

46957

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİLEŞİK YIKINTISIZ BETON DENEYLERİ İLE
BETON MUKAVEMETİNİN BELİRLENMESİ
VE
BETONARME BİR YAPIDA UYGULANMASI

İnş. Müh. İsa YÜKSEL

F.B.E. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Bilim Dalında
Hazırlanan

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof. H. İlhan BERKTAY

YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
MANTASYON MERKEZİ

İSTANBUL, 1995

İÇİNDEKİLER

ÖZET

SUMMARY

1. GİRİŞ	1
1.1. Bileşik Yıkıntısız Beton Denetiminin Amacı	1
1.2. Betonun Yerinde Denetim İhtiyacı	1
1.3. Kalite Kontrolünde Bileşik Yıkıntısız Beton Deneyleri ve Standardizasyon	3
2. YÜZEY SERTLİĞİ YÖNTEMLERİ	5
2.1. Schmidt Çekici	5
2.1.1. Aletin Tanıtımı ve Çeşitleri	5
2.1.2. Kullanıldığı Yerler	8
2.1.3. Deney Yapılacak Noktaların Seçimi	9
2.1.4. Denenecek Yüzeyin Hazırlanması	9
2.1.5. Ölçüm Yapılması ve Sonuçların Değerlendirilmesi	10
2.1.6. Sonuçları Etkileyen Faktörler	17
2.1.6.1. Çimento Cinsi	17
2.1.6.2. Çimento Miktarı	17
2.1.6.3. Agrega Tipi	17
2.1.6.4. Yüzey Tipi	17
2.1.6.5. Yüzeydeki Nem Durumu	18
2.1.6.6. Karbonatlaşma	18
2.1.6.7. Priz Alma Oranı	18
2.1.6.8. Kür Cinsi	18
2.1.6.9. Sıkıştırma	18
2.1.6.10. Diğer Faktörler	18
2.1.7. Kalibrasyon	19
2.2. Prob Penetrasyonu	19
3. ULTRASONİK YÖNTEM	23
3.1. Yöntemin Temel İlkeleri	23
3.2. Kullanıldığı Yerler	23
3.3. Ultrases Geçiş Hızını Etkileyen Faktörler	24
3.3.1. Çimento	24
3.3.2. Agrega	25
3.3.3. Nem Miktarı	29

3.3.4. Kür Şartları	29
3.3.5. Yüzey Koşulları	29
3.3.6. Katkı Maddeleri	30
3.3.7. Geçiş Yolu Uzunluğu	30
3.3.8. Betonun Yaşı-Olgunluk	30
3.3.9. Donatı Çeliği Etkisi	31
3.4. Ultrasonik Deney Cihazı	36
3.4.1. Aletin Özellikleri	36
3.4.2. Kalibrasyon Kontrolü	37
3.4.3. Problemlerin Yerleştirilmesi	38
3.4.4. Ölçüm Yapılması	40
4. PULLOUT (ÇEKİP-ÇIKARMA) YÖNTEMİ	42
5. RADYOAKTİF YÖNTEMLER	46
6. BİLEŞİK YIKINTISIZ YÖNTEMLER	48
6.1. Bileşik Yıkıntısız Yöntem Çalışmaları	48
6.2. Yıkıntısız Metotların Kombinasyonu	51
6.3. Referans Beton Eş-Dayanım Eğrilerinin Oluşturulması	52
6.4. Bileşik Yıkıntısız Yöntemlerde Etki Katsayıları	53
6.5. Yaşlı ve Kompozisyonu Bilinmeyen Betonlarda Bileşik Yıkıntısız Deneyler	55
6.6. Bileşik Yıkıntısız Yöntemlerde Bilgisayar Destekli Değerlendirme	56
7. BİLEŞİK YIKINTISIZ BETON DENEYLERİ UYGULAMALARI	57
7.1. Laboratuvar Çalışmaları	57
7.1.1. Küp Numunelerin Hazırlanması ve Bakımı	57
7.1.2. Küp Numunelerin Yıkıntısız ve Yıkıntılı Deneyleri	58
7.2. Test Yapısı Üzerinde Uygulama	61
7.2.1. Deney Noktalarının Tespiti	61
7.2.2. Deneye Hazırlık	62
7.2.3. Yıkıntısız Deneylerin Yapılması	64
7.2.4. Karot Numune Alınması ve Deneye Hazırlanması	65
7.3. Özel Kalibrasyon (Eş-Dayanım) Eğrilerinin Çizilmesi	68
7.4. Yapıda Beton Dayanımının Bulunması	69
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	77
KAYNAKLAR	80
EKLER	84
E1. Bilgisayar Programı	84

E1.1. Programın Kullanılabileceği Yerler	84
E1.2. Programın Özellikleri	84
E1.3. Programın Kullanılması	85
E1.4. Akış şeması	88
E1.5. Program	94
E2. Düzeltme Katsayıları Ve Düzeltmiş Değerler	105
E3. Katlarda Ultrases Geçiş Hızı ve Schmidt Çekici Okumaları	106



NOTASYON

- A** : Çatlayan Yüzey Alanı (mm^2)
- a** : Donatı ile Prob arasındaki en kısa uzaklık
- C_{\emptyset}** : Maksimum Dane Çapı Etki Katsayısı
- c** : Örtü beton kalınlığı
- C_a** : Agrega Cinsi Etki Katsayısı
- C_c** : Çimento Cinsi Etki Katsayısı
- C_d** : Çimento Miktarı Etki Katsayısı
- C_h** : Betonun Nem Durumu Etki Katsayısı
- C_g** : 0-1 mm Arası İnce Dane Yüzdesi Etki Katsayısı
- C_k** : Beton Katkı Maddeleri Etki Katsayısı
- C_m** : Betonun Yaşı Etki Katsayısı
- C^{sth}** : Yarı-teorik Yoldan Hesaplanmış Ortalama Etki Katsayısı
- C_t** : Ortalama Etki Katsayısı
- C_t^{exp}** : Deneysel Olarak Belirlenmiş Ortalama Etki Katsayısı
- C_t^{sthor}** : Yarı-teorik Olarak Hesaplanmış Ortalama Etki Katsayısı
- C_t^{test}** : Birleşik Ortalama Etki Katsayısı
- D_1** : Boy / Çap Oranını 2'ye Eşitlemek İçin Düzeltme Faktörü
- D_2** : Standart Silindir Basınç Dayanımına Dönüşüm Faktörü
- D_3** : Standart Küp Basınç Dayanımına Dönüşüm Faktörü

- d** : Karot Numune Çapı (cm)
- d₂** : Gömülü Başlık Çapı (mm)
- d₃** : Konik Çatlağın Üst Ucunun Çapı (mm)
- f_s** : Standart silindir basınç mukavemeti (kg/cm²)
- H** : Karot Numune Yüksekliği (cm)
- h** : Konik Yüksekliği (mm)
- k** : Test Edilen Numune Sayısı
- L** : Toplam Geçiş Yolu Uzunluğu
- L_s** : Donatı Üzerinde Katedilen Geçiş Yolu Uzunluğu
- P** : Maksimum Çekip-Çıkarma Kuvveti (N)
- R** : Geri Tepme İndeksi
- S** : Koniğin İki Ucu Arasında Dış Yüzey Uzunluğu (mm)
- T** : Ultrases Geçiş Zamanı (μs)
- V** : Ultrases Geçiş Hızı (km/s)
- V_c** : Yalın Betonda Ultrases Geçiş Hızı (km/s)
- V_T** : Agreganın Üretildiği Malzeme Üzerinde Ölçülen Ultrases Geçiş Hızı (m/s)
- V_s** : Donatı Üzerinde Ultrases Geçiş Hızı (km/s)
- W_m** : N Modeli Schmidt Çekicinin Geri Tepme İndeksine Karşılık Basınç Dayanımı (kg/cm²)
- W_{min}** : N Modeli Schmidt Çekicinin Geri Tepme İndeksine Karşılık Minimum Basınç Dayanımı (kg/cm²)
- σ** : Betonun Standart Küp Basınç Dayanımı (kg/cm²)
- σ_{ef}** : Betonun Efektif Basınç Dayanımı (kg/cm²)

- σ_n : Nominal Normal Gerilme (MPa)
- σ_{pr} : Numunenin Deneysel Olarak Bulunan Basınç Dayanımı (kg/cm^2)
- σ_{ref} : Referans Betonun Basınç Dayanımı (kg/cm^2)
- \emptyset : Donatı Çapı (mm)
- θ : Konik Tepe Açısının yarıısı



TEŞEKKÜR

Tüm çalışmam süresince göstermiş olduğu ilgi ve yardımlarından dolayı danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlhan Berktay'a; teknik yardımlarını esirgemeyen Sayın Öğr. Gör. Mehmet Ali Çavdur'a teşekkür ederim. Ayrıca deneysel çalışmalarımda, laboratuvarlarından yararlandığım Alaplı Meslek Yüksek Okulu Teknik Programlar Bölüm Başkanlığına ve laboratuvar çalışmaları ile yapı üzerindeki uygulamalarda katkıda bulunan tekniker İsmail Yılmaz ve Mehmet Özbay'a da teşekkür ederim.



ÖZET

Bu çalışmanın asıl amacı, bir test yapısında beton mukavemetini bileşik yıkıntısız beton denetim yöntemleri ile tahmin etmektir. Bunun için, Schmidt çekici ve ultrases geçiş hızından oluşan bileşik yıkıntısız yöntem kullanılmıştır. Bu çalışmada söz konusu metodu uygulamak için, üç temel işlem gerçekleştirilmiştir. Bunlardan birincisi, kullanılacak aletlerin yerel koşullara göre kalibrasyon eğrilerini oluşturmaktır. Bu nedenle, beton basınç mukavemetini tahmin etmek üzere kalibrasyon denklemi elde etmek için laboratuvar çalışmaları yapılmıştır. Farklı basınç mukavemetlerinde test küpleri üretilmiştir. Küplerin geri tepme sayıları N tipi Schmidt çekici ile, ultrases geçiş hızları da PUNDIT adı verilen 54 khz. frekanslı ultrases geçiş hızı ölçüm aleti ile ölçülmüştür. Küp basınç mukavemetleri ise hidrolik bir pres yardımı ile belirlenmiştir. İkincisi, mevcut betonarme bir test yapısı üzerinde bileşik yıkıntısız deneylerin uygulanmasıdır. Yapıda seçilen, kolon ve perde duvarlara SONREB (ultrases geçiş hızı +geri tepme indeksi) metodu uygulanmıştır. Ayrıca, betonun yerinde gerçek mukavemetini tespit etmek ve yıkıntısız test sonuçları ile kıyaslamak üzere, bu elemanlardan karot numuneler alınmıştır. Üçüncüsü ise özel olarak türetilmiş mukavemet denklemi ile bileşik yıkıntısız deney sonuçlarından yapıdaki beton mukavemetini tahmin etmektir. Diğer taraftan, başka araştırmacıların türettikleri kalibrasyon denklemleri ile de yapıdaki beton mukavemeti hesaplanarak karşılaştırılmıştır.

Birinci bölümde yıkıntısız ve bileşik yıkıntısız beton deneylerinin amacı ve gerekliliği üzerinde durulmuştur.

2, 3, 4, ve 5. ünitelerde tekil olarak geri tepme yöntemi, ultrasonik yöntem, çekip-çıkarma yöntemi ve radyoaktif yöntemler üzerinde açıklamalar yapılmıştır. Bu yöntemlerde sonucu etkileyen faktörler ayrı ayrı irdelenmiştir. İlk iki yöntem, ultrases geçiş hızı ve geri tepme indeksi metotları daha geniş bir şekilde ele alınmıştır.

Altıncı ünite tümüyle bileşik yıkıntısız beton denetim yöntemlerine ayrılmıştır. Metodun uygulanması, beton mukavemetini etkileyen faktörler, beton mukavemetinin tahmin edilmesi anlatılmaktadır.

Sonuç ve öneriler kısmı 6. üniteye verilmiştir. Test yapısının tahmin edilen beton mukavemeti, tüm bina ve her kat için ayrı ayrı olmak üzere hata oranları ile birlikte verilmiştir. Öte yandan, yıkıntısız beton deneyleri ile beton mukavemetinin daha doğru ölçülebilmesi için deneylerde kullanılan test aletlerinin yerel yapım koşullarına göre kalibre edilmesi gerekliliği sonucuna varılmıştır. SONREB metodu için lineer ve üstel formda çoklu regrasyon denklemini belirleyen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu denklemlerle beton basınç mukavemeti %90-95 olasılıkla tahmin edilebileceği gibi mevcut lineer ve üstel formda fonksiyonlarla da mukavemet tahmini yapılabilir. Bu çalışmada gerçekleştirilen deneysel çalışma sonuçları bu program ile analiz edilmiştir.

Deneysel çalışmalar sırasında ASTM ve BS tarafından önerilen standart prosedür izlenmiştir. Metnin tümünde SI birim sistemine çoğunlukla uyulmuştur. Ancak, gerilme değerleri kg/cm^2 cinsinden verilmiştir.

SUMMARY

The main purpose of this work is to estimate concrete strength of a test structure by combined non-destructive testing. For this purpose, combined use of Schmidt hammer technique with ultrasonic pulse velocity method was used. There are three objectives in the present work for applying the method. The first is to establish calibration chart of instruments for regional conditions. Therefore, laboratory tests were carried out to obtain equations for estimating concrete compressive strength. Test cubes with different compressive strength were produced. The rebound numbers of cubes were measured by an N-type Schmidt hammer and ultrasonic pulse velocity was measured using an ultrasonic pulse velocity apparatus which was called as PUNDIT (resonant frequency of transducers=54 khz.). Compressive strength was measured by a hydraulic testing machine. The second is to perform combined non-destructive test in an existing reinforced concrete test building. The SONREB (ultrasonic pulse velocity + rebound index) method was applied on the selected columns and shear walls of the structure. Also, cores were cut from these members in order to establish the quality of in-situ strength and compare with the non-destructive test results. The third is to estimate concrete compressive strength by using combined non-destructive test results with the specially derived strength equations. Moreover, the strength of concrete of building was calculated and compared with calibration equations derived by other researchers.

In the first chapter, the purposes and need for non-destructive tests for concrete were presented.

In chapters 2,3,4,5 rebound method, ultrasonic pulse method, pullout method and radioactive methods were explained. The former two methods that are ultrasonic pulse method and rebound method were explained in detail.

The sixth chapter is distinguished for combined non-destructive concrete tests completely. Applications of methods, factors that affect concrete strength, estimation of concrete strength was examined.

Discussion of results and conclusions were presented in the last chapter. Estimated strength of test structure was given with the percentage of error for whole building and for each story of the building. It was further concluded that, to correctly measure the strength of concrete with NDT, test apparatus should be calibrated according to regional constructional conditions.

A computer program was developed for determining both linear and exponential multiple regression functions for SONREB method. Also, compressive strength of concrete with an average %90-95 probability can be estimated by using these functions and any other available linear or exponential function for SONREB method. Data of experimental programme were analysed with this program.

During the experimental programme, test methods recommended by ASTM and BS was followed. Generally SI units were used throughout the main text except stress which is given in kg/cm^2 .

1. GİRİŞ

1.1. Yıkıntısız Beton Denetiminin Amacı

Yıkıntısız beton denetimi, yapıların gerek yapım kusurlarını ve gerekse geometrik ve kompozisyon özelliklerini yapıya zarar vermeden araştırma işlemi olarak tanımlanabilir. Genel olarak yerinde testler (yıkıntısız deneyler) betonun yapıda yerindeki özellikleri hakkında bilgi edinmek için yapılır. Beton basınç dayanımı iki amaç için araştırılır. Bunlar:

- a) Mevcut bir yapıdaki betonun yerinde mukavemetinin denetimi
- b) Yapım aşamasındaki bir yapıda beton dayanımının izlenerek ortaya konulması

Yıllardan beri betonun yerinde mukavemetini tespit için pek çok yöntem geliştirilmiştir. Bunların amacı üretim aşamasında beton kalite denetimini sağlamak ve servis yükleri altında oluşabilecek bozuklukların zamanında tespit edilmesidir. Beton teknolojisinde amaçlanan beton mukavemetine ulaşmak ve bu mukavemeti yapının ekonomik ömrü içinde muhafaza etmesini temin etmek çok önemlidir. Oysa mevcut yönetmeliklerde yer alan yıkıntılı beton denetim yöntemleri hem zaman alıcı olmakta hem de ekonomik olmamaktadır. Üstelik küp veya silindir numunelerin yerindeki betonu tam temsil edememesi, kür koşulları, döküm sırasında sıkıştırma ve test koşullarının her zaman aynı olmaması gibi nedenler de beton dayanımını bulmak için yeni yöntemlere ihtiyaç duyurmaktadır. Bu bakımdan tümüyle yıkıntılı deneylerin yerine geçmek değil; ancak daha pratik ve yapıya zarar vermeyen hızlı yıkıntısız deneyler geliştirilmiştir.

1.2. Betonun Yerinde Denetim İhtiyacı

Beton basınç mukavemetini belirlemede en çok kullanılan yöntem küp veya silindir numune basınç deneyidir. Bu yöntem, numune alınması, bakım ve kür, deneyin yapılması ve sonuç alınması aşamalarıyla kolay bir yöntem olup standart bir hal almıştır. Bulunan basınç mukavemeti uygun

katsayılarla çarpılarak hesap mukavemetine çevrilir ve kullanılır. Ne var ki, standart prosedüre uygun olarak yapıldığı takdirde betonun potansiyel dayanımını vermektedir. Betonun yerindeki gerçek mukavemetini belirlemek amacıyla yapılmaz. Çünkü silindir veya küp kırma deneyinin şantiyedeki betonu kalıba dökme, sıkıştırma ve kür şartlarının aynısı olması söz konusu değildir. Kaldı ki, bir yapıdaki betonun standart kür edilmiş numune ile aynı gelişimi göstermesi de beklenemez. Standart numunelerin 28 günlük basınç dayanımları beton kalıbının güvenlik içinde sökülmesi için yeterli mukavemete ulaşmış ulaşmadığını belirlemede kullanılamaz. 28. günü beklemeden beton basınç dayanımının kalıp sökülmesi için yeterli olup olmadığı yığıntısız deneylerle anlaşılabilir. Diğer taraftan, eğilmeye çalışan kirişler veya ön gerilmeli elemanlar standart numuneye benzer gelişim göstermezler. Bu nedenle, betonun, yerinde ve istenen zamandaki gerçek mukavemetini belirleme testleri gereklidir. Oysa yığıntısız deneylerle, hem yapım aşamasında istenen zamanda; hem de önceden yapılmış bir yapının belli bir tahribat ya da bir afet (patlama, yangın, deprem) sonucunda, betonun yerinde dayanımını kontrol etme olanağı vardır.

Yapım programını hızlandırmak için kalıp alma, kür işlemine son verme, dikmelerin sökülmesi gibi işlemler olabildiğince erken ve güvenlik içinde yapılmalıdır. Yerinde, bileşik veya tekil yığıntısız beton denetim yöntemleri sayesinde yatırım süresi kısaltılarak ekonomik kazanç ve zaman tasarrufu sağlanabilir.

Bazı yapılar betona zararlı kimyasal ortam içinde bulunur. Böyle hallerde çimentonun iç yapısındaki değişimler sonucu bağlayıcılık özelliği azalabilir. Beton yapımında kullanılan agrega içinde de zararlı kimyasallar olması muhtemeldir. Bunlar da beton dayanımını azaltabilir.

Yapılara sonradan kat ilave edilmesi, kullanım amacının değişmesi yurdumuzda sık rastlanan olaylardır. Projesinde öngörülen yüklerden daha fazlasının yapıya etkimesi kesit tesirlerinin beklenenden fazla olmasına neden olur. Bu ise, yapının emniyetli olup olmadığı şüphesini doğurur. Kimi zaman yapımcı firma ve işveren arasında hukuki anlaşmazlıklar nedeniyle yapıda beton dayanımının tespit edilmesi de gerekebilir.

Yukarıda anlatılan pek çok nedenden dolayı yapıda gerek inşa gerekse kullanım sırasında mukavemet tespiti gerekli olabilir. Yapıya zarar vermemesi yüzünden yıkıntısız beton denetim tekniklerine kolaylıkla başvurulabilir.

1.3. Beton Kalite Kontrolü Ve Standardizasyonunda Bileşik Yıkıntısız Beton Deneyleri

Günümüzde var olan birçok yıkıntısız beton denetimi tekniği ile beton dayanımı kesin bir şekilde bulunamamaktadır. Ancak aynı yapının değişik kısımlarında göreceli olarak dayanım değişmelerini bulmada oldukça uygun yöntemlerdir. Deneyimli teknisyenler tarafından icra edilip alınan sonuçlar yine deneyimli mühendislerce analiz edilirse, diğer standart yıkıntılı deney sonuçları kadar gerçeğe yakın olarak beton mukavemetini tahmin etmek mümkündür [16]. Ancak tekil veya bileşik yıkıntısız test metotlarının uygulanmasında ve sonuçların irdelenmesinde kalifiye personel problemi yaşanmaktadır. Yapı üzerinde ölçüm yapılması ve sonuçların yorumlanması ölçümü yapan teknisyenin gösterdiği hassasiyete bağlı olarak sonuçlarda önemli değişiklikler olabilmektedir. Bu sorun standart deney prosedürleri ile aşılabılır.

Dünyada önde gelen ASTM, BSI, DIN ve ISO gibi standardizasyon kuruluşları bir kısım yıkıntısız deney yöntemlerini standardize etmişlerdir. Fakat bu konuda gelişimini tamamlamamış bir süreç içinde bu kuruluşların arasında da yaklaşım farklılığı vardır. Bir kısım yöntemler ise henüz daha hiç standardize edilmemiştir. Standardizasyonun gerçekleşmemiş olması çeşitli ülkelerde yapılan deney sonuçlarının topluca değerlendirilmesini güçleştirmektedir.

Yerinde beton denetiminde kullanılan araçlarla birlikte beton mukavemeti ve ölçülen parametre arasındaki ilişkiyi veren eğriler veya tablolar verilmektedir. Ancak bu tabloların oluşturulmasında belli bir referans beton kullanılmış olup bundan farklı durumlarda ne düzeyde doğru sonuç verdiği belli değildir. Bu nedenle kullanıcıların kullandıkları cihazı araştırma yaptıkları betona göre kalibre etmeleri gerekmektedir. Bu

ihitiyaç Őimdilik yıkıntısız beton denetiminin bir dezavantajı olmakla birlikte gelecekte bu zorluğun aÇılması için yeni araŐtırmalar yapılmalıdır.



2. YÜZEY SERTLİĞİ YÖNTEMLERİ

2.1. Schmidt Çekici

2.1.1. Aletin Tanıtımı Ve Çeşitleri

Schmidt çekici adıyla bilinen beton deney çekiçlerinin çalışma prensibi bakımından iki çeşidi vardır [1].

a) Doğrusal Geri Tepmeli Çekiçler

Doğrusal geri tepmeli çekiçler grubunu N, L ve M modelleri oluşturur. Bunların da kendi içinde grupları vardır. Bu gruplar kısaca şunlardır:

N tipi test çekiçleri: Çarpma enerjisi 0.225 kgm. olup bina ve köprü gibi betonarme yapılar için uygundur. Uygulamada en çok kullanılan model de bu modeldir. NR modeli gibi otomatik kayıt yapabilen çeşitleri de vardır. Şekil 2.1'de N modeli Schmidt çekici kesiti görülmektedir. Bir yay ile idare edilen hareketli piston beton yüzeyine çarptıktan sonra oluşan geri tepmenin ölçülmesi esası ile çalışır. Geri tepme mesafesinin ölçülmesi ile beton dayanımı hakkında bilgi edinilmektedir. Aletin çalıştırılması şu şekilde olmaktadır [20].

1-Darbe pistonunun (1) uç kısmına hafifçe basılarak pistonun boşalması ve kılavuz üzerinde kayarak muhafazanın uç kısmındaki delikten kayarak dışarıya çıkması sağlanır.

2-Piston ölçülecek yüzey(2) üzerine bastırılarak piston kendi yuvası içinde kaybolduğu anda çekiç kütlesi boşalır. Darbe anında çekiç beton yüzeyi ile dik açı yapmalı ve kilitleme düğmesine dokunulmamalıdır.

3-Darbeleme sırasında çekiç kütlesi bir miktar geri sıçrama yapar. Bu sıçrama miktarı kayar göstergenin(4) skala (19) üzerinde hareket etmesiyle ölçülür. Ölçek üzerinde okunan değer çekiç kütlesinin ileri hareketinin yüzdesi olarak "Geri Tepme İndeksi" olarak kaydedilir.

4-Çekiç deneye tabi yüzeyden geri çekildiğinde daha önceden okunan değer göstergeden silinir. Kayar gösterge hiç bir zaman tam olarak sıfır

çizgisine gelmez. Aletin iç düzeneğindeki ayarlama nedeniyle bu durum herhangi bir ölçme hatasına neden olmaz.

5-Ölçüm bittikten sonra, piston ve kılavuz çubuğu(7) ile kılavuz disk kilitleme düğmesi(6) yardımıyla deney öncesi durumunda olduğu şekilde kilitletir. Kilitleme darbeleme işleminden sonra, uzamayan darbeleme yayı vasıtasıyla oluşacak boşalma üzerinde de etkili olacaktır. Karanlık ve kolay ulaşılamayan yerlerdeki okumaların sağlıklı yapılabilmesi için her ölçümden sonra alet kilitleyerek kaldırıldıktan sonra okunması tavsiye edilir[26].

