1	2,58	192	142	127
29	30,5	2,79	202	151	137
30	34,8	2,99	227	176	162

KAYNAKLAR

- 1) BS 4408, Part 5, Measurement of the velocity of ultrasonic pulses in concrete, British Standart Institution, 1974
- 2) BS 4408, Part 4, Surface hardness methods, Non-destructive methods of test for concrete, British Standart Institution, 1971
- 3) Teoderu, G.V., The use of simultaneous non-destructive tests to predict the compressive strength of concrete, Non-destructive Testing, The Symposium on Non-destructive Standarts, 1976
- 4) Krautkramer J.-Krautkramer H., Physical principles of ultrasonic testing of materials, Ultrasonic testing of materials, 1969
- 5) Akman, M. Süheyl-Sevim, İ., Ses Hızı ve Geri Töpme Bileşik Yıkıntısız Denetim Yöntemiyle Beton Mukavemetinin Saptanmasında Faktörler, Tübitak, İzmir 1981
- 6) Akman, M. Süheyl-Taşdemir, M. Ali, Ultrasonik ölçmelerle beton mukavemetinin belirlenmesi, Yapı Araştırma Kurumu Dergisi, Sayı 1, Ocak 1977
- 7) Sevim, İ., Bileşik Yıkıntısız Beton Denetimi Üzerine Bir Çalışma, İTÜ İnşaat Fakültesi, M.M.L.S. diploma tezi, 1979
- 8) Postacıoğlu, B., Betonun yerinde yapılan muayene sonuçlarının değer-sonuçlarının değerlendirilmesi, İTÜ Malzeme Seminerleri, 1982
- 9) Kocataşkın, F., Yapı Mühendislerine Malzeme Bilimi, İTÜ, 1980
- 10) Ang, A.H.-S., and Tang, W.H., Probability Concepts in Engineering Planning and Design, V.I., Basic Principles, Wiley, New York, 1975
- 11) ASTM, Part 11, Standart Recommended Practice For Measuring Ultrasonic Velocity in Materials, 1976

- 12) İstatistik, Çeviren: Yrd.Doç.Dr. F. Şeniş, Anadolu Üniversitesi Açık-öğretim Fakültesi, Cilt 1,2,3
- 13) Özden, N., Tahribatsız Muayeneler ve Gelişme İstatistikleri, Tübitak, 1972
- 14) Făcaoaru, I., Popescu, P., Stamate, Gh., Tannenbaum, M. -Quality Control of Concrete in Prestressed Elements by Non-Destructive Testing Methods- Incerc, Romania, Bucharest, 1970
- 15) Bob, C. - Ultrasonic Pulse and Surface Hardness Methods for Lightweight aggregate Concrete- RILEM, II nd Inter.Symp.Constanza,1974, Vol. III, s. 159-167
- 16) Nikkari, K. -On the use of Rebultra Method in Finland- 43 CND Committee RILEM, Stockholm, 1979(özel baskı)
- 17) Galindo Andujar, J. - Developments on the introduction of combined non-destructive method for testing concrete in Spain- Paper presented to 2 nd meeting of the RILEM comission 43 CND at Stockholm,1979
- 18) Bellander, U. - NTD testing methods for estimating compressive strength in finished structures- Evaluation of Accuracy and testing system- RILEM, Int. Symp. on quality control of concrete structures, Stockholm, 1979, Vol. I, s. 121-125
- 19) Meynink, P., Samarin, A. -Assessment of Compressive Strength of concrete by cylinders, cones, and non-destructive tests, RILEM, Int. Symp. on quality control of concrete structures, Stockholm, Vol. I, s. 127-134