6-Deneye başka bir noktada devam edilir.

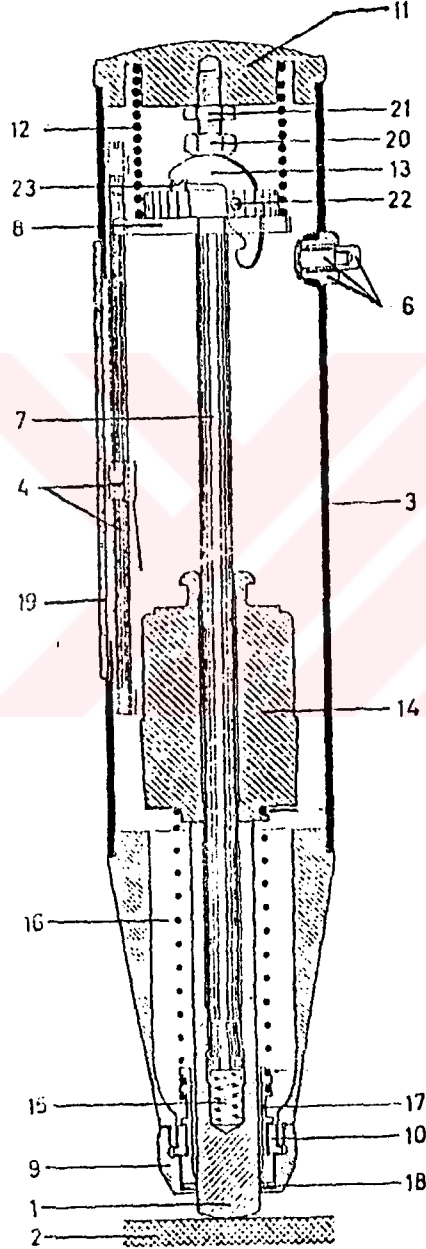
M Modeli Çekiçler: 3 kgm. çarpma enerjisine sahip olup kütle betonlarında, yollarda, kaldırımlarda ve havaalanı pistlerinde kullanılması uygundur. Aletin seyyar iki el tutacağı ve karborandum taşı yerleştirilmiş bir kapağı vardır. Sağlan bir kılıf içinde korunur. M modeli deney çekici ile genel olarak 35-40 cm'lik küpler üzerinde test yapılır. Prestes sıkıştırılmış olan bir beton küp numune üzerinde deney yaparken el tutacak yerlerden biri aletin ön; diğeri de arka tarafına vidalanır. Yatay bir düzlem üzerinde kullanılacaksa el tutacak yerlerin her ikisinin de arka tarafa vidalanması tavsiye edilir. Kullanılışı ile ilgili diğere detaylar N modellerinde olduğu gibidir[6].

L Modeli Test Çekiçleri: 0.075 kgm çarpma enerjisine sahip olup çarpmaya duyarlı ince beton kısımlarında kullanılması uygundur. Kullanımı N modellerine benzer. Çarpma başlığı test edilecek noktaya bastırılır. Yuvasının içinde tamamen kaybolmadan önce serbest bırakılır. Vurma işleminden sonra ölçü kısmı üzerindeki gösterge geri sıçrar. Ölçekte okunan miktar geri tepmeyi (R) gösterir. Alet kaldırıldığında başka bir noktada deneye hazırdır. Bu arada gösterge sıfıra geri dönmez.

b-Açısal Geri Tepmeli Pandüller

P modeli test çekiçleri açısal geri tepmeli pandüller grubuna girer. Bu modelleri düşük yüzey sertliği ve mukavemetteki malzemeler içindir. Sıva ve bunun gibi yüzey kaplama malzemeleri için pratiktir. Aletin

kullanımı kolay olup el tutacak yerinden tutularak N modellerinde olduğu gibi darbeleme gerçekleştirilir.



- 1-Çarpma pistonu
- 2-Test yüzeyi
- 3-Muhafazalı gövde
- 4-Hareketli gösterge çubuğu
- 6-Kilitleme düğme takımı
- 7-Çekiç kılavuz çubuğu
- 8-Disk
- 9-Başlık
- 10-İki parçalı halka
- 11-Arka kapak
- 12-Yay
- 13-Kilit mandalı
- 14-Çekiç kütlesi
- 15-Tespit yayı
- 16-Çarpma yayı
- 17-Kılavuz kovani
- 18-Keçe rondela(keçe örtü)
- 19-Pleksiglas skalalı pencere
- 20-Vida
- 21-Sıkma somunu
- 22-Pim
- 23-Yaylı kilit mandalı

Şekil 2.1. N Modeli Beton Çekici (Schmidt Çekici) Boy kesiti

El tutacak yerinin hemen dibinde kilitleme düğmesi yer alır. Skalalı gösterge yarım ay şeklinde olup bunun üzerinde hareket edebilen gösterge çubuğu vardır.

2.1.2.Kullanıldığı Yerler

Bütün yüzey sertliği ölçümüne dayalı cihazlar gibi Schmidt çekici de betonun 2-3 cm gibi yüzeysel bölgesi hakkında bir fikir verir. Bu bakımdan yüzey sertliğinin önemli olduğu yerlerde kullanılır.

L modeli çekiçleri hafif betonlarda, ince plaklarda kullanmak daha uygundur. N modeli çekiçler ise her türlü normal betonarme bina, köprü gibi yapılarda kullanılabilir. M modeli ise daha ziyade kütle betonlarında, beton yollarda, uçak pistlerinde kullanıma uygundur. Her üç model ile betonun farklı kısımlarındaki kalite değişimini anlamak mümkündür. Kısa süre içinde yapının pek çok noktasında ölçüm yapılabilir. Ayrıca priz alışından itibaren beton numunelerinin veya yapı elemanlarının sertleşmesi belli aralıklarla ölçülerek betonun gelişimini izlemek de mümkündür.

Schmidt çekici ile, iç mukavemet söz konusu olmadan, yol yüzeyi gibi aşınmaya karşı mukavemet de ölçülebilir. Ayrıca hidrolik mühendisliğinde betonun erozyona karşı dayanıklılığını tespit etmede kullanılır[26]. Betonun uniformluğunun ölçümünde oldukça kullanışlıdır. Yapıda kullanılan malzeme kalitesi kontrolunda veya prefabrike yapı elemanları gibi birbirinin aynı pek çok eleman üretiminde de oldukça kullanışlıdır. Betonun gerçek dayanımı bir kere silindir veya küp numune kırılmasıyla anlaşıldıktan sonra Schmidt çekici ile bulunan değerler bu referans değerlerle kıyaslanabilir.

Bir betonarme yapının Schmidt çekici ile, kendisine karşılık gelen dayanım değeri bilinen bir geri tepme sayısını verip vermediğini kontrol etmek suretiyle baştan aşağı önceden istenen belirli bir dayanıma ulaşip ulaşmadığı anlaşılabilir. Bu da kalıbı erken sökme veya yapıyı kullanıma açma durumlarında yararlı bir yöntemdir.

2.1.3. Denenecek Noktaların Seçimi

Ölçüm için en ideal yüzey, düşey kalıp içine dökülmüş beton yüzeylerdir. Kalıp bağlantı yerlerinden, boşluklu veya görünür agrega üzerlerinde ölçüm yapmaktan kaçınılmalıdır. Yapının ince kesitli kısımlarında (10 cm 'den ince döşeme ve duvarlar) ölçüm yapılırken bu kısımlardaki elastikiyet, ölçüm hatalarına neden olabileceği için gerekli özen gösterilmelidir [26]. Çimento şerbeti birikmiş yüzeylerden de kaçınılmalıdır. Seçilen bölge, ilgili yapıyı veya elemanı temsil edebilmelidir. Elemanın en çok zorlanan bölgeleri arasından ve dayanım yönünden kritik noktalar seçilmelidir. Düşük mukavemet sınıfındaki betonlardan kalıp tabanından yukarı doğru yükseldikçe mukavemet azalması olacağı düşünülerek eleman boyunca bir kaç noktadan vuruş yapılması uygun olur. Deney noktaları seçilirken elemanların köşe, kenar, birleşim yeri gibi bölümlerinden uzak durulmalıdır. İki deney noktası arasında en az 2 cm mesafe bulunmalıdır.

2.1.4. Denenecek Yüzeyin Hazırlanması

Denenecek yüzey yaklaşık 20*20 cm olmalı ve 5-10 vuruş yapılabilecek kadar düzgün olmalıdır. Ölçümden önce yüzey üzerinde mevcut alçı, sıva veya diğer kaplama tabakası varsa temizlenmeli, yüzeye yapışmış çimento şerbeti ya da gevşek malzemeler karborandum taşıyla temizlenmelidir. Kural olarak ölçüm yapılacak yüzeyde betonun normal dokusuna ulaşılan kadar temizlik yapılmalıdır. Eski betonlarda aşırı derecede sertleşmiş dış yüzey uygun bir alet yardımıyla yaklaşık 1 cm derinliğe kadar açılıp silinmelidir.

Laboratuarda hazırlanmış veya yapıdan alınan numuneler üzerinde test yapmak için numune yüzeyi iyice temizlenir. Nem varsa 1 gün kurutularak nemi giderilir. Küp numuneler pres altında sağa sola oynamayacak kadar belli bir yük altında tutulur. İstenirse numune üzerinde önceden vuruş noktaları işaretlenebilir.

2.1.5. Ölçüm Yapılması Ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Yapılarda, yukarıda açıklandığı şekilde hazırlanmış her yüzeye en az 5-10 vuruş yapılarak bu okumaların ortalaması bulunur. Eğer yapılan ölçümlerden herhangi biri ortalamadan 5 birimden fazla sapma gösteriyorsa bu değer atılarak yerine yeni okuma yapılır. Kabul edilen okumaların ortalamasına "geri tepme indisi" denir ve genellikle R harfi ile gösterilir.

Küp numunelerin Schmidt çekici ile testi için küpler deneye hazırlandıktan sonra her yüzde ayrı ayrı okumalar kayıt edilir. Bu sırada çekicinin beton yüzeyine dik olmasına çok dikkat edilir. En az üç numune üzerinde bu şekilde bulunacak geri tepme indislerinin ortalaması ilgili beton hakkında daha doğru bir netice verir. Çünkü beton homojen olmayıp, her noktasının direnci de aynı değildir. Aynı yüzey üzerinde bile ve hatta birbirine çok yakın noktalar arasındaki vuruşlardan bile çok farklı okumalar alınabilir. İri çakıla rastlayan bölüm daha sert; buna karşılık boşluklu kısımlar daha yumuşaktır. Kaldı ki, betonun her noktadaki yüzey sertliği aynı olsaydı birkaç vuruş yeterli olurdu.

Ölçümler bittikten sonra ortalama vuruş sayısı bulunur ve kalibrasyon grafiğinden beton dayanımı okunur. Her model çekiç için ayrı ayrı geri tepme indisi-dayanım eğrileri çizilmiştir. Grafik üzerinde beton tabancasının yatayla yaptığı açıya göre belirlenmiş eğriler vardır. Her bir eğri farklı duruş pozisyonu içindir. Grafikler genellikle apsis geri tepme indisi, ordinat ise basınç dayanımı olacak şekilde düzenlenir. Ortalama R değerinden girilerek ilgili eğri kestirilir. Eğrinin kesildiği noktaya tekabül eden basınç dayanımı değeri okunur. N modeli bir Schmidt çekici için hazırlanmış küp ve silindir numunelere ait grafikler şekil 2.2 ve 2.3'te görülmektedir. Bu eğriler iyi kalitede kum/çakıl karışımı ve portland çimentosu ile hazırlanmış 14-56 günlük düzgün ve kuru yüzeyli numuneler içindir. Benzeri şekilde geri tepme indisi-basınç dayanımı ilişkisini gösteren tablolar da mevcuttur. Tablo 2.1 ve 2.2'de sırasıyla küp ve silindir numuneler için hazırlanmış tablolar verilmiştir.

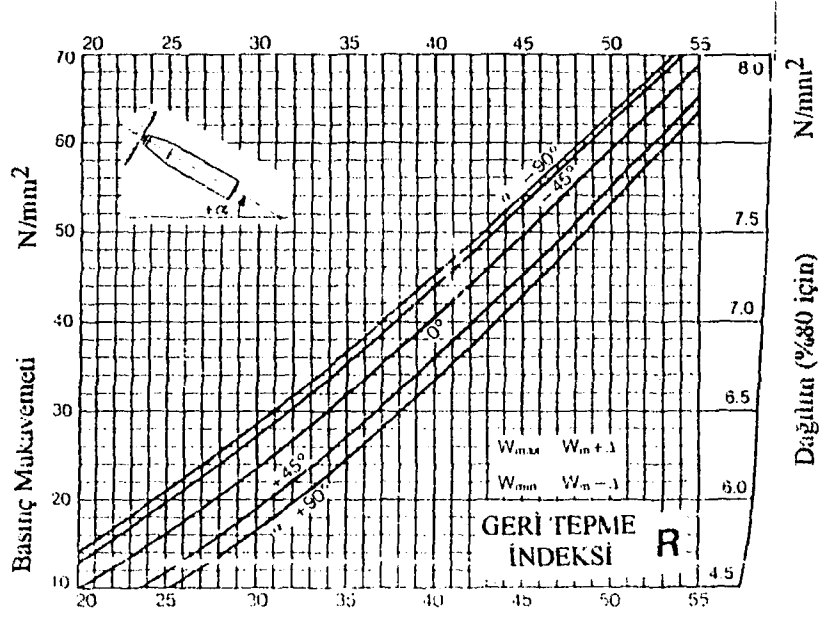
Genel olarak Schmidt çekici ile beton basınç dayanımının belirlenmesinde iki yöntem vardır.

TABLO 2.1 Geri Tepme Sayılarına Karşılık Küp Basınç Dayanımları

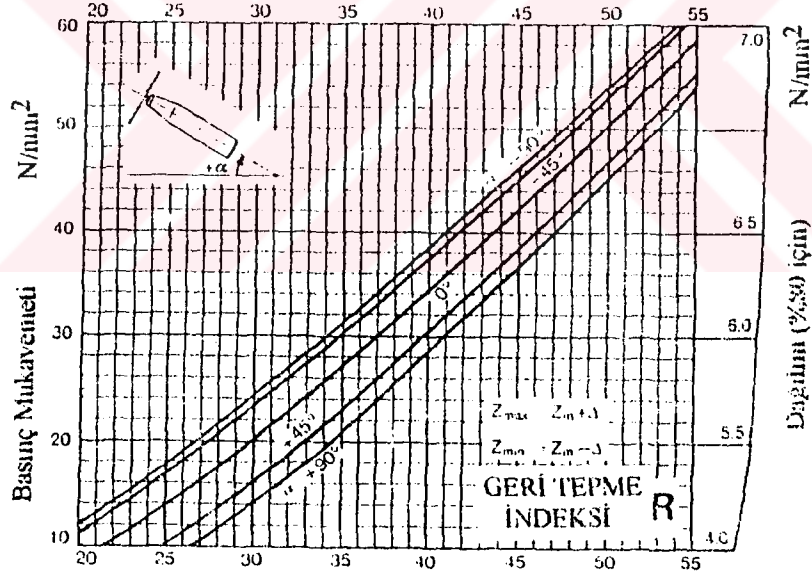
R	14-56 gün		7 gün	
	Wm	Wmin	Wm	Wmin
	N/mm2		N/mm2	
25	16,3	10,8	18	12,5
26	17,7	12	19,2	13,5
27	19,1	13,2	20,6	14,7
28	20,6	14,6	22,1	16,1
29	22,1	16	23,4	17,4
30	23,6	17,5	24,9	18,7
31	25,2	18,9	26,4	20,1
32	26,9	20,5	28	21,6
33	28,5	22,1	29,4	23
34	30,1	23,5	30,9	24,3
35	31,8	25,1	32,5	25,8
36	33,5	26,8	34,1	27,4
37	35,3	28,4	35,8	28,9
38	37	30,1	37,4	30,5
39	38,7	31,8	39	32,1
40	40,5	33,4	40,8	33,7
41	42,4	35,2	42,6	35,4
42	44,1	37	44,2	37,1
43	46	38,7	46,1	38,8
44	47,9	40,6	47,9	40,6
45	49,7	42,4	49,7	42,4
46	51,6	44,2	51,6	44,2
47	53,5	46,1	53,5	46,1
48	55,4	48	55,4	48
49	57,3	49,8	57,3	49,8
50	59,2	51,7	59,2	51,7
51	61,1	53,5	61,1	53,5
52	63,1	55,4	63,1	55,4
53	65	57,3	65	57,3
54	67	59,1	67	59,1
55	68,9	61	68,9	61

TABLO 2.2. Geri Tepme Sayılarına Karşılık Silindir Basınç Dayanımları

R	14-56 gün		7 gün	
	W_m	W_{min}	W_m	W_{min}
	N/mm ²		N/mm ²	
25	13,86	9,18	15,30	10,63
26	15,05	10,20	16,32	11,48
27	16,24	11,22	17,51	12,50
28	17,51	12,41	18,79	13,69
29	18,79	13,60	19,89	14,79
30	20,06	14,88	21,17	15,90
31	21,42	16,07	22,44	17,09
32	22,87	17,43	23,80	18,36
33	24,23	18,79	24,99	19,55
34	25,59	19,98	26,27	20,66
35	27,03	21,34	27,63	21,93
36	28,48	22,78	28,99	23,29
37	30,01	24,14	30,43	24,57
38	31,45	25,59	31,79	25,93
39	32,90	27,03	33,15	27,29
40	34,43	28,39	34,68	28,65
41	36,04	29,92	36,21	30,09
42	37,49	31,45	37,57	31,54
43	39,10	32,90	39,19	32,98
44	40,72	34,51	40,72	34,51
45	42,25	36,04	42,25	36,04
46	43,86	37,57	43,86	37,57
47	45,48	39,19	45,48	39,19
48	47,09	40,80	47,09	40,80
49	48,71	42,33	48,71	42,33
50	50,32	43,95	50,32	43,95
51	51,94	45,48	51,94	45,48
52	53,64	47,09	53,64	47,09
53	55,25	48,71	55,25	48,71
54	56,95	50,24	56,95	50,24
55	58,57	51,85	58,57	51,85



Şekil 2.2. N modeli Schmidt Çekici için Geri Tepme İndeksi-Küp Basınç Mukavemeti Eğrileri



Şekil 2.3. N modeli Schmidt Çekici için Geri Tepme İndeksi-Silindir Basınç Mukavemeti Eğrileri

a) **Hızlı Yöntem:** Aletin üzerinde verilen eğriden faydalanılır. Bu yöntemin az nemli ve büyük oranda katkı maddesi içeren çimentolarla hazırlanmış betonlarda, 3 aydan yaşlı betonlarda, düşük dozajlı betonlarda büyük hatalara yol açabileceği belirtilmiştir [22].

b) **Normal Yöntem:** Romanya'daki bina araştırma merkezi tarafından deneysel çalışmalar sonucu beton bileşimi, dozajı, çimento türü ve betonun yaşı gibi parametreleri de dikkate alarak hazırlanmış standartlar vardır.

Bu parametreler dikkate alınarak yapılan çalışmalarda elde edilen sonuçlardaki hata oranı en fazla %30-35 civarında kalır.

Romanya'daki deneysel çalışmalar neticesinde geri tepme indisi basınç dayanımı arasında şöyle bir bağıntının varlığı kabul edilmiştir[11].

$$\sigma_{ref} = 0.01 * R^{2.2} \quad (2.1)$$

Burada: σ_{ref} : Referans betonun basınç dayanımı (kg/cm²)

R: Geri tepme indisi

Referans betonu içindeki çimento cinsi ve miktarı, agrega cinsi, katkı maddesi varlığı ve miktarı ile tanımlanır. deneye tabi tutulan referans beton değilse bulunan ham sonuçlar bir düzeltme faktörü ile düzeltilir. Bu durumda efektif dayanım :

$$\sigma_{ef} = \sigma_{ref} * C_t \quad (2.2)$$

Burada: σ_{ef} : betonun efektif dayanımı

σ_{ref} : referans betonun dayanımı

C_t : referans beton ortalama etki katsayısı

C_t ortalama etki katsayısı deneysel ve yarı teorik yollardan hesaplanabilir. Hatta, hem deneysel hem de yarı teorik yollardan hesaplanıp daha sonra süperpoze edilebilir. Eğer karot numune almak mümkünse; numuneler, yıkıntısız ve yıkıntılı deneye tabi tutularak geri tepme indisi-dayanım eğrileri çizilerek hesaplanabilir. Eğer betonun kompozisyonu biliniyorsa bu takdirde C_t^{sth} yarı teorik olarak şöyle bulunur.

$$C_t^{sth} = C_c * C_d * C_a * C_m * C_h \quad (2.3)$$

Burada C_c : çimento cinsi etki katsayısı

C_d : çimento miktarı etki katsayısı

C_a : agrega cinsi etki katsayısı

C_m : betonun yaşı etki katsayısı

C_h : betonun nem durumu etki katsayısı

Tablo 2.3'de çimento cinsi, dozajı, nem, yaş etki katsayıları verilmiştir [22].

Facaoaru tarafından Schmidt çekici geri tepme sayısı ile yapılan ölçümlerin doğruluk derecesi hakkında aşağıdaki oranlar verilmiştir [11].

- %12-18 karot deneyi sonuçları ve beton bileşimi biliniyorsa
- %15-20 yalnızca karot deney sonuçları biliniyorsa
- %18-20 yalnızca beton bileşimi biliniyorsa
- >%30 betonun 1 yıldan genç olduğundan başka bilgi yoksa

TABLO 2.3. Dozaj , Yaş, Çimento cinsi, Nem durumu Etki Katsayıları

DOZAJ (kg/m ³)	ETKİ KATSAYISI (C _d)
100	0,66
200	0,85
300	1,00
350	1,06
400	1,12
500	1,24
600	1,30

BETONUN YAŞI (gün)	ETKİ KATSAYISI (C _m)
6 - 10	1,07
14 - 56	1,00
100 - 300	0,92
5 yıl	0,80

ÇİMENTO CİNSİ	ETKİ KATSAYISI (C _c)
PÇ/ KPC	1,00
CURUFLU	0,87

NEM DURUMU	ETKİ KATSAYISI
HAVADA	0,94
7 GÜN SUDA+21 GÜN HAVADA	1,00
SUDA	1,12

2.1.6. Sonuçları Etkileyen Faktörler

2.1.6.1.Çimento Cinsi

Çimento cinsi beton mukavemetini önemli ölçüde etkiler. Portland çimentolarının kendi içindeki çeşitleri ile yapılan betonların dayanımları arasındaki farklar %10'u aşmaz. Bu nispeten küçük bir farklılıktır. Fakat yüksek oranda alüminyum içeren çimentolarla yapılan betonlar portland çimentolu betonlarla kıyaslandığında %100 'lük mukavemet artışı görülmüştür. Sülfatlı çimentolarla üretilen betonlarda da %50 oranında düşük mukavemet görülmüştür. Her tip çimento için ayrı bir kalibrasyon yapılmalıdır [7].

2.1.6.2.Çimento Miktarı

Çimento miktarı da yüzey sertliğini etkileyen bir faktör olmakla birlikte çimento miktarındaki değişiklikler mukavemet tahmininde en fazla %10'luk bir hataya yol açar. Çimento miktarı yüksek olan betonlarda mukavemet düşük; çimento miktarı düşük olan betonlarda mukavemet olduğundan daha yüksek çıkmaktadır.

2.1.6.3.Agrega Tipi

Çeşitli tipteki agregalar değişik korelasyonlar vermektedir. Çakıl, kırma taş gibi normal agregalar benzer korelasyonlar verirken hafif agregalar ve değişik özellikli agregalar özel kalibrasyon gerektirir.

2.1.6.4.Yüzey Tipi

Kısmi kompoziteli betonlarda geri tepme sayısı okumaları tek bir bağıntıyla ifade edilemeyeceğinden, bütün korelasyonlarda kompozitenin tam olduğu kabul edilir. Emici veya emici olmayan malzemelerden imal edilmiş beton yüzeyleri sertlik ölçümü yöntemlerine değişik cevap verirler. Çeşitli yüzeylerin sertlik ölçümünde yüzey özelliklerinin ve yüzeyin deneye karşı davranışının iyi bilinmemesi ihmal edilemeyecek kadar büyük hatalara neden olabilir [7].

2.1.6.5.Yüzeydeki Nem Durumu

Kuru bir yüzeyde kalibre edilmiş bir aletle, nemli bir yüzeyde ölçüm yapılması, mukavemetin olduğundan daha düşük bulunmasına yol açar. Yapı betonlarında eşdeğer kuru yüzeyli betona oranla ıslak bir yüzeyde mukavemet yaklaşık %20 daha düşük çıkabilir.

2.1.6.6.Karbonatlaşma

Karbonatlaşmanın yüzey sertliğine etkisi oldukça fazladır. Karbonatlaşmış yüzeyli betonlarda %50'ye varan oranlarda yüksek mukavemet bulunabilir. Betonda, 10-20 mm'lik karbonatlaşmış dış yüzey sıyrılarak deneye tabi tutulursa karbonatlaşma etkisini gösteren bir faktör elde edilebilir. Daha sonraki okumalarda bu faktör bir düzeltme çarpanı olarak kullanılır. Düzeltme çarpanı kullanılmayacaksa her seferinde karbonatlaşmış yüzey sıyrılarak okuma yapılır[7].

2.1.6.7.Priz Alma Oranı

Betonun dökülmesi veya ilk sertleşmeye başlaması sırasında buhar kürü uygulanması veya betonyere buhar enjekte etme gibi işlemler yapılıyorsa her değişken grubu için yeniden ayrı bir kalibrasyon eğrisi gerekir.

2.1.6.8. Kür Cinsi

Suda saklanan betonlarla havada saklanan betonlar farklı olduklarından her durum için ayrı bir kalibrasyon yapılmıyorsa sonuçlar bir düzeltme çarpanıyla düzeltilebilir.

2.1.6.9.Sıkıştırma

Yüzey sertliği yöntemleri kompoziteye karşı duyarsızdır. Yüzeye yakın tabakanın tam kompoziteye sahip olduğu kabul edilir [1].

2.1.6.10.Diğer Faktörler

Bilinen diğer faktörler şunlardır:

- betonun efektif kütlesi
- yapı elemanının narinliği
- yapı elemanındaki gerilme hali
- aletin ve betonun sıcaklığı
- deney yapılan noktanın süreksizlik olan yere yakınlığı

2.1.7.Kalibrasyon

Deney numuneleri, boyutların deney üzerindeki etkisini en aza indirmek için mümkün olduğunca büyük seçilmelidir. 150 mm'lik küpler 100 mm'lik küplere tercih edilir. Küp numuneleri deneye tabi tutmanın en iyi yolu numuneyi preste 7 MPA basınç altında tutarak deney yapmaktır. Bu değer en sık kullanılan N tipi çekiç için verilmiştir. Beton çekicinin çarpma enerjisi arttıkça bu değer yükselmesi gerekir. Numuneler düz ve sert bir yerde de test edilebilir. Ancak deney sırasında sallanmamalıdır.

Su altında saklanan numuneler, deneyden en az 24 saat önce, sudan çıkarılmalı laboratuvar ortamında muhafaza edilmelidir. Su altında saklanan numunelerin mukavemeti, havada saklanan numuneye göre, %10 daha düşük olur. Beton çekici ile numune preste deneye tabi tutulurken, düşey yüzeylerden en az 9 defa okuma alınır. Aynı noktaya bir defadan fazla vuruş yapılmaz. Her okuma grubu için istatistiksel sabitler hesaplanmalıdır.

Beton çekicinin düzgün çalışıp çalışmadığı, zaman zaman kontrol edilmelidir. Kalibrasyon örsü, katı ve esnemeyen bir zemin üzerine oturtulur. Çekiç örs üzerine bastırılarak okuma alınır. N tipi deney çekici düzgün çalıştığı takdirde örs üzerinde 78-82 arasında bir değer okunmalıdır. Bu değerlerin dışında kalan değer veren çekiçler, bir uzman tarafından sökülüp temizlenmeli ve yeniden kalibre edilmelidir [26].

2.2.Prob Penetrasyonu

Bu yöntem, özel olarak hazırlanmış bir tabanca yardımıyla sert çelikten bir probun betona çarparak iz yapması şeklinde gerçekleşir. Deney

için, genellikle Windsor probu denilen sistem kullanılır. Probu beton ne kadar iz yaptığına bakılarak, betonun mukavemeti, kalibrasyon eğrileri aracılığı ile belirlenir. Yöntem, temel olarak Schmidt çekicine benzer. Ancak probun başlangıçtaki kinetik enerjisi Schmidt çekicinininkinden çok fazladır. Diğer taraftan teorik analizi de Schmidt çekicine göre daha karmaşıktır. Kullanımı pek yaygın olmayıp, uygulama sırasında da güvenlik önlemi almayı gerektirir. Prob, betonu başlangıçtaki kinetik enerjisini absorbe edene kadar delmeye çalışır. Ancak, enerjinin bir kısmı da sürtünme yoluyla kaybolur. Genel olarak betonda konik şeklinde hasarlı bir kısım oluşur. Deney betonda dikkate değer bir hasar yapmadığı için yıkıntısız deney grubuna girer. Şekil 2.4 'te deneyde ortaya çıkan teorik hasarlı bölge görülmektedir. Enerjinin büyük bir çoğunluğu bu bölge tarafından soğurulur. Deney sonuçlarını etkileyen en önemli etken agregadır. Aynı basınç mukavemeti için, yumuşak agregadaki penetrasyon sert agregadakinden daha fazladır. Deney sonucunu etkileyen önemli bir faktör de yüzey sertliğidir. Sert yüzeylerde penetrasyon değeri düşük çıkar. Deney sırasında prob yüzeye dik tutulmalıdır [15].

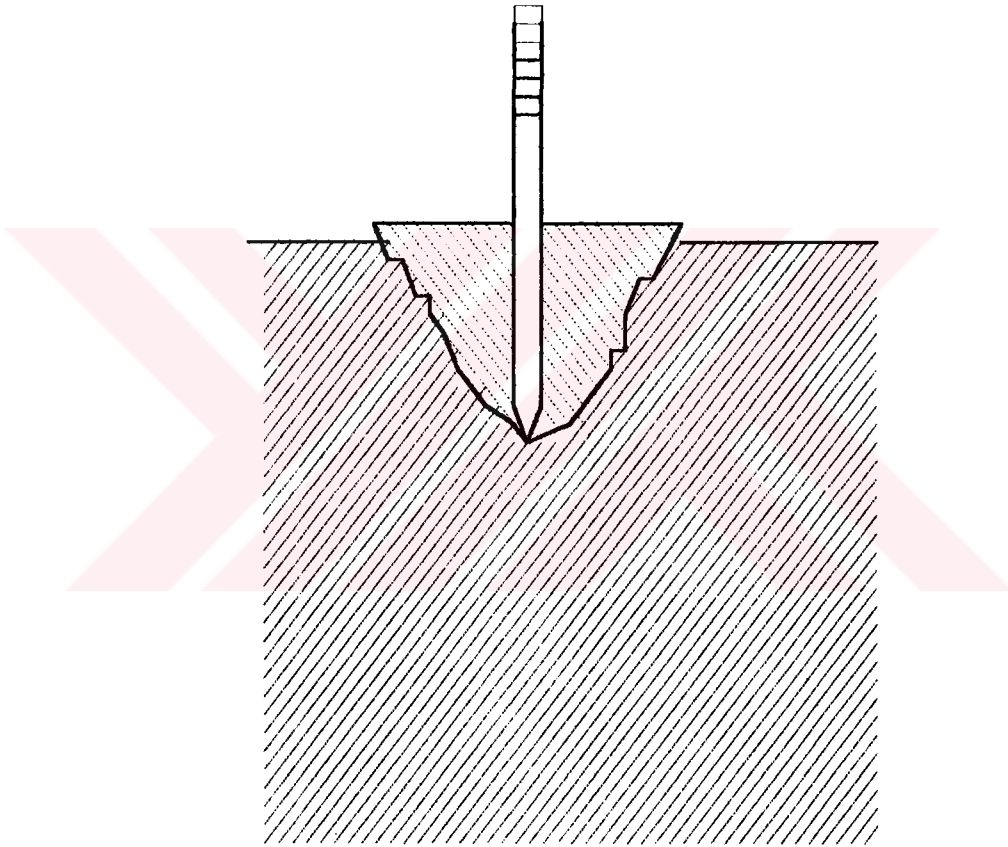
ASTM C803-90, prob penetrasyonu deneyi için prob yerine bilya da kullanılabileceğini belirtmektedir. Fakat bir bilya bir kere kullanıldıktan sonra atılır. Bilya kullanıldığında iz çapı ölçülür. Problarda ise ne kadar derine girdiği ölçülür. Bu deneyde standart ölçüler inch-pound cinsindedir. Deney üç amaç için kullanılabilir. Bunlar:

- a) Beton dayanımını ölçmek
- b) Betonda homojenlik kontrolü
- c) Betonda kalitesiz, zayıf bölgeleri belirlemek

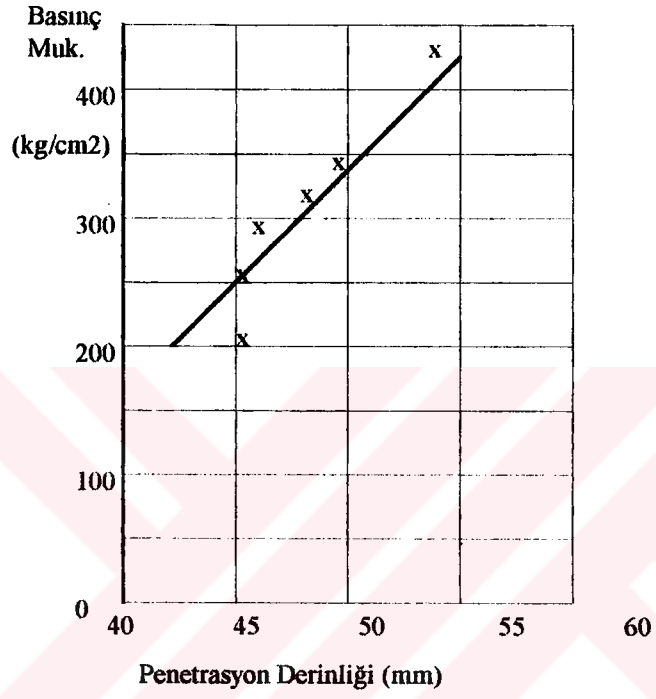
Bir deneyin sonucunu belirlemek için en az üç deneme yapılmalıdır. Birbirinden yaklaşık 5 birim fark eden değerler atılır. Atılan verilerin yerine yeniden deney yapılır. Deney sonuçları çimentonun cinsi ve dozajı, betonun yaşı gibi faktörlere de bağlıdır [5].

Beton basınç mukavemeti penetrasyon derinliğine bağlı olarak deneysel çalışmalardan elde edilen grafikler yardımıyla bulunur. Şekil

2.5'de 35 günlük 152 mm lik küplerden elde edilmiş penetrasyon derinliği basınç mukavemeti ilişkisi grlmektedir.



şekil 2.4. Prob Penetrasyonunda (Teorik Olarak) Betonda Hasarlı Bölge



Şekil 2.6. Penetrasyon Derinliği Basınç Mukavemeti İlişkisi

3. ULTRASONİK YÖNTEM

3.1. Yöntemin Temel İlkeleri

Frekansları $16 \cdot 10^3$ ile $10 \cdot 10^{10}$ Hz. arasında olan ses dalgalarına ultrasonik dalgalar denir. Bu titreşimler duyma eşiğinin ötesindedirler. Frekansları yüksek olduğundan absorbe olmadan uzun mesafeler katedebilirler. Dalganın bu kadar uzak mesafelere ulaşabilmesi için optimum frekans limitleri ortamın iç yapısına bağlıdır. Örneğin, boşluklu betondan geçen dalgaların frekansı artarak parazit yansımalar doğurur ve enerji soğurulması fazla olur.

Ultrasonik titreşim hızı yöntemi, betondan geçen ultrasonik dalga hızını ölçmeye dayanır. Betonda iki nokta arasındaki pulsasyon geçiş süresi elektronik olarak ölçülür. Transdüserler arasındaki mesafe ölçülen zamana bölüldüğünde ortalama ultrases geçiş hızı bulunur.

Betonun yerinde mukavemet tahmini için ultrasonik yöntem mükemmel bir yöntemdir. Ancak, dayanım-ultrases hızı ilişkisi pek çok faktöre bağlı olarak değişir. Bu bakımdan betonun ultrases hızı geçişini etkileyen tesirler iyi bilinmelidir [17].

3.2. Kullanıldığı Yerler

- Betonda homojenlik kontrolü
- Çatlak, boşluk ve hata tespiti (defektoskopi)
- Betonda kalite denetimi, standartlara uygunluk
- Elastisite modülünün belirlenmesi
- Prefabrike yapı elemanlarında kalite denetimi
- Yeni inşa edilen yapılarda mukavemet gelişiminin gözlenmesi

3.3. Ultrases Geçiş Hızını Etkileyen Faktörler

3.3.1. Çimento

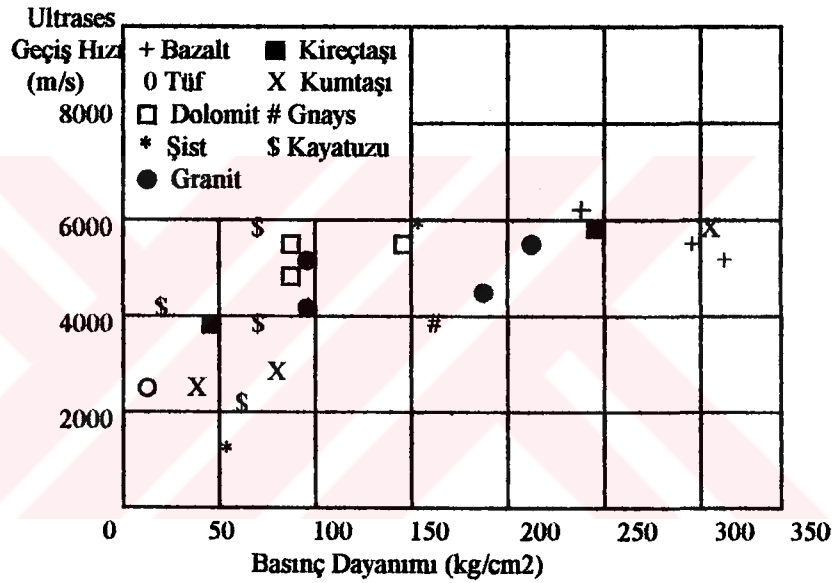
Romanya'da yapılan araştırmalar, normal incelikte PÇ ve KPÇ çimentolarının ultrases hızı-basınç dayanımı bağıntısını etkilemediğini göstermiştir. Ancak hızlı sertleşen çimentolar, aynı ultrases hızına karşılık, daha yüksek dayanım vermektedir. Buna karşılık %40-60 oranlarında yüksek fırın cürufu ihtiva eden çimentolar, aynı ultrases hızına karşılık daha düşük dayanım vermektedir. Bu karşılaştırmalarda referans olarak normal portland çimentosu alınmıştır. Tablo 3.1'de çimento cinsi etki katsayıları verilmiştir [10]. Beton içindeki çimento miktarı ile beton dayanımı arttığı halde ultrases hızı artmamaktadır. Tablo 3.1'de dozaj etki katsayıları verilmiştir [11].

TABLO 3.1:Çimento Miktarının Ultrases Hızına Etkisi

ÇİMENTO MİKTARI(kg/m ³)	ETKİ KATSAYISI(C _d)
100	0,46
150	0,61
200	0,75
250	0,88
300	1,00
350	1,08
400	1,15
450	1,27
500	1,30
600	1,38

3.3.2. Agrega

Beton içeriğinin hacimsel olarak %60-80'ini agrega oluşturduğundan pulsasyon hızı ve dolayısıyla beton mukavemetinde önemli bir etkidir. Pek çok kaya cinsleri için, pulsasyon hız sınırları, Doore ve Miller tarafından belirlenmiştir. Bulunan değerler 1500-6100 m/s arasında değişmektedir. Örneğin şistlerde, ölçüm şekline göre (normal veya paralel), 1500-5500 m/s hızları verilmektedir. Şekil 3.1 'de çeşitli kaya cinsleri için ultrases geçiş hızı-basınç dayanımı değerleri verilmiştir [10].



Şekil 3.1 Bazı Kaya Cinsleri için Ultrases Geçiş hızı -Mukavemet İlişkileri

Betonda kullanılan agrega cinsinin etkisi şekil 3.2'de görülmektedir. Burada kırmataş, dere çakılı, hafif agrega (sinterlenmiş uçucu kül), yüksek yoğunluklu ince ve kaba agregalarla yapılan betonların dayanım-pulsasyon hızı ilişkisi görülmektedir. Verilen bir mukavemet seviyesinde, normal ve yüksek yoğunluklu betonlar arasında çok az bir değişim olduğu halde, hafif agregalardan oluşan betonlara kıyasla pulsasyon hızı önemli ölçüde düşmektedir.

Facaoaru'ya göre alüvyon yataklarından alınan agregaların etki katsayısı $C_a=1$ alınabilir [10]. Öte yandan A. Stefanescu-Goenga agrega cinsi etkisi konusunda şu sonuçları rapor etmişlerdir [23].

*Agrega cinsi etki katsayısı 1 alındığında, basınç dayanımında %24'e varan hata olasılığı vardır.

* C_a katsayısı şu ifade ile hesaplanırsa, bu oran %19'a düşmektedir.

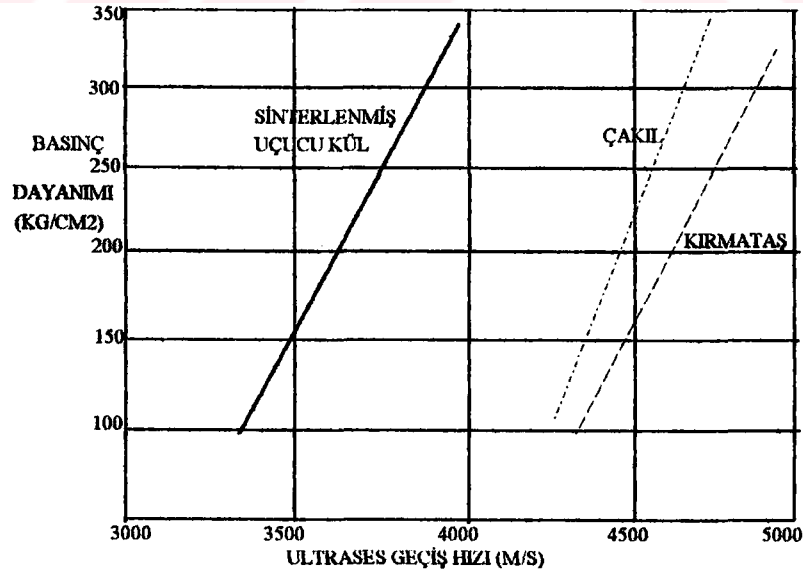
$$C_a = 0.1685 * V_T + 0.33 \quad (3.1)$$

V_T : agreganın üretildiği malzeme üzerinde ölçülen ultrases hızı(m/s)

* C_a katsayısının üretilen kalibrasyon betonları üzerinde ölçülerek saptanması durumunda hata olasılığı %11'e inmektedir.

Başka araştırmacılar tarafından granitli, betonların dayanımının yüksek olmakla birlikte, ultrases hızının düşük olduğu belirtilmektedir. Bu durum agreganın mikrobiyolojik yapısının beton dayanımı-ultrases hızı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir [22].

Beton içindeki kaba agrega miktarının pulsasyon hızına etkisi araştırılmış ve şekil 3.3'te bulunan sonuçlar gösterilmiştir [3]. Jones tarafından, verilen bir dayanım değeri için, agrega /çimento oranı yükseldikçe basınç dayanımının düştüğü gösterilmiştir. Şekil 3.4'te durumu gösteren eğriler verilmiştir [12].



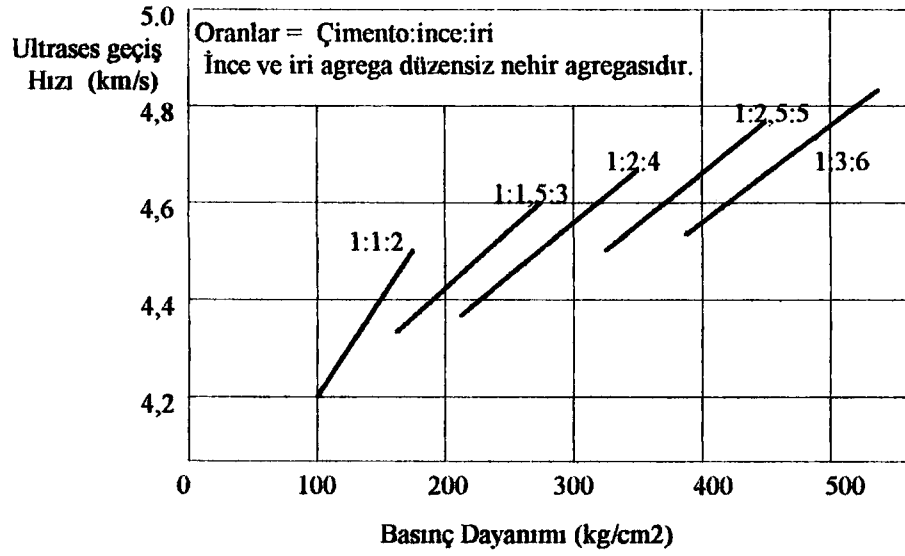
Şekil 3.2. Agreganın Ultrases Geçiş hızı-Basınç Mukavemeti İlişkisi

Genellikle, agregâ maksimum dane çapının büyümesi beton dayanımını arttırmaktadır. Aynı şekilde ultrases hızı da artmaktadır. 30 mm maksimum dane çaplı agregâlarla üretilen betonlar referans alınarak, agregâ maksimum dane çapına bağılı değışimleri aşağıdaki tablo 3.2'de görölmektedir. Agregâ maksimum dane çapı küçüldükçe dane çapı etki katsayısı büyümektedir [10].

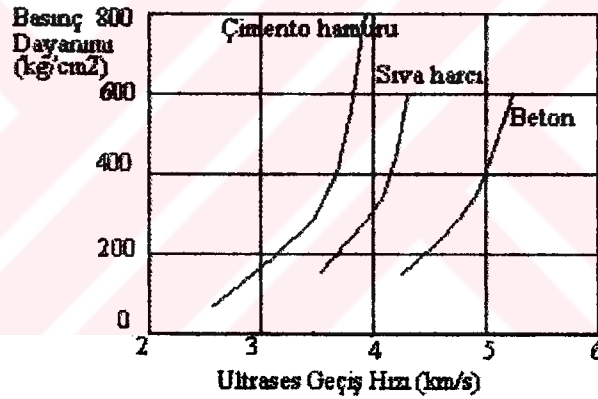
Betonda, 0-1 mm arasındaki ince dane miktarı arttıkça, aynı ultrases hızında daha yüksek dayanım elde edilmektedir. İnce dane miktarı arttıkça genel olarak dayanım azalmaktadır. Çünkü ultrases geçiş yolu uzamakta ve geçiş yolu üzerinde çok sık ortam değışikliği olmaktadır. 0-1 mm çaplı dane miktarı oranı %12 olan beton referans alınarak yapılan deneylerde elde edilen ince dane fraksiyonu etki katsayıları tablo 3.2'de görölmektedir.

TABLO 3.2. Maksimum Dane Çapı ve İnce Dane Fraksiyonu Etki Katsayıları

MAKS. DANE ÇAPI (mm)	ETKİ KATSAYISI (C _Ø)	0-1 mm ARASI İNCE DANE MİKTARI (%)	ETKİ KATSAYISI (C _g)
70-80	0,94	6	0,96
30	1,00	12	1,00
15	1,05	18	1,04
7	1,12	30	1,10
3	1,25	42	1,16
1	1,71	54	1,26



Şekil 3.3 Kaba Agrega Miktarının Ultrases Geçiş Hızına Etkisi



Şekil 3.4. Çimento / Agrega Oranının Ultrases Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

3.3.3. Nem Miktarı

Betonda nem etkisi iki şekilde ortaya çıkar. Bunlar hidratasyon reaksiyonlarını geliştirerek betonun mikro çatlaklarını önlemek; diğeri ise beton boşluklarını su ile doldurmaktır. Her iki halde de nemli betonların içindeki ultrases hızı, eşit dayanımlı kuru betonlara oranla, daha yüksektir. Aynı ultrases hızında, betonun nem miktarına bağlı dayanım değişmelerini gösteren C_h nem etki katsayıları tablo 3.3'te görülmektedir. Benzeri bir sonucu Jones da tespit etmiştir. Eğer beton deneyden önce

kurutulursa ultrases hızı düşse de basınç dayanımı bir miktar artmaktadır [12].

TABLO 3.3.Nem Durumu Etki Katsayıları

NEM DURUMU (SAKLAMA)	ETKİ KATSAYISI (C _h)
ZAYIF (HAVADA)	1,04
ORTA (7 GÜN SUDA+21 GÜN HAVADA)	1,00
YÜKSEK (SUDA)	0,80

3.3.4. Kür Şartları

Aynı ultrases hızı için 10 C° de kür edilen beton 21 C° de kür edilene göre daha yüksek dayanım vermektedir. 32 C° de kür edilen ise ikisi arasında kalmaktadır [3].

Kaplan, laboratuarda ve şantiye koşullarında kür edilmiş numuneler üzerinde yapılan deneylerde ultrases hızı-dayanım ilişkisinin farklı olduğunu ortaya koymuştur. Şantiyede kür edilen numuneler, laboratuarda kür edilenle aynı dayanımı vermiş olmakla birlikte, daha düşük ultrases geçiş hızına sahiptir. Aynı deneylerde, aynı betondan yapılmış kolonlardan alınan karot numuneleri üzerinde ultrases hızı ve basınç dayanımı arasında farklı bir ilişki ortaya koymuştur [2].

3.3.5.Yüzey Koşulları

Beton yüzeyinin pürüzsüz olması gerekir. Transdüserlerin kalıptan alınmış yüzeylere tutturulması tercih edilir. Beton yüzeyi ile transdüserler arasında kuplaj malzemesi sürülmelidir. Kuplaj malzemesi olarak gres yağı, mastik, alçı, sulu kuplaj macunu, gliserin gibi maddeler kullanılabilir.

3.3.6. Katkı Maddeleri

Katkı maddelerinden CaCl_2 eşit ultrases hızına karşı daha yüksek basınç dayanımı göstermektedir. Bu durum katkının artması sonucu mikroçatlakların oluşmasıyla açıklanır. Mikro çatlaklar ultrases hızını, dayanıma kıyasla, daha fazla oranda düşürür. Bir diğer katkı maddesi kalsiyum linyo sülfatın ultrases hızına etkisi yok sayılabilir [22].

3.3.7. Geçiş Yolu Uzunluğu

20 mm'lik agregalar için 100 mm den; 40 mm'lik agregalar için 150 mm'den kısa geçiş yolu uzunluğu kullanılmadığı sürece, geçiş yolu uzunluğunun ultrases hızı üzerindeki etkisi ihmal edilebilir [1].

3.3.8. Betonun Yaşı-Olgunluk Kriteri

Aynı ultrases hızındaki betonlarda yaş arttıkça dayanım da artmaktadır. Çünkü yaşlanan betonda dayanımı fazla düşürmeyen kılcal çatlaklar oluşmaya devam eder. Ayrıca ses hızına duyarlı olmayan hidratasyon ürünlerinin oluşumu devam eder. 28 günlük beton referans alındığında aynı ultrases hızındaki beton yaşına bağlı dayanım değişimini gösteren C_m yaş etki katsayıları tablo 3.4' te görülmektedir [22].

TABLO 3.4. Yaş Etki Katsayıları

BETONUN YAŞI (GÜN)	ETKİ KATSAYISI (Cm)
3	0,73
7	0,87
14	0,95
28	1,00
90	1,10
180	1,18
1 yıl	1,24
5 yıl	1,36

3.3.9. Donatı Çeliği Etkisi

Betonda donatı çeliğinin ultrasonik hız ölçümlerinde önemli bir etkisi vardır. Çelikte ultrases yayılma hızı yalın betonda yayılma hızından 1.2 ila 1.9 kat daha fazladır. Betonarme yapı elemanlarında ultrases hızı yalın beton ile çelikteki hız arasında kalmalıdır. Ölçüm yapılan yerde donatı çeliğini söküp almak mümkün olmayacağına göre ölçümde okunan değerleri bir düzeltme katsayısı ile düzeltmek gerekir. Böyle bir katsayıyı tespit etmek kolay değildir. Donatının ultrases yayılış yönüne dik veya paralel olması, donatı çapı, problemlerin donatıya uzaklığı gibi faktörlere bağlıdır.

Avrupa'da kabul gören düzeltme faktörü BS ve RILEM tarafından önerilen standartlar olup beton içindeki ses yayılım hızı ile beton ve çelik içinde sesin relatif yayılım mesafesi parametrelerine bağlıdır. Chung, betondaki donatı çapını da dikkate alan bir prosedür önermiştir [11].

Donatılar ses yayılış yönüne dik ve sesin geçiş yolu üzerinde ise ultrases hızı şöyle hesaplanır [13].

$$\frac{V_c}{V} = \frac{\left(1 - \frac{L_s}{L}\right)}{\left(1 - \frac{L_s * V}{L * V_s}\right)} \quad (3.2)$$

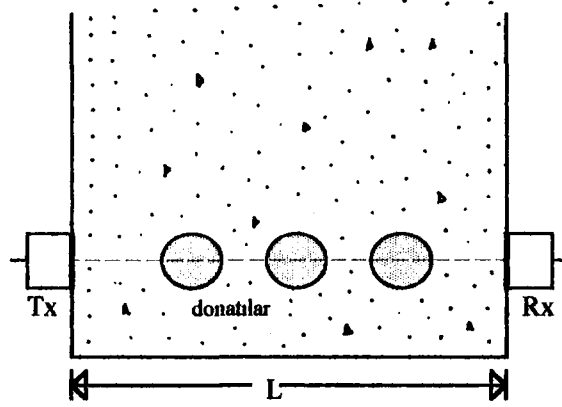
Burada

V_c :yalın betondaki ses hızı

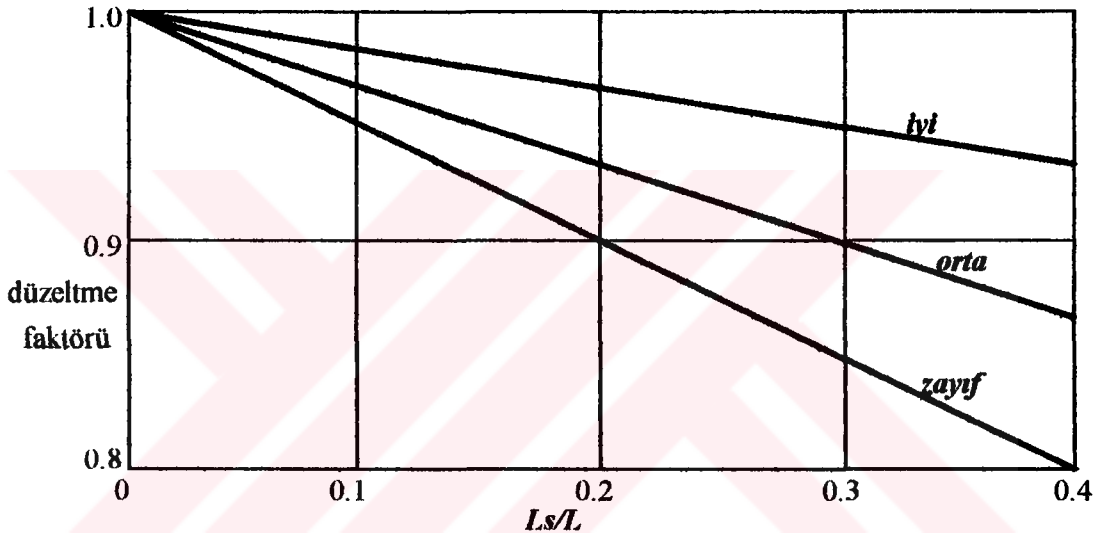
V_s :donatı üzerinde ses hızı

L_s :donatı üzerinde katedilen geçiş mesafesi

L :toplam geçiş mesafesi



L_s :geçiş yolunun donatılara denk gelen toplam uzunluğu



Şekil 3.6. Donatıların Geçiş Yoluna Dik Olması Durumu ve Düzeltme Faktörü

Donatı ölçüm doğrultusuna paralel ise ve aşağıdaki koşul sağlanıyorsa, donatıların ultrases hızı üzerinde etkili olduğu kabulü ile ultrases hızı şu bağıntı ile hesaplanır.

$$\frac{a}{L} < \frac{1}{2} * \frac{V_s - V_c}{\sqrt{V_s + V_c}} \Rightarrow V_c = \frac{2 * a * V_s}{\sqrt{4 * a^2 + (T * V_s - L)^2}} \quad (3.3)$$

Eğer donatının aktif proba olan en kısa uzaklığı küçükse donatının tümünün ultrases hızı üzerinde etkili olduğu düşünülerek betondaki ultrases hızı şu bağıntı ile hesaplanır.

$$V_c = \frac{2 * V_s \sqrt{a^2 + c^2}}{T * V_s - L_s} \quad (3.4)$$

Burada a : donatı ile prob arasındaki en kısa uzaklık (mm)

c : örtü beton kalınlığı (mm)

L_s : donatı üzerinde katedilen geçiş yolu (mm)

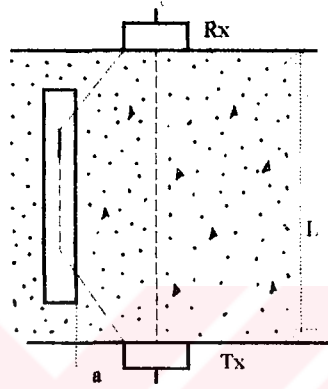
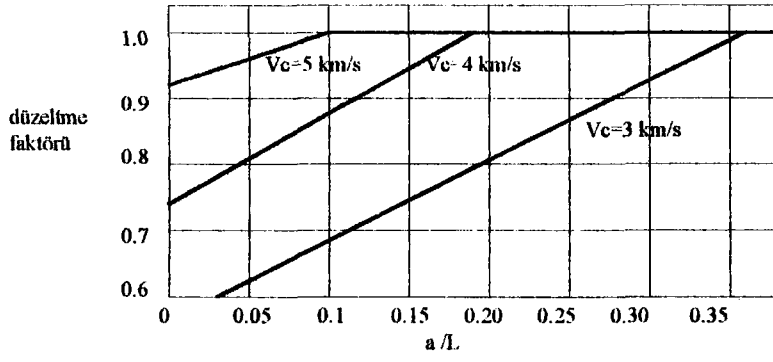
T : ultrases geçiş süresi (mikrosaniye)

V_s : donatı üzerinde ultrases geçiş hızı (km/s)

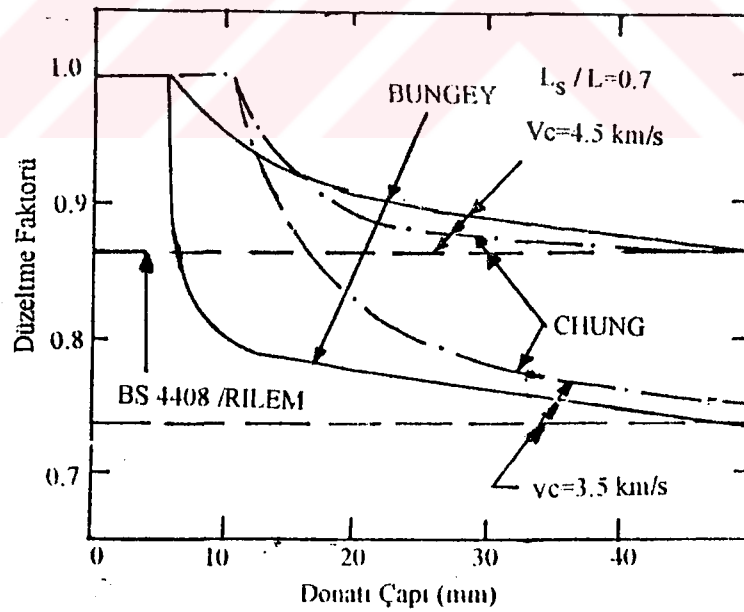
V_c : yalın betonda ultrases geçiş hızı (km/s)

Bungey, yaptığı deneysel çalışmaları sonucunda düzeltme faktörleri ile ilgili şöyle bir değerlendirme yapmıştır [8].

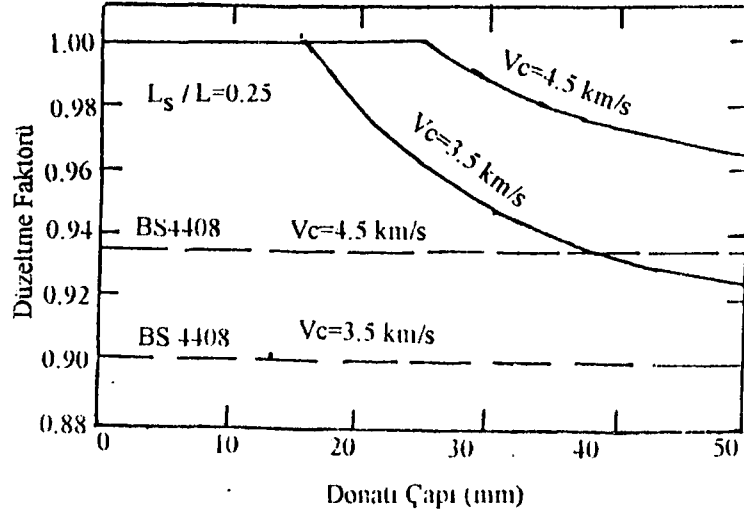
$\frac{V_c}{V_s}$ oranları, donatı çapı, donatı yerleştiriliş şekli ve donatının aktif (verici) proba yakınlığı gibi parametrelere bağlı olarak şekil 3.8 ve 3.9'dan alınabilir. Bu eğrilerde, donatının betonla iyi aderans yaptığı kabul edilmektedir.



Şekil 3.7. Donatıların Geçiş Yolu Üzerinde Olması Durumu ve Düzeltme Faktörleri



Şekil 3.8. Boyuna Donatılar İçin Donatı Çapına Göre Düzeltme Faktörleri .



Şekil 3.9. Enine Donatı İçin Düzeltme Faktörleri

Donatılı betonlarda ultrasesle yapılacak muayenelerde donatı çapı da dikkate alınmalıdır. Donatı çapını dikkate almayan düzeltme faktörleri, betondaki ultrases hızının %30 civarında düşük tahmin edilmesine sebep olabilmektedir. 6 mm çaplı ince donatı çubukları özellikle düşük pulsasyon hızlarında fazla etkilidir. Ölçüm doğrultusuna dik donatı çubukları, sayıları ne kadar çok olsa da pratik olarak etkili değildir. Uygulamada genellikle 20 mm çapa kadar olan bu donatılar ihmal edilebilir. Bunun yanında, çapı 50 mm' ye kadar olan çubuklar çap ve miktarları ile değişen oranlarda etkilidirler. Bu bakımdan ölçüm noktası olabildiğince az donatılı kısımlarda olmalıdır.

Deneyler sonucu geliştirilen düzeltme çarpanları pek çok pratik uygulamalarda 6-50 mm çaplı donatılar için kullanılabilir. Ancak pulsasyon hızı 3-5 km/s arasında olmalı ve betonda çatlak olmamalıdır. Donatılar ölçüm doğrultusuna dik veya paralel olmalıdır. Bu şartlar altında %3'lük bir hata payı ile ölçümler gerçekleştirilmiş olur. Ancak, şantiye uygulamalarında, donatı yerinin tam tespit edilememesi, aderans sorunları, betonda çatlakların varlığı gibi nedenler sonuçların doğruluk derecelerini biraz düşürür. Buna engel olmak için düzeltme çarpanlarından yararlanılır. Betonarme yapılarda karmaşık donatı düzenlemesi olan bölgelerde, özellikle iki doğrultuda sık donatı mevcutsa deney sonuçları özel bir dikkatle değerlendirilmelidir.

3.4.Ultrasonik Test Cihazının Tanıtılması

3.4.1.Aletin Özellikleri

Ultrasonik yöntemle ölçüm yapan pek çok alet bulunmaktadır. Bunların başında "Portatif Ultrasonik Tahribatsız Dijital Göstergeli Ölçme Aleti" (Portable Ultrasonic Non-Destructive Digital Indicating Tester) kelimelerinin baş harflerinden oluşan ve kısaca PUNDIT olarak bilinen alet gelmektedir. Alet aşağıdaki kısımlardan oluşur.

- a)Pundit ölçüm ünitesi (ana ünite)
- b)55 kHz'lik birer adet verici ve alıcı problar (transdüserler)
- c)İki adet bağlantı kablosu
- d)Kalibrasyon için referans çubuk

Şekil 3.10.'da alet ön yüzünün şeması görülmektedir. Aletin düzenli çalışması için şunlara dikkat edilmelidir.

- 1-Alet uzun süre kullanılmadan bırakılmamalıdır,batarya tümüyle boşalabilir. Bu durum şarj edilmeden devamlı kullanıldığında da meydana gelebilir.
- 2-Alet aynı zamanda alternatif akımla da çalışır. İç mekanlarda 220 volt, 50-60 Hz'lik akımla;dış mekanlarda batarya ile çalıştırılmalıdır.
- 3-Batarya 8 saat sürekli çalışabilir. Ortalama olarak 24 saatte şarj olur.
- 4-Probların yere düşmesi veya bir yere çarpmaması gerekir. Aksi halde problemlerin içindeki quartz kristalleri kırılabilir.
- 5-Alet kullanılmadığı zamanlarda fazla rutubetli ve soğuk yerlerde kalırsa düzgün çalışmayabilir. Böyle hallerde, kullanmadan önce kuru ve normal oda sıcaklığında birkaç saat bekletilir.

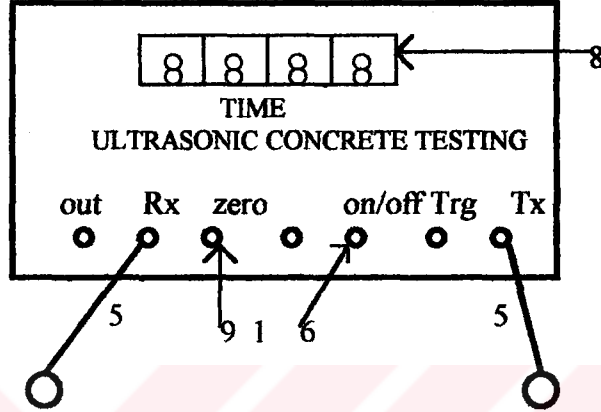
Cihazın ön panelindeki işaretlerin anlamı aşağıda verilmiştir [25].

RX :ultrasonik sinyal verici prob bağlantı soketi

OUT :osilaskop bağlantı soketi. Akustik sinyallerin yükseltilerek osilaskopta izlenmesine yarar.

TRG :osilaskopu eş zamanlama(senkronizasyon) soketi

TX :vericiden gelen sinyallerin alınmasını sağlayan alıcı prob soketi



Şekil 3.10. Ultrasonik Test Cihazının Ön Pano Şeması

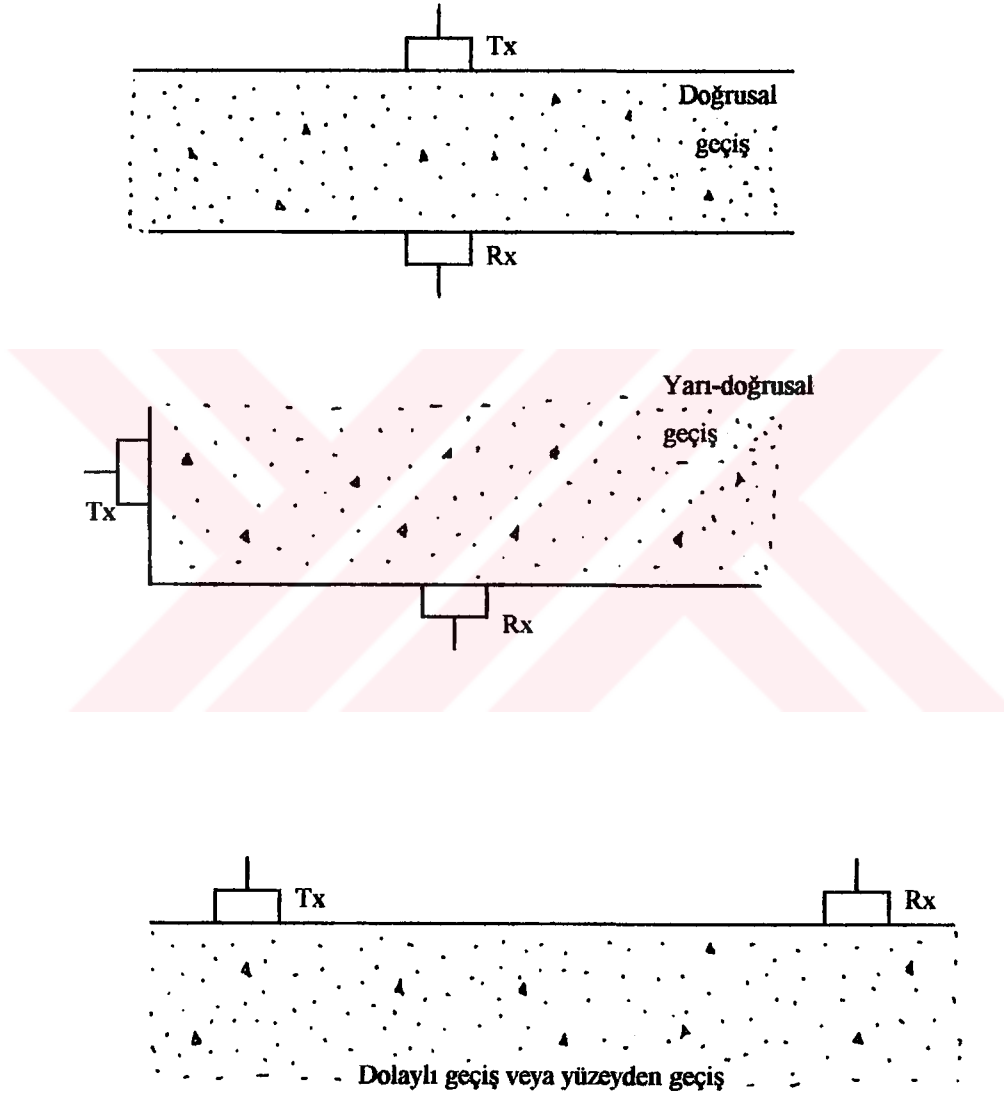
3.4.2. Kalibrasyon Kontrolü

Cihazlar genellikle kalibrasyonu yapılmış olarak piyasaya sunulur. Ancak herhangi bir nedenden dolayı kalibrasyonu bozulabilir. Kalibrasyondan emin olmak için aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

- 5 nolu kablolar aletin TX ve RX soketlerine bağlanır. Kabloların diğer uçlarına da problar takılır.
- Aletin 6 nolu ON/OFF düğmesi ON pozisyonuna getirilir ve ekranda "88888" görüldüğüne dikkat edilir.
- Aletle birlikte sunulan kalibrasyon çubuğunun iki ucuna ince bir film halinde kuplaj malzemesi sürülerek problar bu uçlara tutturulur. Göstergede kalibrasyon çubuğu üzerinde yazılı değer okunmalıdır.
- Eğer iki değer uyuşmuyorsa 9 nolu düğme iki değer birbirini tutana kadar yavaşça çevrilir.

3.4.3. Probların Yerleştirilmesi

Ölçülecek karakteristiğe bağlı olarak, problemlerin, Şekil 3.11'de numune yüzeyine yerleştirme Őekilleri gösterilmektedir. Bu yerleştirme biçimine göre doğrudan, yarı doğrudan veya dolaylı geçiş söz konusudur. Genelde doğrudan geçiş metodunun kullanılması tavsiye edilir. En hassas olan bu metotta, ölçüm mesafesinin belirlenmesi çok kolaydır[26].

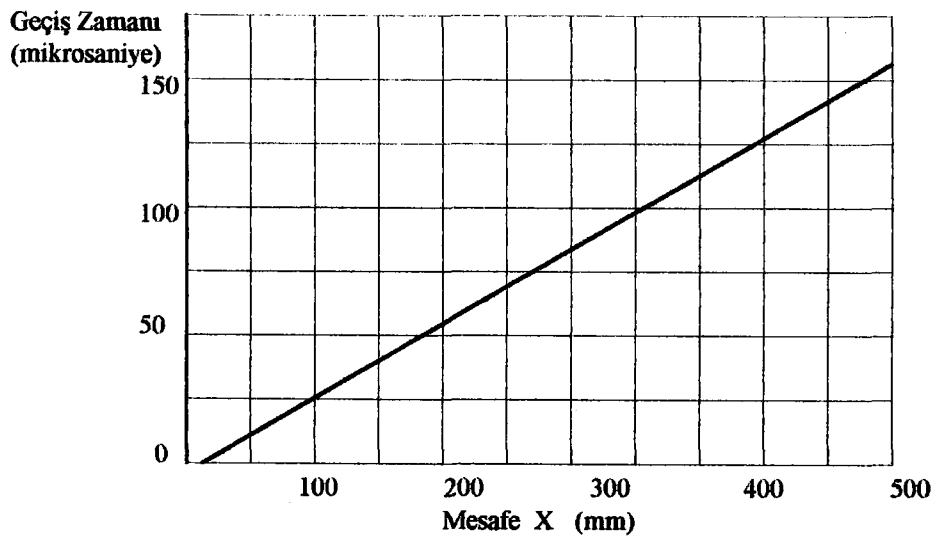
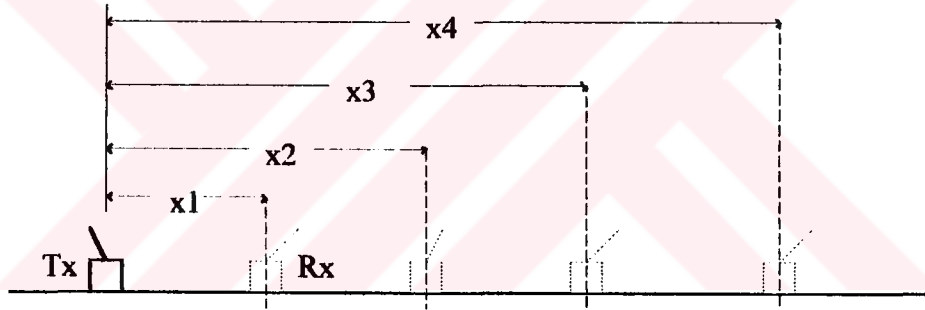


Şekil 3.11. Çeşitli Ultrases Geçiş Őekilleri

Dolaylı geçiş metodu ilk iki metoda nazaran en az hassas olanıdır. Bunun nedeni ölçüm sonucu bulunan geçiş hızlarının derin tabakaları temsil etmeyen ve daha çok yüzeye yakın bölgeden elde edilmesidir. Ayrıca bu metodda geçiş yolu tam olarak hesaplanamaz. Geçiş yolu olarak iki prob arasındaki en kısa uzaklığı almak doğru değildir. Bunun yerine şekil 3.12'de görüldüğü gibi "Etkili Geçiş Yolu" tespit edilmelidir. Bunun için verici prob yüzey üzerine uygun bir noktaya yerleştirilir. Alıcı prob bir doğru boyunca uygun noktalara konularak her seferinde okuma alınır. İki prob arasındaki uzaklıklar ile geçiş zamanı arasındaki bağıntıyı veren grafik çizilir. Çizilen doğrunun eğimi o yüzeydeki ortalama geçiş hızını verir. Bulunan noktalar düzgün bir doğru oluşturuyorsa :

a) Beton homojen olmayıp yüzeye yakın tabaka oldukça farklı kalitededir.

b) Deney noktaları arasında çatlaklar vardır.



Şekil 3.12. Dolaylı Geçişte Etkili Geçiş Yolunun Belirlenmesi

3.4.4. Ölçüm Yapılması

Verici ve alıcı probları aletin ön yüzündeki terminallere bağlanır. Deney yapılacak numune üzerinde uygun bir deney noktası tespit edilir. Geçiş yolu (L) hassas bir şekilde ölçülür. Probların oturacağı noktalara vazelin veya başka bir kuplaj malzemesi sürülür. Problar yüzeye sıkıca bastırılarak beton ile arasında hava kabarcığı kalmayacak şekilde tutulur. Problar yerinden oynatılmadan tutulurken, verici probun gönderdiği ultrases dalgalarının geçiş süresi göstergeden okunur. Eğer okuma sırasında problar veya üzerinde deney yapılan betonda herhangi bir sarsıntı olursa ortaya çıkan gürültü sinyalleri ölçümü hatalı kılar.

Ekran üzerinde sürekli ve aynı değerde bir okuma alınıncaya kadar işlem devam eder. Ekranda okunan değer birbirine çok yakın iki değer arasında sürekli değişiyorsa bu takdirde iki değerın ortalaması geçiş süresi olarak kaydedilir. Geçiş hızı (V) aşağıdaki formülle kolayca hesaplanır.

$$V = \frac{L}{T} \quad (3.5)$$

T: ultrases geçiş süresi

Ölçüm sırasında her iki proba ait bağlantı kablolarının birbirinden ayrık tutulması gereklidir. Aksi takdirde alıcı probun bağlantı kablosu, yakınındaki verici probun kablosundan istenmeyen sinyaller alabileceğinden ölçüm hatası ortaya çıkabilir. Bu tür bir hatayı önlemek için, kabloların konumunu birkaç kere değiştirip okumalar alarak, karşılaştırma yapmak yerinde olur.

Ölçüm sırasında duyarlılığı arttırmak ve bir ölçme hatasına neden olmamak amacıyla uygun kuplaj malzemesini kullanmak önemlidir. Kuplaj malzemesi olarak gres, silikon gres, sıvı sabun, vazelin veya rulman gresi kullanmak uygundur. Kaba ve pürüzlü yüzeyler için kalın petrol jelleri tavsiye edilir.

Laboratuar çalışmaları sırasında geçiş yolu kısa olan numunelerde kullanılan gres kalınlığı fazla olmamalıdır. Bu nedenle vazelin tipi bir

kuplaj malzemesi kullanılır. Ayrıca prob beton yüzeyine iyice bastırılarak dairesel hareketlerle aradaki gres kalınlığı azaltılır.

Genel olarak beton kalitesi küp veya silindir numune basınç deneyi ile belirlenir. Kırılma dayanımı ile geçiş hızı arasında basit bir korelasyon yoktur. Geçiş hızı sonuçları eşdeğer basınç dayanımı ile tarif edilmek istendiğinde, nitelenecek betonla aynı malzeme ve karışım oranlarına sahip bir seri numune hazırlayıp, önce bu numuneler üzerinde ultrases geçiş hızı ölçüldükten sonra preste kırılarak basınç dayanımları belirlenir. Sonra, her iki yolla bulunan sonuçlar arasında korelasyonu tespit etmek gerekir.

Betonun yapıdaki gerçek dayanımı belirlenirken aynı geçiş zamanı için laboratuarda bulunan eşdeğer küp dayanım değerini yapıdan beklemek doğru değildir. Yapıyı temsil eden numunenin, basınç dayanımı, çeşitli nedenlerle yerindeki betonun basınç dayanımından daha yüksektir. Bu nedenle bulunan sonuçlarda belirli bir toleransa izin vermelidir. Yapıda ölçülebilecek minimum kabul edilebilir geçiş hızı ile, karakteristik veya şartnamelerdeki küp mukavemeti arasındaki bağıntıyı veren eğri çizilir. Bu eğri vasıtasıyla yapının herhangi bir noktasındaki ultrases geçiş hızı küp numune dayanımına çevrilebilir. Fakat dayanımı, küp veya silindir basınç dayanımı olarak tarif etmek yerine, mümkünse, yapı elemanının mukavemeti ile, geçiş hızı arasında doğrudan doğruya bir korelasyonla belirlemek tercih edilmelidir. Bu türlü bir korelasyonu kurmak için prefabrike yapı elemanları üretim merkezleri, hazır beton santralleri gibi merkezler uygundur.

4. PULLOUT(ÇEKİP-ÇIKARMA) YÖNTEMİ

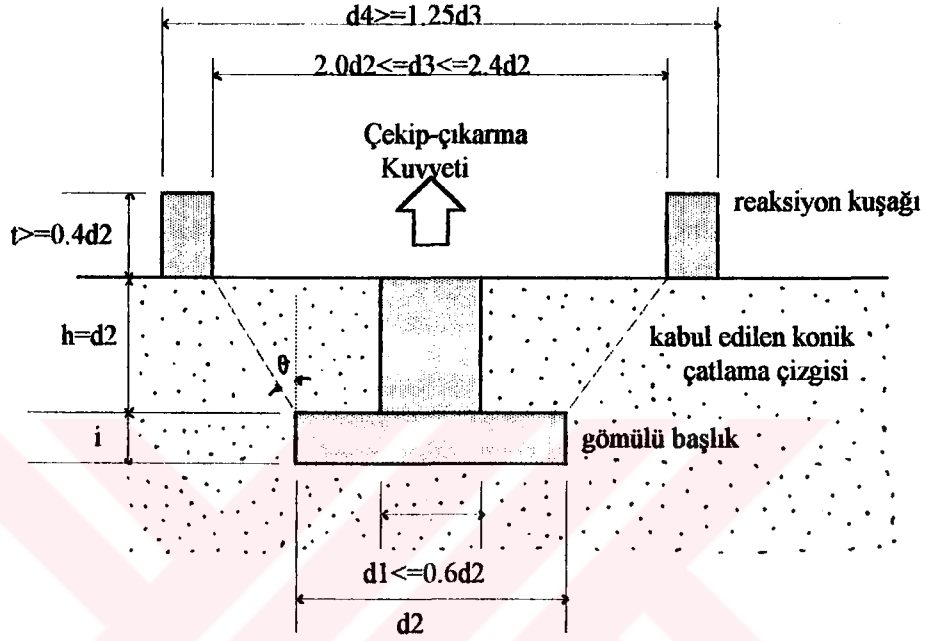
Çekip-çıkarma deneyi beton içine gömülmüş, geniş uçlu kafası olan bir metal çubuğun çekilerek çıkarılması için gerekli maksimum yükü hesaplamaya dayanır. Bir hidrolik düzenek yardımıyla çekme kuvveti uygulanır. Betona gömülü başlık çekilerek çıkarıldığı için kabaca konik şekilli bir beton tabakası ile birlikte çıkar.

Çimento ile reaksiyona girmeyecek özellikle metal başlık beton dökümü sırasında yapı elemanının önceden belirlenmiş bir noktasına gömülür. Buna tam ortasından mesnetlenmiş ve yine korozyona dayanıklı çekme çubuğunun ucu açıkta bırakılır. Beton, mukavemet kazanıp deneye tabi tutulacağı zaman, mevcut çekme çubuğunu tam merkezleyecek biçimde hidrolik bir çekme düzeneği kurulur. Bu düzenek aynı betona ayakları vasıtasıyla basınç uygulayacağı için betonu ezip tahrip etmemesi ve deney hatasına sebebiyet vermemesi bakımından uygun kuşaklarla desteklenerek betona oturtulmalıdır. Sistemdeki hidrolik basıncı gösteren yeterli duyarlılıkta bir manometre olması gerekir. Sistemin yukarı kalkan pistonu gömülü başlığa bağlı çekme çubuğuna takılır ve sistem çalışmaya hazır hale gelir. Sistem çalıştırılır ve gömülü başlık konik şeklinde bir beton ile birlikte çıkar. Ancak sistemin önceden kalibre edilmesi gerekir. Böylece manometreden okunan basınç değeri kuvvete çevrilebilir [4].

Çekip çıkarma deneyi için kurulan düzeneğin şeması şekil 4.1'de görülmektedir. Şema üzerinde ASTM C900-87'ye uygun boyutlar verilmiştir.

Deney noktaları birbirinden en az gömülü başlık çapının 10 katı kadar uzakta bulunmalıdır. Aynı zamanda konik şeklinde kırılması beklenen bölümde donatıya rastlamayacak şekilde deney noktası tespit edilmelidir. Gömülü başlık çapı ile gömme derinliği eşit olmalıdır. Ancak bu boyutların ne olacağı hakkında kesin bir kural yoktur. Reaksiyon kuşaklarının iç çapları gömülü başlık çapının 2-2,4 katı kadar olması uygundur. Koniğin tepe açısı gömülü başlık çapı ve reaksiyon kuşaklarının iç çapı tarafından belirlenip 54 ile 70 cm arasında değişir. Yerinde beton dayanımı tahmin etmede kullanılacağı zaman her 115 m³ beton için en az 5 deney yapıp ortalama almak gerekir. Sonuçların hesaplanması için

manometreden okunan basınç değeri kalibrasyon verileri ışığında kuvvete dönüştürülür.



Şekil 4.1. Çekip-Çıkarma Deneyinin Şematik Kesiti

Eğer betondaki gerilme hesaplanacak ise çatlama beklenen konik dış yüzey alanı bulunur. Çekip-çıkarma kuvveti bu alana bölünürse ve konik tepe açısının yarısının sinüsüne çarpılırsa nominal normal gerilme bulunur. Matematiksel ifade ile:

$$\sigma_n = \frac{P}{A} \sin \theta$$

$$\sin \theta = \frac{(d_3 - d_2) * S}{2} \quad (4.1)$$

$$S = \sqrt{h^2 + \left(\frac{d_3 - d_2}{2}\right)^2}$$

Burada σ_n : nominal normal gerilme (Mpa)

P :maksimum çekip-çıkarma kuvveti (N)

θ : konik tepe açısının yarısı

A :çatlayan yüzey alanı (mm^2)

d_2 :gömülü başlık çapı (mm)

d_3 :konik çatlağın üst ucunun çapı (mm)

h :koniğin yüksekliği (mm)

S :konik yan yüzü (mm)

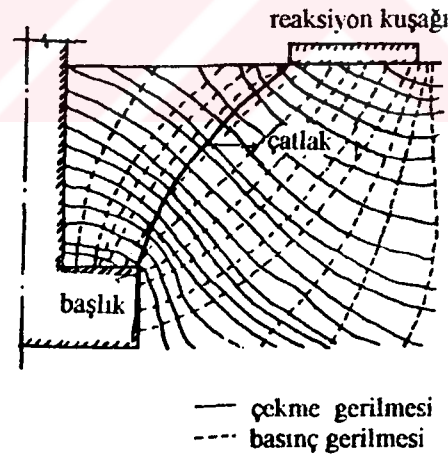
Schmidt çekicinin tersine çekip-çıkarma testinde beton gerilme analizinden sorumlu bir statik yüklemeye tabidir. Sonlu elemanlar metodu ile betonda oluşan gerilmeler çatlak olmadan önce hesaplanmıştır (Stone ve Carino 1984). Her deney için betonun çatladığı yerdeki gerçek gerilmeler hesaplanmıştır (Ottosen 1981). Deneyde üç boyutlu olmayan bir gerilme hali meydana gelir. Şekil 4.2'de radyal düzlemdeki asal gerilmelerin yönleri yaklaşık olarak gösterilmiştir. Çatlak oluşuktan sonra bu eğrilerin değişmesi beklenen bir durumdur. Görülmüştür ki çatlak oluşmadan önce çatlak yüzeyine dik doğrultuda çekme gerilmeleri ve gömülü başlıktan reaksiyon kuşaklarına doğru olan doğrultuda basınç gerilmeleri meydana gelmektedir. Bu asal gerilmelerin şiddeti uniform olmayıp gömülü başlığın üst ucunda maksimum olmaktadır.

Yener ve Chen (1984) tarafından çekip çıkarma yönteminde göçme mekanizmasını araştırmak üzere bir seri deneysel ve analitik çalışma sonucunda şu durum ortaya çıkmıştır. Gömülü başlığın etrafında maksimum gerilme oluşmakta ve bu bölgede tam dairesel bir kırılma hali ortaya çıkmaktadır. Ottosen tarafından yapılan bir başka analitik çalışma sonucunda, göçme mekanizmasının gömülü başlık ile reaksiyon kuşakları arasında dar bir bantta meydana gelen çatlama dolaylı olarak ortaya çıktığı belirtilmektedir. Bu yüzden çekip-çıkarma deneyinin beton basınç mukavemetine doğrudan bağlı olduğu belirtilmiştir.

Yukarıda belirtilen bir kısım araştırmalardan da anlaşılacağı üzere çekip-çıkarma deneyi henüz gelişme aşamasını tamamlayıp tam olgunluğa erişmemiştir. Diğer yerinde testlerde olmayan bir özellik olarak, deney yapılacak noktanın beton dökülmeden önce belli olması gerekliliğidir. Bu deneyin mevcut yapılar üzerinde de uygulanabilen varyasyonu da vardır. Ancak bu metotlar henüz standardize edilmemişlerdir.

Çekip çıkarma deneyinin iyi taraflarından biri kırılma modunun iyice ortaya çıkmasıdır. Böylece betonun statik mukavemet özelliklerinin ölçülmesi olanak dahilindedir. Fakat henüz mukavemet özelliği hakkında tam bir konsensüs oluşmadığı için çekip-çıkarma mukavemeti ile basınç mukavemeti arasında ampirik bir korelasyon kurmak gereklidir.

Çekip-çıkarma deneyinde de deneye tabi noktadaki beton özellikleri elde edilmektedir. Betonun homojen bir malzeme olmadığı bilindiğine göre deney sonuçlarını genellemek güçtür[9].



Şekil 4.2. Gömülü Başlık Etrafında Oluşan Çekme ve Basınç Gerilmeleri

5. RADYOAKTİF METODLAR

Radyoaktif metodlar radyografi ve radyometri olmak üzere iki ana grupta toplanır. Radyografik metodlarda, beton iç yüzünün adeta bir fotoğrafı çekilmektedir. Böylece beton içindeki donatı yeri ve miktarı, boşluklar, çatlaklar, öngerme telleri gibi mevcut durum görülebilmektedir. Radyometrik metodlarda ise, radyoizotoplar vasıtasıyla üretilen gamma ışınları betondan geçirilmekte ve ortaya çıkan radyasyon yoğunluğu ölçülmektedir. Önceden hazırlanmış kalibrasyon eğrileri aracılığı ile de betonun yerindeki yoğunluğu ve kalınlığı bulunmaktadır.

X veya gamma ışın demeti betona çarptığı zaman bir kısmı betondan geçerken bir kısmı da geriye yansır. Betondan geçen ışınlar bir ölçüm cihazı ile ölçülür. Buna doğrudan ölçüm denir. Uygulanması zor olan bu yöntem yerine ışınlar belli bir açı ile beton yüzeyine çarptırılır ve yine aynı açı ile yansır. Yansıyan ışın yoğunluğu Geiger-Müller sayacı denilen bir alet aracılığıyla ölçülür. Bu alet iki elektrod, gaz karışımı ve kayıt ünitesinden oluşur. Kurşun bir kılıf içindeki araca ulaşan radyasyon gaz karışımını iyonlaştırarak iyonik çarpışma yaratır. Bu çarpışma ise iki elektrod arasında pulsasyon yaratır. Güçlendirilerek gelen pulsasyon kayıt ünitesince ölçülerek kayıt edilir. Geiger-Müller sayacının performansı elektrodlar arasındaki voltaj değişiminin bir fonksiyonudur. Belli bir voltaj bölgesi içinde sayacın gösterdiği değer aynıdır. Kozmik veya lokal radyasyondan etkilenen sayacın kullanımı sırasında lokal radyasyonun yarattığı pulsasyon etkisi çıkarılmalıdır. Zamanla gaz iyonlarının bozulması sayacın ömrünü sınırlı kılar. Hatta normal ömrü içinde bile kalibrasyonu gittikçe bozulur. Betonda ilk defa gamma radyografisini donatı yerini belirlemek için 1954 yılında Whiffin kullanmıştır. Daha sonra 1958'de Forrester prefabrike yapı elemanlarında ve normal yapılarıdaki betonda donatı yerini ve beton kalitesini tespit etmek için deney geliştirmiştir. Betonun ön yüzüne 46 cm uzaktan gamma ışını kaynağını yerleştirmiş, betonun arka yüzüne dekurşun kılıf içinde film yerleştirerek gamma ışınlarının beton içindeki geçişini film üzerine aktarmıştır. Beton içinde donatıya denk gelen gamma ışınları betona göre daha fazla absorbe olarak düşük yoğunluklu olarak görüntü oluşturmuştur. Ayrıca donatı imajlarının birbirleri ile karşılaştırılması ile korozyon

etkisi de görülebilmektedir. Beton içindeki boşluklar siyah noktalar halinde, çatlaklar ise siyah çizgiler halinde görülür[21].

Radyografik metodlardan X-ışını radyografisi çok pahalı ve tehlikeli yüksek voltaj ekipmanı gerektirdiği ve de sahada kullanım imkanı olmaması nedeniyle tercih edilmez. Gamma radyografisi nispeten kabul görmüş olup kullanılmaktadır. Cihazın küçük ve taşınabilir olması, 450 mm kalınlığa kadar olan betonlarda kullanılabilir olması avantajıdır. Ancak uzun süreli kullanımı ekonomik değildir. Diğer taraftan her iki metotta da radyasyondan korunma problemi vardır. Radyasyonun hayati tehlike yaratması, radyoaktif kirlenme olasılığı bir dezavantajdır.



6. BİLEŞİK YIKINTISIZ YÖNTEMLER

6.1. Bileşik Yıkıntısız Yöntem Çalışmaları

Yıkıntısız deneylerle beton mukavemetini daha iyi bir yaklaşımla belirlemek için, iki veya daha fazla yıkıntısız yöntem bir arada kullanılabilir. Halen bilinen ve uygulanan bileşik yıkıntısız yöntemler şunlardır:

a) SONREB Metodu: RILEM'in yaptırdığı bir anket sonucuna göre bütün bileşik yöntemler içinde en çok kullanılanıdır. Ultrases geçiş hızı ve beton çekici ile geri tepme indeksinin ölçülmesinden oluşur.

b) Ultrases geçiş hızı + iz çapı ölçümü

c) Ultrases geçiş hızı + çekip çıkarma kuvveti

d) Ultrases geçiş hızı + ultrason attenüasyonu

e) Ultrases geçiş hızı + rezonans frekansı

f) Ultrases geçiş hızı + olgunluk kriteri

g) Beton çekici + iz çapı ölçümü

h) Beton çekici + çekip-çıkarma kuvveti

ı) Beton çekici + olgunluk kriteri

i) Ultrases geçiş hızı + gama ışını attenüasyonu

j) Ultrases geçiş hızı + beton çekici + çekip-çıkarma kuvveti

k) Ultrases geçiş hızı + beton çekici + ultrason attenüasyonu

Bu yöntemlerin hemen hepsinde ultrases geçiş hızı uygulama kolaylığı ve diğer faktörler nedeniyle yer almaktadır. Facaoaru, ultrases geçiş hızı ile geri tepme indisi (SONREB) bileşik yönteminin avantajlarını ortaya koymuştur. Bileşik yöntemle elde edilen beton dayanımının kendini oluşturan tekil yöntemlerden bulunan mukavemetlerin aritmetik ortalaması

olmadığını belirtmektedir[22]. Ultrasonik yöntemle beton basınç dayanımı yüksek bulunmakla birlikte geri tepme indisi ile düşük bulunmaktadır. Böylece bu iki tekil yöntem bileşik olarak kullanıldığında birbirlerini tamamlamaktadır.

Hollanda Yapı Araştırma Kurumu (TNO) dayanım ile geri tepme indisi ve ultrases hızı arasında şöyle bir formül önermektedir.

$$\log \sigma = 0,01149R + 0,3794V + 0,4332 \quad (6.1)$$

σ : betonun küp basınç dayanımı (kgf/cm²)

R: geri tepme indisi

V: ultrases geçiş hızı (km/s)

Formülden yararlanılarak oluşturulmuş eş-dayanım çizgileri şekil 6.1'de görülmektedir.

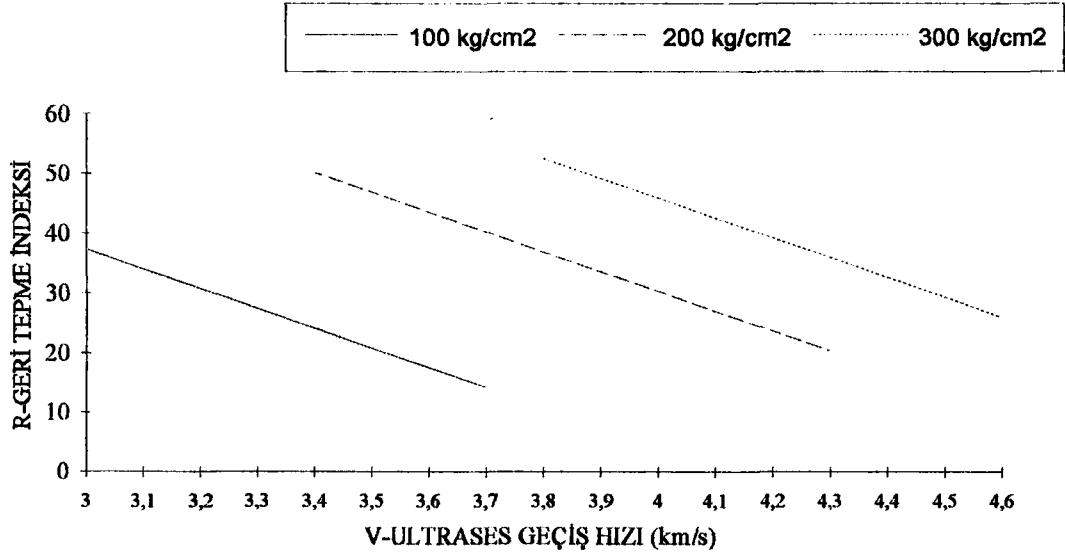
Facaoaru da aynı şekilde basınç dayanımı ile ultrases geçiş hızı ile geri tepme indisleri arasındaki ilişkileri veren eğriler kurmuştur. Bu eğriler şekil 6.2'de verilmiştir. Finlandiya'da araştırmacı Nikkari tarafından beton dayanımı ile ultrases hızı ve geri tepme indisi arasındaki bağıntının belirlenmesi "Rebultra Metodu" olarak bilinmektedir. N tipi Schmidt çekici ve 150 kHz frekanslı Pundit marka ultrasonik cihazla normal portland çimentosu ve nehir agregası kullanılarak üretilen betonlar üzerinde aşağıdaki bağıntı verilmiştir.

$$\sigma = \frac{1}{2} * (102 - \sqrt{132,25 - (0,5 * \sqrt{(40 * V - 280)^2 - (4 * R - 252)^2} - 182)^2}) \quad (6.2)$$

Burada σ : betonun eşdeğer küp basınç dayanımı

V : ultrases geçiş hızı

R : geri tepme indisi



Şekil 6.1.Hollanda Yapı Araştırma Kurumunun SONREB Metodu İçin Verdiği Eş-Dayanım Çizgileri

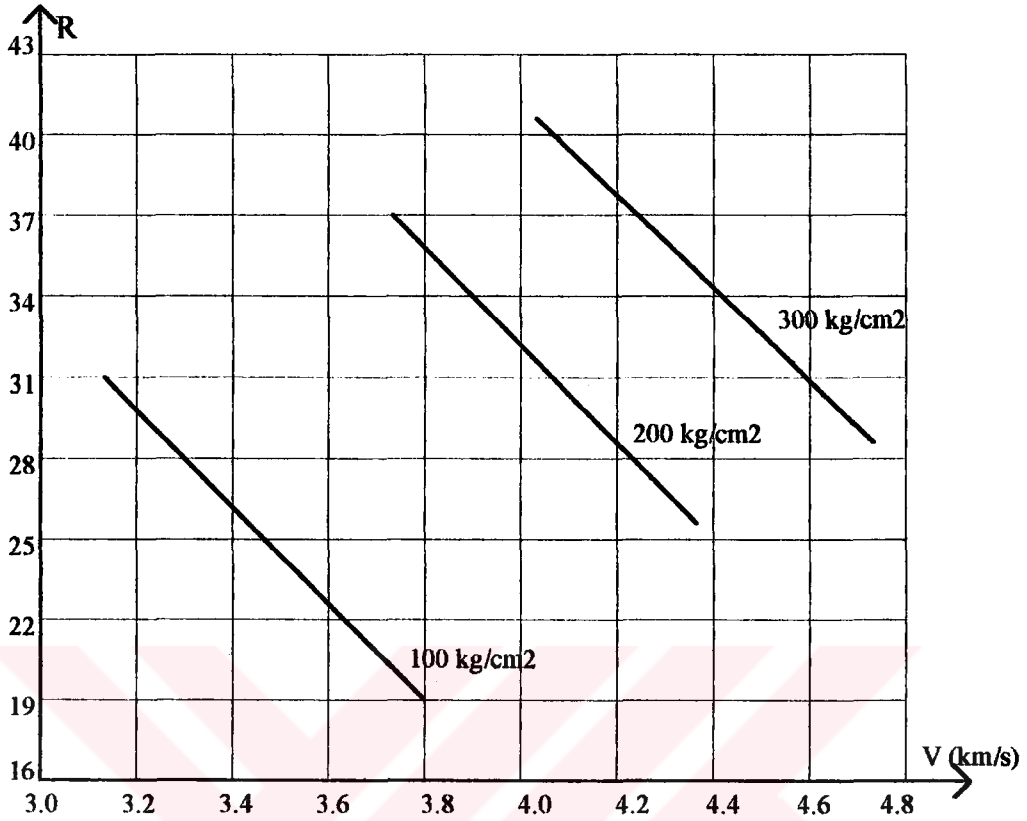
Meynink ve Samarin [18], Avustralya'da 4 büyük bina üzerinde SONREB yöntemi ile yapıdan aldıkları karot numune sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Nemli ortamda saklanan 300 numune üzerindeki testlerle katlı korelasyon denklemini geliştirmişlerdir. 1 haftadan yaşlı ve 3 aydan genç betonlar için geçerli olduğunu belirttikleri bu denklemin bazı sınırlandırmalarla kullanılabilir olduğu kanısına varmışlardır. Denklem ve ilgili sınırlandırmalar şöyledir:

$$\sigma = 24,1 + 1,24R + 0,058V^4 \quad (\text{MPA}) \quad (6.3)$$

a) Korelasyonun sağlandığı test numunelerinin yüzey durumu ile yerindeki betonun yüzeyi arasında fark olmamalıdır.

b) Test silindir numuneleri ile deneye tabi beton arasında nem durumu farklılığı olmamalıdır.

c) Ultrasonik test sırasında donatı çeliğine rastlamamak için gerekli önlem alınmalıdır.



Şekil 6.2. SONREB Metodu İçin Façaoaru Eş-Dayanım Çizgileri

6.2. Yıkıntısız Metodların Kombinasyonu

Bileşik yıkıntısız metodlar, iki veya daha fazla basit yıkıntısız metodla bulunan sonuçların, birleşik değerlendirilmesinden oluşur. Bileşik olarak elde edilen sonuçlar tek bir metodla bulunan sonuçlara göre daha güvenilir olmaktadır. İki farklı metotdan meydana gelen bileşik yöntemle ikili kombinasyon; ikiden fazla basit metotdan meydana gelen bileşik yöntemle çoklu-kombinasyonlar denir. En uygun kombinasyonu oluşturmak için birtakım kriterler aranmalıdır. Bunlar:

- deneyler hızlı ve seri bir şekilde gerçekleştirilebilmelidir.
- özel numune hazırlanmasına gerek duyulmamalıdır.
- ölçümler yapının tümü veya bir kısmının performansını etkilememelidir.

- her basit yöntem beton mukavemetini ölçmek için farklı parametreleri ölçerek sonuca gitmelidir.
- her basit yöntem farklı boyut ve şekillerdeki yapılara ve yapı elemanlarına kolaylıkla uygulanabilmelidir.
- her basit yöntemle tahmin edilen beton mukavemeti birbirine yakın doğruluk düzeyinde olmalıdır.

6.3. Referans Beton Eş-Dayanım Eğrilerinin Oluşturulması

SONREB (ultrases geçiş hızı + geri tepme indisi) bileşik yönteminde yapıda beton dayanımının tahmin edilmesi; sözkonusu yapının referans betonla farklı parametreleri için, bir düzeltme çarpanı uygulayarak, onu referans beton cinsine çevirmeye dayanır. Çünkü deneye tabi tutulacak yapıdaki betonun bileşimi referans betondan farklı olabilir. Referans betonu genellikle:

- çimento cinsi ve sınıfı
- çimento miktarı
- kullanılan agreganın kaynağı ve cinsi
- betona katılan katkı maddesi varsa cinsi ve miktarı

ile tanımlanır. Referans beton üretilirken, farklı mukavemette beton elde etmek için, betonun su/çimento oranı, kür durumu, kompaksiyon derecesi, agrega içindeki ince malzeme miktarı gibi parametreler değiştirilebilir. Her numune, yıkıntılı deneyden hemen önce yıkıntısız deneye tabi tutulur. Ultrases geçiş hızı yönteminde, kalıptan alınmış karşılıklı iki yüzey arasında, doğrudan ölçüm yapılmalı ve her numune için ölçüm sayısı en az iki olmalı, bunların ortalaması alınmalıdır. Schmidt çekici ile yüzey sertliği ölçümünde numuneler yaklaşık 70 kgf/cm² basınç altındayken her numuneye en az 9 en fazla 25 vuruş yapılmak suretiyle ölçüm yapılır. Beton çekici yüzeye dik tutulmalı, yüzey üzerinde görünür boşluk ve agregalara vuruş yapılmamalıdır. Aynı noktaya

yalnız 1 kere vuruş yapılır. Yapılan vuruşlardan geçerli kabul edilecek değerlerin aritmetik ortalaması alınır.

Basınç mukavemeti deneyinde numuneler $\pm\%1$ hassasiyetle kalibrasyonu yapılmış preslerde 2-5 kgf/s hızla yüklenir. Verilen pulsasyon hızı ve geri tepme indeksleri aopsis, basınç mukavemeti ordinat olacak şekilde grafikler ayrı ayrı çizilir. Ultrases hızı ve geri tepme indeksi ile basınç mukavemeti arasında katlı korelasyon yapılarak elde edilen denklemin belirli mukavemet değerleri için ultrases geçiş hızı-geri tepme indeksi grafiği çizilir. Her bir eğri belli bir mukavemet düzeyini gösterir ki bunlar eş-dayanım çizgileridir.

6.4. Bileşik Yıkıntısız Yöntemlerde Etki Katsayıları

Etki katsayıları test edilen beton ile referans betonun kompozisyonu arasındaki farklılıkları dikkate almak üzere deneyler sonucu bulunan mukavemete uygulanan katsayılardır. Deney sonucu betonun efektif dayanımı aşağıdaki bağıntı ile belirlenir.

$$\sigma_{ef} = \sigma_{ref} * C_t \quad (6.4)$$

σ_{ref} : referans betonun basınç dayanımı

C_t : tüm etki katsayıları çarpımı (bileşik düzeltme çarpanı)

Yıkıntısız deneylere ilaveten karot numuneler varsa bileşik düzeltme katsayısını deneysel veya yarı-teorik olarak bulmak mümkündür. Deneysel olarak bulmak için bir grup numune üzerinde yıkıntısız ve yıkıntılı deney yapmak gerekir. Bu durumda:

$$C_t^{exp} = \left(\frac{1}{k} * \sum (\sigma_{pr,i} / \sigma_{ref,i}) \right) \quad (6.5)$$

$\sigma_{pr,i}$: i. numunenin yıkıntılı deneyle bulunan dayanımı

$\sigma_{ref,i}$:referans beton için hazırlanmış eş-dayanım eğrileri yardımıyla yıkıntısız yöntemle tahmin edilen i. numune basınç dayanımı

k :test edilen numune sayısı ($k \geq 3$)

Yapı üzerindeki uygulamalarda karot numune alınacak noktada önce yıkıntısız deneyler yapılır. Bulunan sonuçlar eşdeğer küp ya da eşdeğer silindir mukavemeti olarak ifade edilir. Aynı şekilde karot numunelerin basınç deneyi sonucu da eşdeğer küp veya silindir mukavemetine çevrilerek kıyaslanabilir. Eğer toplam etki katsayısı yarı-teorik yolla bulunacaksa her bir etki katsayısının birbirine çarpımı alınır.

$$C_t^{sthor} = C_c * C_d * C_a * C_g * C_{\emptyset} * C_k \quad (6.6)$$

C_c :çimento cinsi etki katsayısı

C_d :çimento miktarı etki katsayısı

C_a :agrega cinsi etki katsayısı

C_g :agregadaki ince dane oranı etki katsayısı

C_{\emptyset} :maksimum dane çapı etki katsayısı

C_k :beton katkı maddeleri etki katsayısı

Buradaki her bir etki katsayısı bir seri deney sonucu belirlenir. Deneylerde iki grup numune hazırlanır. Biri referans beton bileşiminin aynı, diğeri yalnızca araştırılan etki katsayısı ile ilgili parametrenin değiştirildiği bir kompozisyondadır. Bu şekilde iki grup numune arasındaki dayanım farkından araştırılan etki katsayısı belirlenir.

DeneySEL ve yarı teorik yollardan bulunan etki katsayıları arasındaki fark %20'den az ise bu iki değer şu şekilde birleştirilir.

$$C_t^{test} = (2 * C_t^{exp} + C_t^{sthor}) / 3 \quad (6.7)$$

C_t^{test} : deneysel ve yarı teorik olarak bulunan bileşik etki katsayısı

C_t^{exp} : deneysel olarak bulunan bileşik etki katsayısı

C_t^{sthor} : yarı teorik olarak bulunan bileşik etki katsayısı

Eğer yukarıdaki koşul gerçekleşmiyorsa bunun nedeni araştırılır. Üzerinde şüphe hasıl olan etki katsayıları varsa bunlar yeniden belirlenir. Yarı teorik olarak bulunan katsayılarda beton kompozisyonuna tam hakim olmak gerekir.

6.5. Yaşlı Ve Kompozisyonu Bilinmeyen Betonlarda Bileşik

Yıkıntısız Deneyler

Betonun yaşı, eldeki mevcut bilgilere göre, tam olarak belirlenmeye çalışılır. Ayrıca beton hakkında aşağıdaki bilgileri de kapsayacak geniş bir araştırma yapılır.

- beton sınıfı
- yapımcı firma ve inşaatın başlangıç ve bitiş tarihleri
- yerel olarak kullanılan agrega
- yerel olarak kullanılan çimento
- eğer mevcutsa yapım sırasında yapılan beton deneyleri sonuçları

Bundan sonra beton yüzeyinde ileri derecede karbonatlaşma olup olmadığı araştırılır; varsa ölçüm noktalarına denk gelen karbonatlaşmış kısım sıyrılır. Ancak SONREB metodunda, ileri derecede karbonatlaşma olmamışsa mukavemetin beton yaşından etkilenmediği kabul edilebilir. Bu kabul yine de 1 yıldan yaşlı betonlar için geçerli değildir. Normal hava koşullarına maruz ve ortalama karbondioksit konsantrasyonlu ortamda olgunluk katsayısı 0,90 alınabilir.

6.6. Bileşik Yıkıntısız Yöntemlerde Bilgisayar Destekli

Değerlendirme

Bileşik yıkıntısız yöntemlerde de bilgisayar kullanarak verileri işleme ve sonuçları değerlendirme işlemleri kolaylıkla yapılabilir. Günümüzde bilgisayarların kapasite bakımından çok gelişmiş olması ve bu gelişmenin hızla devam etmesi; diğer taraftan bilgisayarların gittikçe daha küçük hacimlere sığması alınan sonuçların değerlendirilmesinde bu cihazları vazgeçilmez yardımcı durumuna getirmiştir. Esasen bileşik yıkıntısız ve hatta tek başına yıkıntısız deneyleri cazip hale getiren özelliği yıkıntısız ve hızlı bir şekilde sonuç vermesi olduğu için bilgisayar destekli değerlendirme bu işleve yardımcı olmaktadır. Gerek kalibrasyon eğrileri oluşturmada ve gerekse mevcut eğrilere göre beton dayanımı hesaplayıp sonuçları istenen formda kullanıcılara sunmaktadır. Yıkıntısız beton denetim yöntemlerinin değerlendirilmesine bir istatistik problemi olarak bakılabilir. Özellikle bileşik yıkıntısız yöntemlerde doğrusal veya doğrusal olmayan katlı korelasyonları çözümlmek; bunların sonuçlarını çeşitli tablo ve grafiklerle daha kolay anlaşılır halde ortaya koymada bilgisayar desteği gereklidir. Buna ilaveten şimdiye kadar pek çok araştırmacının önerdiği analitik ve grafik fonksiyonları da mevcuttur. Beton mukavemetine etki eden çok sayıda etken ve bu etkenlerin değişik şartlar altında farklı etkileri vardır. Bu nedenlerle yapılarda beton denetimi sırasında hata yapma olasılığı yüksektir. Tüm bu işlemlerin otomasyonu da zorunlu hale gelmiştir. Günümüzde var olan birçok genel amaçlı programlarla bu otomasyon belli bir ölçüde sağlanabilmektedir.

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen otomasyonu sağlamaya yardımcı olabilecek bir program geliştirilmiştir. Programın amacı SONREB metodu ile hem mevcut kalibrasyon eğrilerini kullanarak, hem de özel kalibrasyon eğrileri yaratarak beton mukavemetini hesaplamak, buna ait istatistiki analizleri gerçekleştirmektir. Program akış diyagramı, semboller, program ek 1 'de verilmiştir.

7. BİLEŞİK YIKINTISIZ BETON DENEYLERİ UYGULAMALARI

7.1.Laboratuar Çalışmaları

7.1.1.Küp Numunelerin Hazırlanması Ve Bakımı

Yıkıntısız deneylerde kullanılan Schmidt çekici ve ultrasonik test cihazının kalibrasyonu için laboratuarda; düşük, orta ve yüksek mukavemetli beton numuneler üretilmiştir. Numuneler 15 cm kenarlı çelik kalıplar kullanılarak hazırlanmıştır. Agregası, yıkıntısız deneylerle beton dayanımı belirlenmeye çalışılan yapıda kullanılan agregası ocağından sağlanmıştır. Burada amaç farklı mukavemette beton üretimi olduğundan, beton mukavemetine etki eden su/çimento oranı, kür durumu, granülometri ve sıkıştırma gibi parametrelerde değişiklik yapılarak numune hazırlanmıştır. Öncelikle karışım için bir ön hesap yapılarak bu hesaba göre en az üç adet numuneye yetecek kadar malzemeler ayrı ayrı tartılarak hazırlanmış ve önceden karışım hesabı ile belirlenen miktarlarda karıştırılarak taze beton hazırlanmıştır. Bu taze betonda aynı zamanda çökme hunisi (slump) ve sıkıştırma faktörü gibi diğer testler de yapılmıştır. Daha sonra kalıba yağ sürülmüş ve standarda uygun olarak doldurulan beton, sarsma tablasında veya iç vibratörle titre edildikten sonra üzeri tesviye edilerek düz bir yerde priz almaya bırakılmıştır. Laboratuar koşullarında 24 saat sonra kalıptan çıkarılan numuneler ya suda ya da kür odasında ve açık havada olmak üzere bekletilmiştir. Numunelerin hazırlanmasında kullanılan malzeme özellikleri şöyledir.

Çimento:KPÇ325

Agregası:kum+kırmaçakıl bileşimli (%35 kum)

Katkı:katkı kullanılmadı

Agregadaki su muhtevası:%5 (ortalama)

Mak.Dane Çapı:2 cm

7.1.2.Küp Numunelerin Yıkıntılı Ve Yıkıntısız Testleri

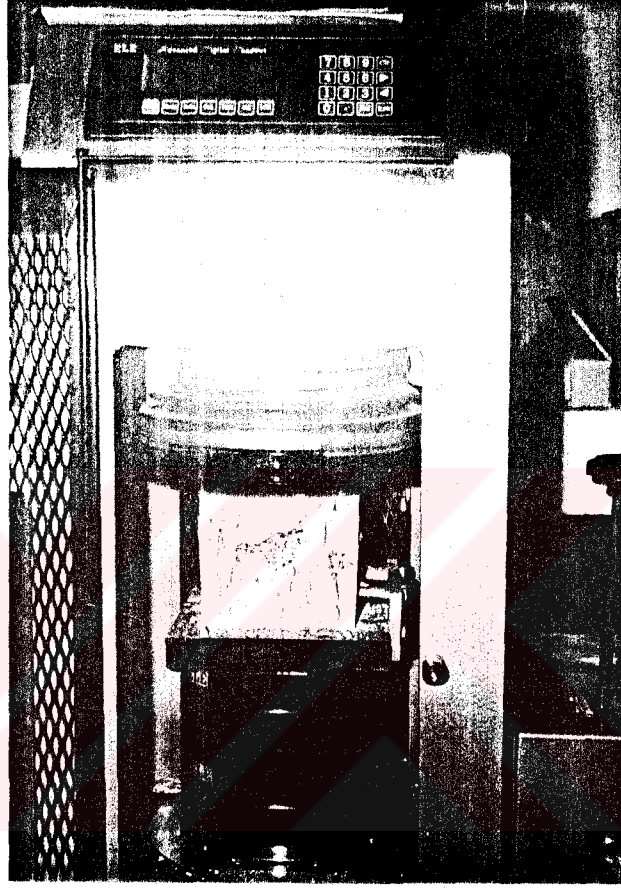
Küp numuneler 28 günlük olduktan sonra, sırasıyla 54 kHz'lik problarla doğrudan ultrases geçiş hızı testi ve N modeli Schmidt çekici test edilerek preste kırılmak suretiyle basınç dayanımları belirlenmiştir. Basınç dayanımı 2000 kN kapasiteli, dijital kumanda ünitesi ve yükleme hızı istenildiği gibi ayarlanabilen, pres kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Söz konusu pres BS 1610 ve ASTM E14 'e uygun olup kuvvet kontrollüdür.



Resim 7.1. Preste Küp Numunenin Schmidt Çekici ile Test Edilmesi

Ultrasonik test için numuneler düz ve sağlam bir zemin üzerine konularak üzerindeki tozlar yumuşak bir fırça yardımıyla temizlenmiştir. Karşılıklı her iki yüzeyin ortasına, kuplaj malzemesi olarak vazelin sürülerek, problarla beton yüzeyi arasında hava kabarcığı kalmayacak şekilde yerleştirilerek sıkıca tutturulmuştur. Test cihazı çalıştırılıp

ultrases geçişi sağlandığında göstergeden ultrases geçiş zamanı okunmuştur. Diğer karşılıklı iki yüz için de bu işlemler tekrar edilmiştir. Böylece her üç karşılıklı yüzden alınan okumaların ortalaması, numunenin ortalama ultrases geçiş zamanı olarak kaydedilmiştir.



Resim 7.2. Küp Numunenin Preste Kırılmış Hali

Schmidt çekici okumalarının alınması için numune prese yerleştirilerek BS 4408 4. kısımda belirtildiği üzere belli bir basınç altında okuma alınmaya hazır hale getirilmiştir (bkz. resim 7.1). Numunenin her yüzünden yine BS 4408 'de verilen kriterlere uygun olarak 10 okuma alınmış ve bunların ortalamaları, o yüzeye ait geri tepme sayısı olarak belirlenmiştir. Numunenin altı yüzüne ait geri tepme sayılarının aritmetik ortalaması, numunenin geri tepme sayısını oluşturmuştur. Tablo 7.1 de her numunenin ortalama ultrases geçiş hızı, geri tepme indeksi ve basınç dayanımı değerleri görülmektedir.

Yıkıntısız testleri tamamlanan numunelerin, preste kırılmak suretiyle basınç dayanımı belirlenmiştir. Numune prese yerleştirilmeden önce, presin alt ve üst başlıkları iyice temizlenmiştir. Numune beton doldurma yönüne dik yüzlerinden biri alt başlık üzerine gelecek şekilde prese yerleştirildikten sonra yavaşça sağa sola oynatılarak numune düşey ekseninin pres üst başlık bloğunun merkezi ile çakışmasına dikkat edilmiştir. Pres üzerinde mevcut dijital kontrol ünitesi üzerinde numune ile ilgili istenen numune boyutları, numune tipi gibi değerler girildikten sonra numune yükleme hızı 2 kN/s olarak belirlenmiş ve pres çalıştırılarak numune kırılincaya kadar yüklemeye devam edilmiştir (bkz. resim 7,2). Yükleme sırasında aletin ince ayarı elle kontrol edilerek, numune kırılincaya kadar darbe etkisi olmamasına dikkat edilmiştir. Yükleme sırasında numunenin yavaş yavaş çatlayarak yenilmesi gözlenmiştir. Numune yenildikten sonra pres kontrol ünitesi uyarı sinyali vermektedir. Uyarı sinyali alındıktan sonra yükleme durdurulmuş ve kontrol ünitesi üzerindeki dijital göstergeden, uygulanan maksimum yük ve tek eksenli gerilme değeri okunmuştur. Kırılan numune alınıp pres başlıkları yeniden temizlenmiş bir sonraki numunenin deneyine hazırlanmıştır.

TABLO 7.1.Küp Numunelerin Ultrasonik Test, Geri Tepme İndeksleri ve BasınçDayanımları

NUMUNE NO	OKUMALAR		BASINÇ DAY. (KG/CM2)	NUMUNE NO	OKUMALAR		BASINÇ DAY. (KG/CM2)
	ULT. (KM/S)	SCHM. ÇEK.			ULT. (KM/S)	SCHM. ÇEK.	
3.2	3,14	17,73	69,94	16.1	4,64	34,71	253,80
3.5	3,13	20,77	71,19	8.1	4,38	33,47	241,03
3.4	3,15	19,83	69,99	2.3	4,55	25,56	87,59
3.1	3,34	18,97	72,06	5.2	4,74	26,07	243,57
3.3	3,36	17,33	75,42	4.3	4,23	26,43	188,90
12.2	3,39	26,77	87,08	4.2	4,41	23,31	196,32
12.3	3,45	26,93	85,65	4.4	4,27	26,42	188,94
1.2	4,44	33,10	174,75	4.6	4,44	25,58	209,57
13.2	4,46	32,44	192,40	4.5	4,51	26,12	218,03
13.3	4,46	33,71	191,31	8.2	4,52	34,11	256,99
13.1	4,48	32,77	193,09	5.3	4,80	28,58	237,14
9.1	4,49	33,17	231,62	5.1	4,91	26,39	325,68
6.2	4,22	24,40	210,13	8.3	4,56	33,16	235,50
6.3	4,27	25,47	212,98	5.4	4,75	28,22	199,77
6.1	4,30	24,35	211,21	7.5	4,29	34,86	248,49
6.5	4,14	28,42	179,19	1.1	4,57	34,00	292,22
2.4	4,16	29,06	162,67	7.1	4,40	32,40	289,27
2.1	4,25	29,20	169,14	10.1	4,41	33,08	262,60
6.4	4,27	27,13	183,38	7.4	4,26	34,23	235,54
16.2	4,29	36,98	314,08	7.3	4,47	33,40	303,07
2.2	4,48	26,85	193,30	7.2	4,49	32,82	290,69
4.1	4,03	25,10	188,34	14.1	4,57	41,53	358,77
8.5	4,20	32,70	184,20	14.2	4,52	40,05	292,97
6.6	4,37	28,70	187,17	15.2	4,41	40,62	293,75
8.4	4,22	33,62	189,68	15.1	4,57	39,70	371,59
11.1	4,03	30,65	176,99				

7.2. Test Yapısı Üzerinde Uygulama

7.2.1. Deney Noktalarının Tespiti

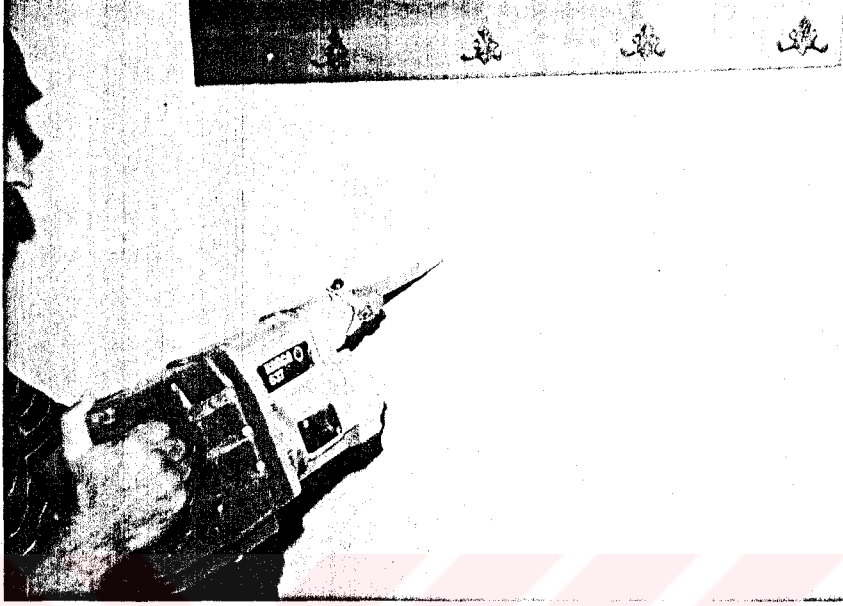
Bileşik yıkıntısız yöntemle beton denetimi yapılacak olan test yapısı halen kullanımda olup 7 yıl önce inşa edilmiştir. Beş kattan meydana gelen yapının taşıyıcı sistemi betonarme perde, kolon ve kirişlerden oluşmaktadır. Yapı üzerinde, kolon ve perdelerden yapının tümünü temsil edecek kadar çok sayıda deney noktası belirlenmeye özen gösterilmiştir. Ancak yapının halen kullanımda olması, bazı mekanlarda deney yapmaya engel olmaktadır. Buna rağmen, her kattan birbirine yakın sayıda deney noktası belirlenmiştir. Deney yapılacak noktalar, kolonlarda yatay ve

düşey doğrultuda olmak üzere kolon ortasına; perde duvarlarda ise perde orta bölgesinden ve kat yüksekliğinin yarısına denk getirilmiştir. Her katta, kolon ve perde duvarlarda deney yapılacak noktalar tespit edildikten sonra; bu noktalar merkez olmak üzere 15 cm kenarlı bir kare çizilerek belirlenmiştir. Bu kareler, her kolon ve perde duvarda karşılıklı iki yüzeyde işaretlenmiştir. Yapıdaki mimari ve kullanımdan kaynaklanan nedenlerle bütün kolon ve perde duvarlarda test yapma imkanı olmamıştır. Fakat üzerinde test yapma imkanı olmayan elemanlar belli bir bölgede yoğunlaşmamış olduğundan bu durum büyük bir sakınca yaratmamıştır. Kaldı ki, her kattaki tefriş ve kullanım durumu birbirinden farklı olduğu için, bu sorun her katta aynı düzeyde de değildir.

7.2.2. Deneye Hazırlık

Sıvası sıyrılacak olan deney yerleri tespit edildikten sonra, bu noktaların darbeli kırıcı ile sıvası sıyrılmıştır (bkz. resim 7.3). Bu işlemler sırasında çizilerek belirlenen bölge dışına taşmamaya dikkat edilmiştir. Sıva kırma işlemi sırasında her elemanda sıva kalınlığının aynı olmaması operasyonu güçleştirmiştir. Zira beklenenden çok daha kalın sıva tabakası ile karşılaşmıştır. Ayrıca, sıva altındaki kalıp yüzeylerinin de düzgün olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, sıvası kırılan yerler çoğu zaman genişletilmek suretiyle düzgün yüzey aranmıştır. Kalıp tahtalarının kayması, bel vermesi ve açılması yüzünden aynı yüzeyde girinti çıkıntı, eğrilik ve yüzey pürüzlükleri önce kabaca keski ile daha sonra karborandum taşı ile giderilmiştir. Diğer taraftan, özellikle perde duvarlarda betonun kalıba iyice yerleştirilmemiş olması, gerekli vibrasyonun yapılmamış olması yanında, kimi zaman, beton içinde çamur yumağı ve kalıp yüzeyinde büyük boşluklar da görülmüştür. Tesviye ederek düzeltme olanağı olmayan bu türlü yerlerin eşdeğeri bir başka deney noktası seçilmiştir. Kolon ana donatılarının ve etriyelerinin pek çok yerde kalıp yüzeyine bitişik olması yüzünden donatının görünür hale gelmesi de bir diğer problem kaynağı teşkil etmektedir. Beton içinde agrega parçalarının büyük olması ve belli yerlere toplanarak boşluklu bir yapı oluşturması tesviye edilen yüzeylerin yeniden bozulmasına neden olmaktadır. Sonuç olarak tüm yapı üzerinde belirlenen deney yerlerinden 12 adedinde yukarıda anlatılan sorunlar çıkmış, bunlardan 5 tanesi tesviye

edilerek düzeltilmiş geri kalan 7 tanesinde ölçüm yapma olanağı bulunmadığından deney yerleri değiştirilmiştir.



Resim 7.3. Darbeli Kırıcı ile Sıvanın Sıyrılması



Resim 7.4. Kolonda Ultrasonik Test Uygulaması

7.2.3. Yıkıntısız Deneylerin Yapılması

Deneye hazır hale getirilen yüzeylerde, sırasıyla ultrasonik test ve Schmidt çekici vuruşları yapılmıştır. Ultrasonik test için kuplaj malzemesi olarak vazelin kullanılmıştır. Problar, hazırlanan yüzeyin orta noktalarına her iki yüzde tam karşılıklı gelecek şekilde yerleştirilir. Hafifçe bastırılarak ve dairesel hareketlerle prob ile yüzey arasında hava kabarcığı kalmaması sağlanmıştır. Arada hava kabarcığı olmadığı halde problemler kendi ağırlığını tartacak kadar duvara yapışmış durumda iken cihaz üzerindeki göstergeden alıcı ve verici prob arasında ultrases geçiş zamanı okunmuştur (bkz. resim 7.4). Geçiş yolu üzerinde donatı olması veya betonda boşluklar olması hallerinde gösterge sürekli değişen anlamsız rakamlar vermektedir. Bu gibi durumlarda donatı veya betondaki boşluk etkisinden kurtulmak için problemlerin yeri karşılıklı olarak bozulmayacak şekilde değiştirilmiştir. Bu değişikliğin de yeterli olmaması halinde okuma alınamamıştır.



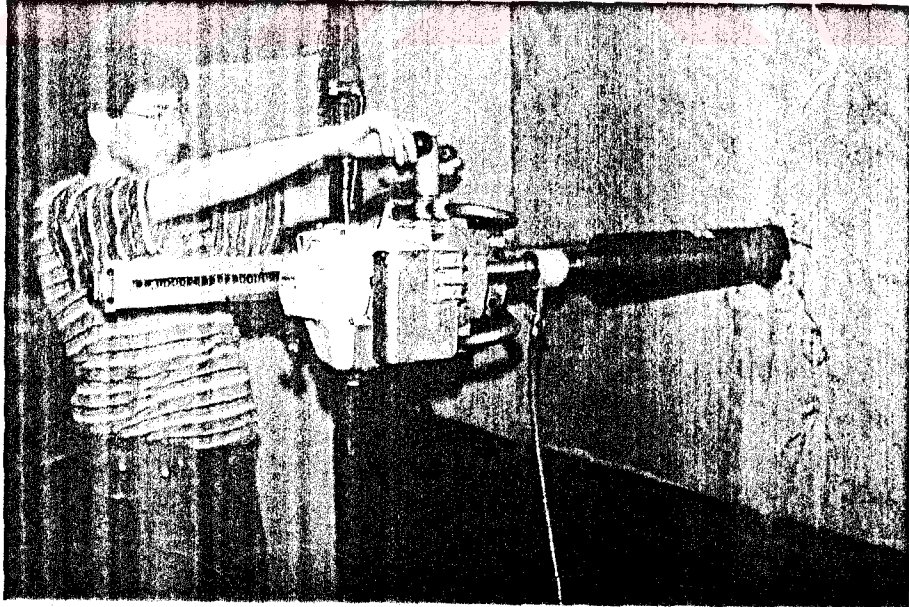
Resim 7.5. Kolonda Schmidt Çekici ile Ölçüm Yapılması

Schmidt çekici okumaları almak için daha önce yapılan ultrasonik test için sürülen vazelin iyice temizlenmiştir. Kalibrasyonu kontrol edilen N modeli Schmidt çekici tam yüzeye dik ve yatay pozisyonda iken okuma alınmıştır. Her yüzeyde 12 vuruş yapılmış, bunların ortalamalarından 5 birimden fazla sapma yapan okumalar iptal edilerek yerine yeni okumalar alınmıştır (bkz. resim 7.5). Aynı noktaya birden fazla vuruş yapılmadığı gibi agrega parçaları ve betondaki boşluklara vuruş yapılmamıştır.

Böylece her kolona her iki yüzde olmak üzere net olarak 24 vuruş yapılmıştır. Her yüzdeki vuruşların ortalaması alınarak o yüzeye ait ortalama geri tepme sayısı bulunmuştur. Tablo 7.2 de ultrasonik test ve beton tabancası vuruşları ortalama değerleri verilmiştir.

7.2.4. Karot Numune Alınması Ve Deneye Hazırlanması

Yapıda, her kattan birer tane olmak üzere 10 cm çaplı karot alınmak suretiyle beton dayanımı yıkıntılı olarak tespit edilmiştir. Karot numune alınacak noktalar kolon ve perdelerde yatay ve düşey donatıya rastlamayacak şekilde, kolon veya perdelerin orta kısımlarından seçilmiştir. Önce, kabaca yer tespiti yapıldıktan sonra, statik yönden



Resim 7.6. Karotiyerle Kolondan Karot Numune Alınması

yapıya zarar vermemek ve donatıların kesilmemesi için ilgili elemana ait donatı yerleşim ve aralıklarına uygun olarak 10 cm çaplı karot bıçağının kullanılmasına karar verilmiştir. Kesin olarak yer belirlemek üzere, her iki yüzde elemandaki donatı çapı, doğrultusu ve donatının yüzeye uzaklığı belirlenmiştir. Bundan sonra donatıların arasından geçecek şekilde karotiyerin yerine kurulması gerçekleştirilmiştir.

Karotiyer üç ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla motor, karot alma bölümü ve şasidir. Karot alma mekanizması yatay bir düzlem içinde 360 derece dönebilecek şekildedir. Aletin kurulması için motor şaftı üzerine karot bıçağı sıkıca takıldıktan sonra somunlar sıkılır. Su hortumu ile su bağlantısı yapılır. Makinanın yerine kurulması için tüp biçimindeki gövdesi tavana kadar uzatılarak sabitleştirildikten sonra besleme ünitesi karot alınacak duvara dik ve düzeçlenmiş olarak yeniden ayarlanır. Motor çalıştırılıp su besleme musluğu da açıldıktan sonra aletin karot alma kısmında bulunan sonsuz vida yardımıyla ilerletilerek yüzey ile temas edince motoru durdurmayacak şekilde basınç uygulanarak beton içine doğru yavaş fakat sabit bir hızla ilerletilir. Numune istenen uzunluğa ulaşıncaya motor durdurulup karotiyer yine sonsuz vida yardımıyla ters yönde ilerletilerek geri çekilir ve bir torna vida yardımıyla kanıtılan numune kökünden kırılır. Kopan karot numunesi çekilerek alınır. Bu şekilde karot alınması işlemi tamamlanmış olur (bkz. resim 7.6). Alınan beton karot numunelerin alt ve üst tabanları, taş kesme makinasıyla kesilerek yanal kenarlarının tabana dikliği sağlanır. Boy/çap oranı 2'den büyük numuneler taş kesme makinasında kesilerek boy/çap oranı 2'ye eşitlenebilir. Birbirine paralel her iki tabana başlık yapılmıştır. Başlık yapımında kükürt-grafit, çimento hamuru veya çimento-alçı karışımı kullanılabilir. Burada başlık yapımı için çimento-alçı karışımı kullanılmıştır. Çimento içine 1/3 oranında alçı karıştırıldıktan sonra su katılarak iyice karıştırılır ve yoğurt kıvamına getirilir. Hazırlanan karışım yatay bir düzlemde duran başlık kalıbı içine doldurulur ve silindir tabanı bunun üzerine oturtularak bastırılır. Bu işlemler seri bir şekilde gerçekleştirilir. Sonra su düzeci ile numunenin üstünden yatay olup olmadığı kontrol edilir. Yatay olmayan numune başlık hamuru sertleşmeden hemen düzeltilir. Başlık hamuru sertleşmiş ise yeniden karışım hazırlamak gerekir. Numunenin aynı zamanda tam düşey durumda

bulunması gereklidir. Çimento-alçı karışımı en geç yarım saat kadar sonra yeterince sertleşir ve numune kalıptan sarsmadan, çatlatmadan çıkartılır. Aynı işlemler diğer taban için de tekrarlanır. Kenarlardan taşarak numune



Resim 7.7. Karot Numunenin Preste Basınç Altında Kırılması

yan yüzeylerine yapışıp kalan karışım uygun bir kesici alet yardımıyla temizlenir. Başlık yapılmış numuneler iki gün suda bekletildikten sonra yüzeyi silinip kurutulan numuneler basınç dayanımı testine hazırdır.

Başlıkları yapılarak deneye hazır hale gelen numune prese yerleştirilir. Yükleme hızı ve pres yükleme modu seçildikten sonra numune üzerinde darbe yaratmayacak şekilde yüklemeye devam edilir. Uygun yükleme hızı kuvvet kontrollü preslerde 2-4 kN/s'dir. Numune

kırıldıktan sonra pres durdurulur ve maksimum yük ile gerilme değeri göstergeden okunur (bkz. resim 7.7).

7.3. Özel Kalibrasyon (Eş-Dayanım) Eğrilerinin Çizilmesi

Laboratuarda hazırlanan ve detayları 7.1'de açıklanan küpler üzerinde yapılan ultrasonik test, geri tepme indeksleri ve küplerin basınç dayanımı testinden elde edilen sonuçlarla özel eş-dayanım eğrileri oluşturulmuştur. Kullanılan ultrasonik cihazın ve Schmidt çekicinin yerel şartlara göre değişikliklerini gözlemlemek amacıyla yapılan bu çalışmadan sonra her iki cihazın kalibrasyonu yapılmış oldu.

Kür durumu, çimento miktarı, kullanılan agrega cinsi, su/çimento oranı gibi parametreleri birbirinden farklı olan küplerden okunan ultrases geçiş hızları bu faktörlere göre düzeltilmiştir. Referans betondan farklı her durum için 2. ve 3. bölümde verilen düzeltme çarpanları uygulanarak referans betona dönüşüm gerçekleştirilmiştir. Referans beton :

- 300 kg KPÇ 325 çimentolu
- 7 gün suda + 21 gün havada saklanmış
- içinde beton katkı maddesi olmayan
- yıkanmış kum ve çakıl kullanılan

beton olarak tanımlanmıştır. Etki katsayılarının kullanımında ara değerler için lineer enterpolasyon yapılmıştır. Referans betondan farklı olarak kullanılan agreganın çakıl ve kırmataş karışımı olmasından dolayı kırmataş etki katsayısı %50 oranında uygulanmıştır. Etki katsayıları vasıtasıyla elde edilen düzeltilmiş ultrases geçiş hızları ve geri tepme sayıları ek 2 'de görülmektedir.

Düzeltilmiş ultrases geçiş hızları, düzeltilmiş geri tepme sayıları ve küplerin basınç dayanımları arasında çok değişkenli regrasyon yapılarak basınç dayanımlarını gösteren eğriler elde edilmiştir. Çoklu regrasyon işlemi lineer, logaritmik ve üstel olarak üç ayrı formda gerçekleştirilmiş;

ultrases geçiş hızı ve geri tepme sayılarına bağlı olarak basınç dayanımını veren c ayrı denklem oluşturulmuştur. Bu denklemler belli mukavemet değerlerinde grafik üzerinde ifade edilerek eş-dayanım çizgileri oluşturulmuştur. Normal betonlar için fiilen geri tepme indeksi çok düşük iken ultrases hızı çok yüksek olamayacağı gibi; ultrases hızı çok yüksekken geri tepme indeksi de çok düşük olamaz. Bu gerçekten hareketle eş-dayanım çizgelerinin belli bir geçerlilik sınırı olması gerekir. Bu çalışmada, sınır olarak deneyler sırasında gözlemlenen uç değerler kullanılmıştır. Eş-dayanım çizgileri 25 veya 50 kg/cm³ lük mukavemet aralıkları ile normal beton sınıflarını kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Yapılan oklu regrasyon işleminin sonucunun rastlantısal olup olmadığını öğrenmek için F istatistiği kullanılmıştır. Bunun için F-gözlemlilik istatistik değeri F-kritik değerinden büyük olmalıdır. F-kritik değeri tablodan alınmıştır [19]. Tablodan okunan F-kritik değeri 3,198; gözlemlilik F-istatistik değeri 66,912 olarak bulunmuştur. şu halde çoklu regrasyonla bulunan ultrases geçiş hızı, geri tepme indeksi ve basınç mukavemeti ilişkisi rastlantısal değildir. Yüksek mukavemetli betonlar bu deneysel çalışmanın içinde olmadığı gibi yukarıda sözü edilen etki katsayıları da normal betonlar içindir. Yüksek mukavemetli betonlar için ayrı bir çalışma yapılması gereklidir. şekil 7.1,7.2,7.3'te sırasıyla lineer, logaritmik ve üstel fonksiyon kullanılarak çok değişkenli regrasyonla elde edilerek belli aralıklarda mukavemet değerleri için çizilmiş eş-dayanım çizgileri verilmiştir. Ayrıca ultrases geçiş hızı, geri tepme indeksi ve basınç mukavemeti arasında ayrı ayrı korelasyon katsayıları da araştırılmıştır.

7.4. Yapıda Beton Dayanımının Bulunması

Deneye tabi tutulan yapıda, betonun yerinde mukavemeti, özel olarak hazırlanan eş-dayanım çizgileri ve yıkıntısız deneyler için çeşitli araştırmacı ve kuruluşların hazırladığı eş-dayanım çizgileri yardımıyla, her kat için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Her katta, o kata ait kolonlardan sıva altı ultrases geçiş hızları ve geri tepme sayılarının ayrı ayrı ortalamaları alınmıştır. Bunlara kat ultrases geçiş hızı ve kat geri tepme

indeksi denir. Diğer taraftan yapıda her kattan birer adet alınan karot numunelere ait hesaplama tablosu tablo 7.3 'te verilmiştir.

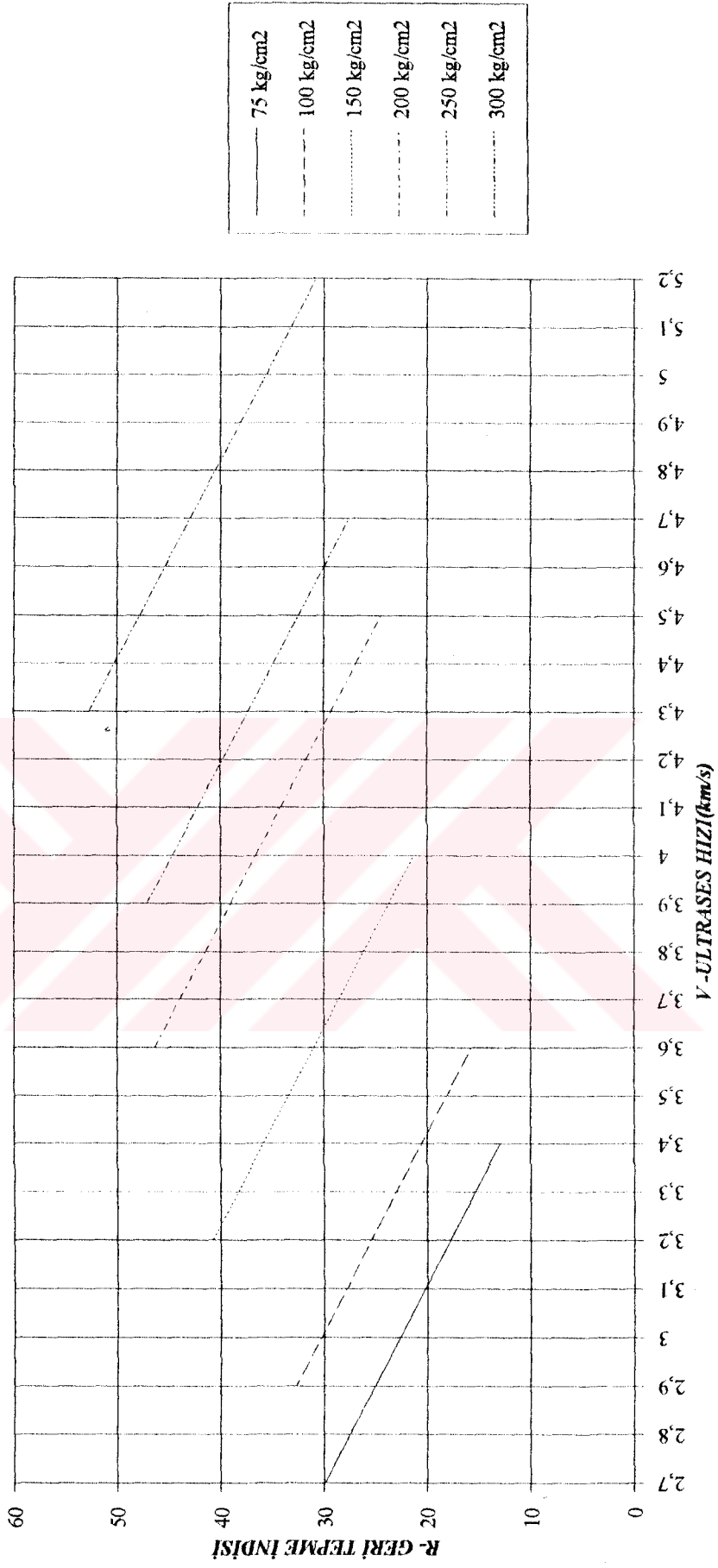
Test yapısının inşaatına 1987 yılında başlanmış ve 1992 yılında tamamlanmıştır. En son yapılan 5. kat betonu 3 yaşında olup 1987'de yapılan 1.kat 7 yaşındadır. Bu yüzden betonun yaş etki katsayısı her katta aynı değildir. Kür durumu her katta aynı sayılmaktadır. Yapım sırasında betona özel bir kür işlemi uygulanmamıştır. Beton normal hava koşullarına maruzdur. Yapımcı firma ve kontrollük biriminden alınan bilgiler sonucunda yapıda kullanılan çakıl normal dere çakılı olmayıp ocaktan alınmış kırmataş ve çakıl karışımıdır. Çimento miktarı 300 kg/m^3 olarak her elemanda aynıdır. Kullanılan agrega maksimum dane çapı 70 mm ve karışımdaki ince malzeme (0-1 mm) oranı %5-6 civarındadır. Bütün bu veriler ışığında her kat için ayrı ayrı olmak üzere betonun yaşı, kür durumu, dozajı, maksimum dane çapı, agrega cinsi ve 0-1 mm arası ince dane miktarı için düzeltme çarpanları belirlenmiştir. Kolonlardaki donatının ultrases geçiş hızına etkisi ise BS ve RILEM tarafından verilen eğrilere uygun olarak 0,90 alınmıştır. Her kolon ve betonarme perde duvar için ayrı ayrı donatı etkisi katsayısı hesaplanmamıştır. Projesinde görülen 2 tip kolon ve 2 tip perde duvar için teorik olarak donatı etki katsayısı hesaplandığında bulunan sonuçlar 0,90 ile 0,92 arasında değişmektedir. Yapım sırasında donatıların kalıp içine projesinde gösterildiği pozisyonda konularak sabitlendiği şüphelidir. Karot numune alımı sırasında manyetik tarayıcı ile donatı yeri tespiti yapıldığında boyuna ve enine donatıların kenarlara ve birbirlerine uzaklığı ve yüzeye yakınlığının değişkenlik gösterdiği ortaya çıkmıştır. Bu durumda projesi üzerinde yapılacak donatı etkisi katsayısı tespit işlemi gerçekçi olmamaktadır. Deneye tabi tutulan kolon ve perdelerin her birinde donatı yeri, doğrultusu, birbirlerine olan uzaklıkları önemli ölçüde değişmektedir.

Düzeltilme katsayılarının birbirleri ile çarpımları sonucu her kat için ortak düzeltme çarpanı bulunmuştur. Bu çarpanlar eş-dayanım çizgilerinden okunan mukavemet değeri ile çarpılarak kat bazında tahmin edilen beton dayanımı ortaya çıkmıştır. Bu işlem lineer, logaritmik ve üstel korelasyonla bulunan eş-dayanım çizgileri vasıtasıyla da ayrı ayrı

yapılmıştır. Ayrıca Facaoaru, Hollanda Yapı Araştırma Kurumu, Nikkari ve ISO'nun verdiği eş-dayanım eğrileri vasıtasıyla bulunan mukavemetler de hesaplanmıştır. . Ayrıca yapının tümü için 5 katın hesaplanan beton dayanımları ortalaması alınmıştır. Yapıda ortalama beton mukavemeti, her kattan alınan karot numunelerin basınç deneyi sonuçları ortalaması alınarak bulunmuştur. Yıkıntısız testlerle bulunan ortalama beton mukavemeti gerçek sonucu özel eş-dayanım eğrileri yardımıyla %99 oranında yakalamaktadır. Çeşitli araştırmacıların eş-dayanım çizgileri ile kıyaslandığında yukarıdaki oran % 90 olarak gerçekleşmektedir. Bileşik yıkıntısız yöntemle bulunan test yapısı beton dayanımını bulmada test yapısını referans betona dönüştürmek için uygulanan kat bazında etki katsayıları tablo 7.2 (a),(b) de görülmektedir. Tablo 7.4 te ise her kat için ayrı ayrı ve katlar ortalaması olarak tahmin edilen beton dayanımları, yapının tümü için tahmini beton dayanımı ve diğer araştırmacıların elde ettiği dayanım eğrileri kullanılarak yapılan kıyaslamalar görülmektedir. Her katta yapılan ultrases ve Schmidt çekici okumaları ek 3'te verilmiştir.

EŞ-DAYANIM ÇİZGİLERİ

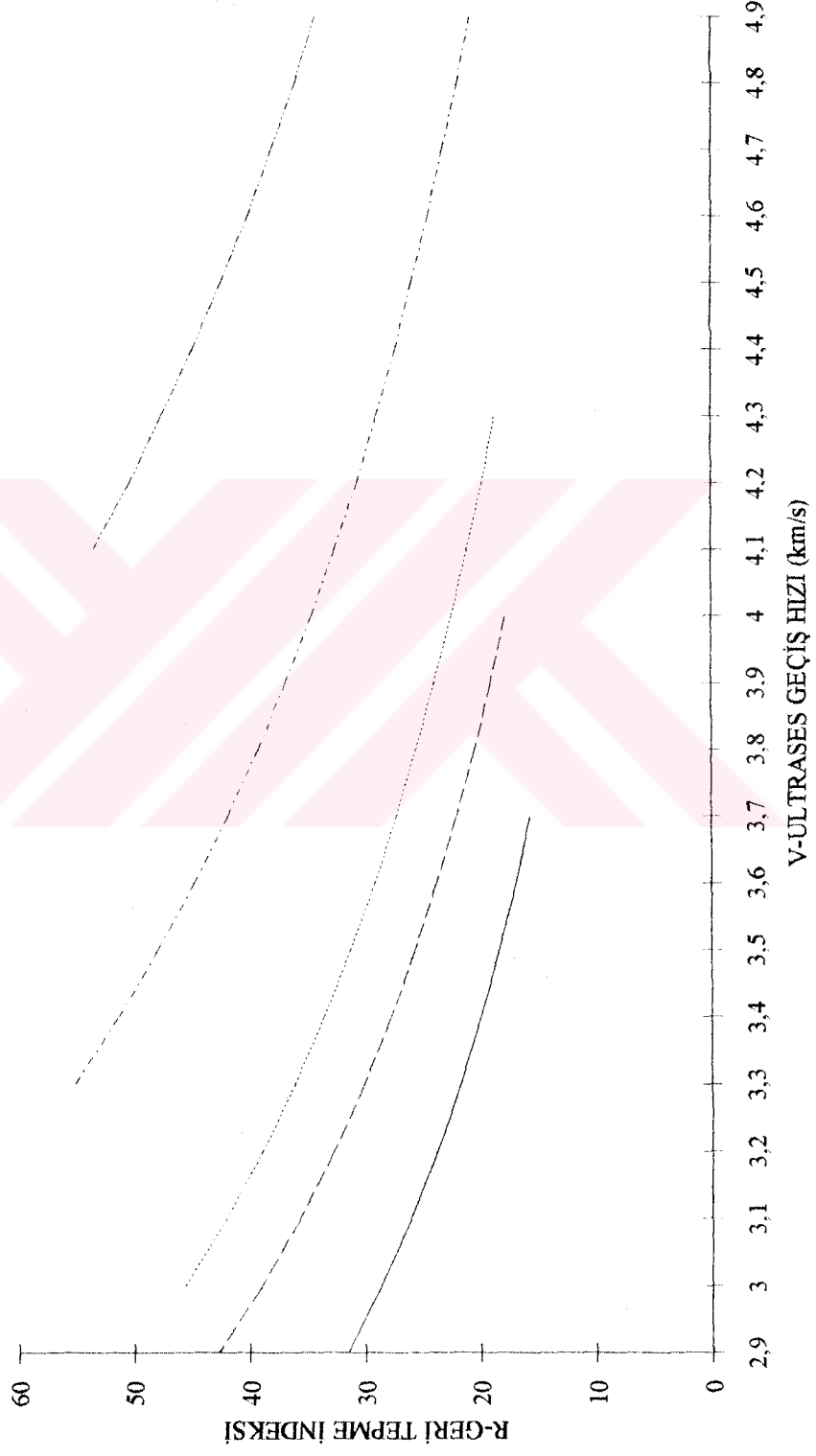
(lineer çoklu regresyon ile)



NOT: Verilen değerler standart küp mukavemeti cinsindedir.

—	100 kg/cm ²
- - -	150 kg/cm ²
.....	200 kg/cm ²
- . - . -	250 kg/cm ²
- . - . - . -	300 kg/cm ²

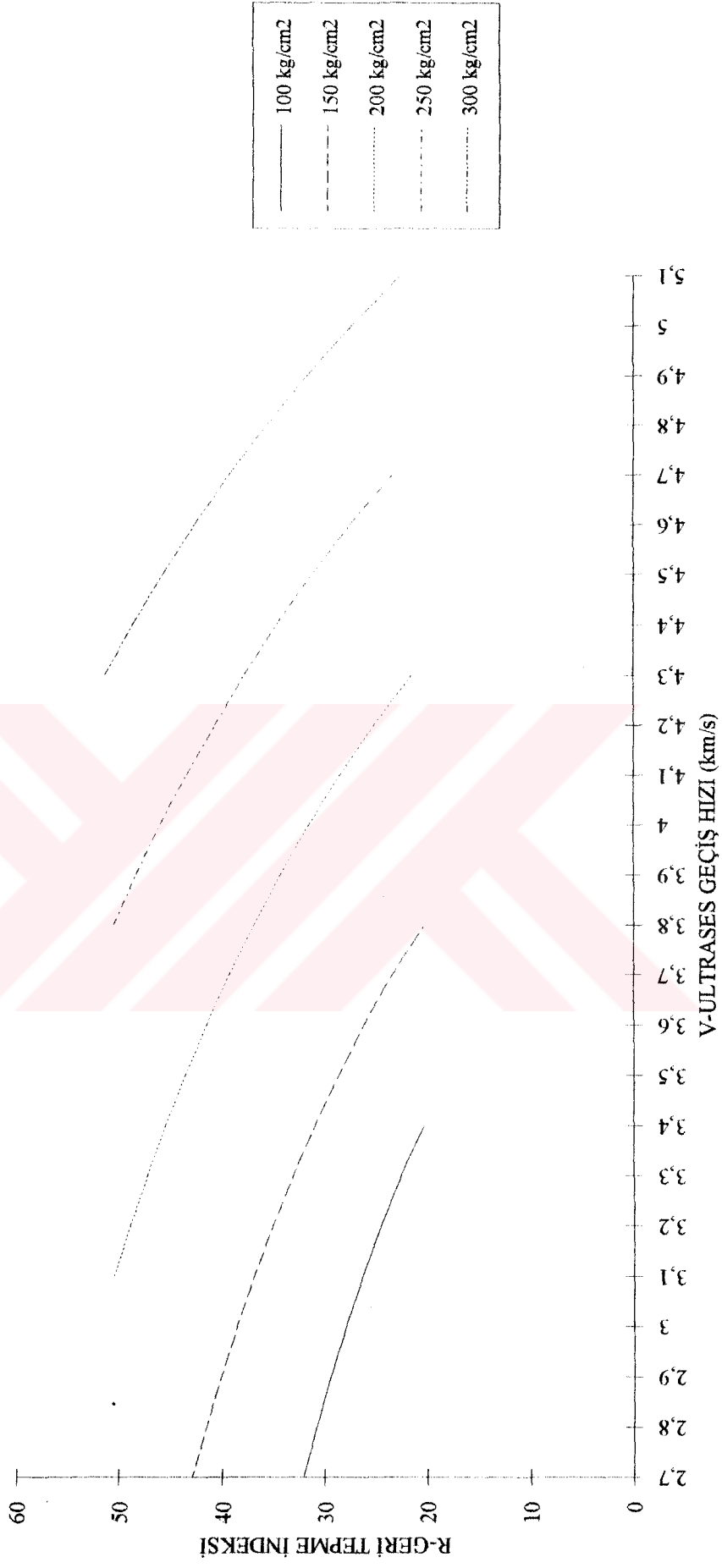
EŞ-DAYANIM ÇİZGİLERİ
(logaritmik çoklu regresyon ile)



NOT: Verilen mukavemet değerleri standart küp mukavemeti cinsindedir.

EŞ-DAYANIM ÇİZGİLERİ

(üstel fonksiyon kullanarak çoklu regresyon ile)



NOT: Verilen mukavemet değerleri standart küp basınç mukavemeti cinsindedir.

TABLO 7.2.(a). Kat Bazında Geri Tepme İndeksi Düzeltme Çarpanları

KAT NO	R ORTALAMA	DÜZELTME ÇARPANLARI			BİLEŞİK ÇARPAN (C _T)
		YAŞ	KÜR	DOZ	
1	34,6	0,8	0,94	1,06	0,79712
2	29,8	0,8	0,94	1,06	0,79712
3	29,5	0,8	0,94	1,06	0,79712
4	29,8	0,8	0,94	1,06	0,79712
5	27,4	0,8	0,94	1,06	0,79712

TABLO 7.2.b.Ultrasonik Test Sonuçları ve Düzeltme Çarpanları

KAT NO	ULTRASONİK TEST İÇİN KAT BAZINDA DÜZELTME ÇARPANLARI								BİLEŞİK ÇARPAN (C _T)
	ULTR HIZI (km/s)	DÜZELTME ÇARPANLARI							
		YAŞ	KÜR	DOZ	DONATI	MAX. D.ÇAPI	0-1 mm ORANI	AGREG. CİNSİ	
1	3,712	1,36	1,04	0,99	0,9	0,94	0,96	0,925	1,0519395
2	3,37	1,36	1,04	0,99	0,9	0,94	0,96	0,925	1,0519395
3	3,17	1,33	1,04	0,99	0,9	0,94	0,96	0,925	1,028735
4	3,45	1,3	1,04	0,99	0,9	0,94	0,96	0,925	1,0055304
5	3,15	1,3	1,04	0,99	0,9	0,94	0,96	0,925	1,0055304

TABLO 7.3 BETON KAROT NUMUNE BASINÇ DENEYİ

KAROT NO	BOY/ÇAP ORANI (h/d)	ENKESİT ALANI (cm ²)	KIRILMA YÜKÜ (kgf)	BASINÇ DAYANIMI (kg/cm ²)	DÜZELTME FAKTÖRÜ D1	h/d=2 BAS. EŞD. (kg/cm ²)	DÜZELTME FAKTÖRÜ D2	15X30 SİLİNDİR BAS. EŞD. (kg/cm ²)	20 cm KÜP GEÇİŞ KATS. D3
1	2,15	79,64	9348	117,38	0,9009	130,29	1,035	125,88	0,78
2	2,54	78,23	6381	81,57	0,967	84,35	1,035	81,50	0,78
3	2,02	78,07	5556	71,17	0,997	71,38	1,035	68,97	0,78
4	2,21	78,23	6840	87,43	0,9873	88,56	1,035	85,56	0,78
5	1,11	78,23	5281	67,51	1,133	59,58	1,035	57,57	0,78
YAPININ TÜMÜ İÇİN ORTALAMA BASINÇ DAYANIMI									83,90

TABLO 7.4. GERÇEK MUKAVEMET İLE ÇEŞİTLİ BİLEŞİK YIKINTISIZ TAHMİNİ MUKAVEMETLER

V (km/s)	R	GERÇEK ÇEŞİTLİ KALİBRASYON EĞRİLERİ İLE KIYASLAMA									
		MUK. (kg/cm ²)	LİNEER (kg/cm ²)	LOG. (kg/cm ²)	ÜSTEL (kg/cm ²)	FACAOARU (kg/cm ²)	CUR 18 (kg/cm ²)	NIKKARI (kg/cm ²)	ISO (kg/cm ²)		
3,71	34,60	161,39	143,05	152,03	132,93	153,98	152,15	160,98	150,92		
3,37	29,80	104,49	107,16	115,75	104,52	93,00	92,80	125,86	92,23		
3,17	29,50	88,42	90,98	97,72	96,24	82,17	79,65	92,05	80,00		
3,45	29,80	109,70	107,52	116,13	102,54	88,41	114,33	111,58	93,72		
3,15	27,40	73,80	82,16	88,06	86,39	67,75	71,73	70,00	63,76		
YAPININ TÜMÜ İÇİN ORTALAMA DEĞERLER											
3,37	30,22	107,56	106,17	113,94	104,52	97,06	102,13	112,09	96,13		
yakalama oranı %		99%	106%	97%	90%	95%	104%	89%			
TAHMİNİ DAYANIM		%90 OLASILIKLA MINİMUM 80,34 KG/CM2									
TAHMİNİ DAYANIM		%95 OLASILIKLA MINİMUM 65,26 KG/CM2									

NOT: BASINÇ DAYANIMLARI EŞDEĞER KÜP MUKAVEMETİ OLARAK VERİLMİŞTİR.

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. Bileşik yıkıntısız yöntemlerden SONREB metodu ile bulunan beton mukavemeti test yapısının tümü için karot numune deney sonuçlarını %99 oranında tutmaktadır. Aynı sonuçlar her kat için ayrı ayrı karşılaştırıldığında sonuçlar şöyledir:

1. katta % 11 hata

2.katta % 3 hata

3.katta % 3 hata

4.katta % 2 hata

5. katta % 11 hata

Görüldüğü gibi kat bazında da betonun yerinde dayanımı bileşik yıkıntısız yöntemle maksimum $\pm\%11$ hata ile bulunmuştur. Bileşik yıkıntısız beton deneyleri üzerinde araştırma ve uygulama yapan çeşitli araştırmacı ve kurumların önerdikleri eş-dayanım eğrileri ile test yapısına uygulanan SONREB yöntemi deney sonuçları kıyaslandığında durum şöyledir:

Facaoaru % 10 hata

CUR 18 (Hollanda Yapı Araştırma Kurumu) % 6 hata

Nikkari % 4 hata

ISO % 11 hata

Test yapısında kullanılan malzemelerin ve yerel uygulama farklılıkları göz ardı edilse dahi en kötü ihtimalle gerçek mukavemet %11'lik bir hata ile bulunmuştur.

2. Yıkıntısız deney sonuçlarını analiz etmek üzere hazırlanan bilgisayar programı yapılan analiz sonuçları da yukarıda verilen değerlerle uyum içindedir. Normal dağılım düşünülerek yapılan analiz sonucu yapıda ortalama beton mukavemeti 134.76 kg/cm² bulunmuştur. %90 ve %95 olasılıkla alt sınır değerler sırasıyla 85.90 ve 72.16 kg/cm² olarak hesaplanmıştır.

3. Bileşik yıkıntısız beton deneyleri ile betonun yerinde dayanımının bulunması için öncelikle bölgesel ve daha sonra yurt çapında eş-dayanım eğrileri oluşturmak gereklidir. Böylece gerçek mukavemet daha büyük bir oranda güvenle bulunabilecektir.

4. Kalibrasyon eğrilerinin oluşturulması için beton mukavemetine etki eden her faktörü dikkate alarak çok sayıda birbirinden farklı mukavemette numuneler hazırlanmalıdır. Diğer taraftan her ülke hatta her bölge için beton mukavemetine etki eden faktörler belirlenmelidir. Bu şekilde beton dayanımı üzerinde doğrudan etkili olan bu katsayılar daha gerçekçi bir şekilde belirlenmiş olacaktır.

5. Yıkıntısız yöntemler genel olarak güvenlikle kullanılabilen yöntemler olarak ön plana çıkmaktadır. Bütün dünyada en çok tercih edilen ultrases geçiş hızı ve geri tepme indeksi bileşimidir. Ultrases geçiş hızı ve Schmidt çekici bileşik kullanıldığı takdirde ayrık durumda ortaya çıkardıkları sakıncaları ortadan kalkmaktadır.

6. Yapım aşamasındaki yapılarda bir taraftan numune alarak yıkıntılı deneyler yapılırken diğer taraftan bileşik yıkıntısız yöntemle hızlı ve güvenilir bir şekilde beton mukavemeti denetlenebilir. Genel olarak deprem kuşağında bulunan Türkiye'de yapıların depreme karşı dayanımlarının tespitinde bileşik yıkıntısız yöntemler önemli bir aşamayı oluşturabilir. Takviye edilmesi gerekenler varsa takviye edilerek önlem alınmalıdır.

7. Yapımı tamamlanmış ve halen kullanımda olan yapılarda yapıya ve kullanıcıya hiç zarar vermeden yapıdaki betonun yerindeki dayanımı belirlenebilir. Öncelikle hayati önem taşıyan yapılar, toplu konutlar olmak

üzere tüm yapılarda beton denetimi yapılarak ülke ekonomisine de katkı sağlamak mümkündür.

8. Çeşitli nedenlerle ortaya çıkan hukuki sorunlarda yapıya zarar vermeden uygulanabilirliği ve bileşik olması yüzünden güvenilirliği daha fazla olan bileşik yıkıntısız deneylerle yapının tümünde veya bir kısmında beton dayanımı bulunur.

9. Deneye tabi tutulacak yapılarla ilgili özel bir araştırma yapmak , yapıda kullanılan malzeme ve çevre koşullarını öğrenmek sonuçların sağlıklı olması için bir zorunluluktur. Projesine uyularak yapılmış ve uygulamaya ait her türlü teknik resim, hesap ve diğer bilgilerin mevcut olduğu hallerde daha güvenli sonuçlar alınır. Öte yandan deneyi gerçekleştirecek personelin eğitilmiş kalifiye personel olması da gerekmektedir.

10. Her deneyde öncelikle özel hazırlanmış abaklar tercih edilmelidir; bu mümkün değilse daha genel amaçlı abaklar kullanılabilir.

11. Ultrases geçiş hızı ölçümü için doğrudan sıva üstünden uygulama yapma imkanı araştırılmalıdır. Bu çalışmada sıva altından ve sıva üstünden yapılan ölçümler sonucu bir korelasyon olduğu belirlenmiştir. Sıva üstünden yapılan uygulama ile sıva altından yapılan uygulama arasında %5'lik bir hata vardır. Ancak pratik uygulamalarda sıva üstünden çalışmanın sayılamayacak kadar çok yararı olduğu aşikardır. Bu konu ayrı bir araştırma konusu olarak detaylı bir şekilde araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Akbaş, B.,1992, "Yıkıntısız Beton Denetim Yöntemleri",Yüksek Lisans Tezi, YTÜ
- [2] Akman, S, Taşdemir, M. A., 1977, "Ultrasonik Ölçmelerle Beton Dayanımının Belirlenmesi", Bülten, İTÜ Mim. Fak. Y.A.K., Sayı 1, s:46-55
- [3] Ang, H, S; Tang , H, Wilson, 1982, "Probability Concepts in Engineering Planning and Design", Vol I, Basic Principles,John Wiley and Sons Inc.
- [4] ASTM C 900-87, "Standard Test Method for Pullout Strength of Hardened Concrete"American Society for Testing and Materials
- [5] ASTM C803-90,1992, "Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete",American Society for Testing and Materials
- [6] Aydemir, A., 1962," Beton Deneş Tabancaları". Bayındırlık Bakanlığı DSİ Gen. Müd.yayın no:384, Ankara
- [7] BS 4408, Part 4, 1971,"Non-Destructive Methods of Test For Concrete", British Standards Institution,London
- [8] Bungeş, J. H., 1982, "Influence of Reinforcement on Pulse Velocity", SP 82-12

- [9] Chung, H. W. Law, K. S., Oct. 1983, "Diagnosing In-Situ Concrete by Ultrasonic Pulse Technique", Concrete International, p:42-49
- [10] Facaoaru, I. , 1972, "Essais des Constructions", Editeurs Balan, Ş-Aran, M.chapitre 5, Methodes et appareils pour les essais nondestruktifs, Edition Eyrolles, s.215-282
- [11] Facaoaru, I., 1982, "Romanian Achievement in Nondestructive Strength Testing of Concrete", ACI Symposium, 1982.3
- [12] Jones R. 1953, "Testing Concrete by Ultrasonic Pulse Technique", Proc. Highway Research Board, Vol 32
- [13] Jones, R, Facaoaru, I. 1969, "Recommendations for Testing Concrete by the Ultrasonic Pulse Method", Materiaux et constructions, Bulletin RILEM, No:10, s:275-284
- [14] Kaplan, M. F., 1958, "Compressive Strength and Ultrasonic Pulse Velocity Relationships for Concrete in Columns", ACI Journal, No:54-37
- [15] Lew, H. S , et al, 1989, "In-Place Methods for Determination of Strength of Concrete", Reported by ACI Committee
- [16] Malhotra, V, M, 1984, "Concrete Technology For Developing Countries"
- [17] Malhotra V. M., 1989, "In Situ/NDT of Concrete-A Global

- Review", ACI Sp. 1982.1
- [18] Meynink, P, Samarin, A, 1979, "Assesment of Compressive Strength of Concrete by Cylinder Cores and Non-Destructive Tests", RILEM Int. Symp. on Quality Control of Concrete Structures, Vol I, s 127-134, Stockholm
- [19] Murdoch, J; Barnes J, A , 1988. "Statistical Tables For Science, Engineering, Manegement and Business Studies, Third Edition, Macmillan Education
- [20] "Operating Instructions, Concrete Test Hammer", Type N and NR, Proceq, 1977
- [21] Orchard, D. F., 1981, "Concrete Technology Volume 2, Practice" J.Wiley & Sons
- [22] Sevim, İ., 1979, "Bileşik Yıkıntısız Beton Denetimi Üzerine Bir Çalışma", M.M.L.S. Diploma Tezi, İTÜ,İstanbul
- [23] Stefanescu, A., Goenga, 1974, "Sur la variation causee par la nature des agregats dans la relation entre lavitease de propagation des ultrasons a' travers le beton et sa resistance-RILEM", 2nd Int.Symp. on nondestructive testing, Conctanza, Vol II
- [24] Sturup, V. R, Vecchio, F. J. and Caratin, H., 1982, "Pulse Velocity as a Measure of Concrete Compressive Strength",

ACI SP 1982.11

- [25] "Use and Instruction Manual" , PUNDIT,ELE Intenational
- [26] "Yapı Malzemeleri Laboratuvar El Kitabı (Beton)", Sangari
A.Ş, 1991



E1.BİLGİSAYAR PROGRAMI

E1.1.Programın Kullanılabileceği Yerler

Program genel olarak aşağıdaki durumlarda kullanılabilir.

- a)Yapımı devam eden bir yapıda beton kalite denetimi
- b)Hukuki anlaşmazlık halinde yapımı süren veya tamamlanmış bir yapıda beton dayanımını hesaplama
- c)Hasar görmüş yapılarda beton dayanımının tespit edilmesi
- d)laboratuar çalışmaları sırasında numunelerin dayanımının bulunması

E1.2.Programın Özellikleri

Programda Sonreb metodu ile alınmış verilerin analizi yapılarak beton basınç dayanımı hesaplanmaktadır. Tahmini beton basınç dayanımı lineer ve üstel formda iki ayrı çok değişkenli regrasyon analizi sonucu bulunmaktadır. Hesaplanan ortalama beton basınç dayanımına ilaveten %90 ve %95 olasılıkla basınç mukavemetinin alabileceği alt sınırlar da bulunmaktadır. Kullanıcı kendi kalibrasyon eğrilerini lineer ve üstel formda hazırlayıp beton basınç dayanımını bulabileceği gibi elinde daha önceden denenmiş ve güvenle kullanılabilecek kalibrasyon denklemleri halinde isteğine göre kendi hazır denklemlerine göre de hesap yapabilir. Programda kullanılan lineer ve üstel formda regrasyon bağıntıları şu şekildedir:

$$Y=A1+A2*R+A3*V \quad (\text{lineer regrasyon})$$

$$Y=A1*R^{A2}*e^{A3*V} \quad (\text{üstel regrasyon})$$

Program QBASIC 4.5 programı ile yazılmış olup masaüstü bilgisayarlarda veya dizüstü bilgisayarlarda çalışır. Ancak, yerinde mukavemet tespitinde cep bilgisayarlarının daha kullanışlı olduğu düşünülürse program kolayca cep bilgisayarları için de kolayca adapte

edilebilir. Programda veriler doğrudan program çalışmaya başlayınca sırasıyla istenmekte ve hesaplar yapıldıkça sonuçlar ekrana yazdırılmaktadır. Prgramda kullanıcı veri girerken hata yapmışsa girilen veriler işleme konmadan önce kullanıcıya üzerinde düzeltme yapip yapmayacağı ve ekranda görmek isteyip istemediği sorulur. Program özel eş-dayanım çizgileri hazırlamada kullanılan küp numuneler üzerindeki okumaları analiz etmek suretiyle test edilmiştir. Buna göre elde edilen lineer regrasyon sonuçları şu şekildedir:

$Y=A1+A2*R+A3*V$ bağıntısında katsayılar:

$A1=-236.43$, $A2=3.269$, $A3=79.20$, $r=0.842$ ve tahmini standart hata=38.17 olarak bulunmuştur. Aynı regrasyon analizi Microsoft Excel 4.0 paket programında yaptırıldığında :

$A1=-236.89$, $A2=3.261$, $A3=79.38$, $r=0.852$ ve tahmini standart hata=39.31 olarak bulunmuştur.

Bu program verileri önceden hazırlanmış bir veri dosyasından okuyup sonuçlarını yine bir çıktı dosyası yaratıp bunun içinde saklayabilecek şekilde geliştirilebilir. Diğer taraftan, regrasyon formlarının sayısı çoğaltılarak optimum sonuca daha da yaklaşılabılır.

E1.3.Programın Kullanılması

Program kullanıcıya kendi kalibrasyon eğrilerini mi yoksa mevcut bir denklemi mi kullanacağını sorduktan sonra verilen cevaba göre iki ana işlemi yapar.

1-Kullanıcı kendine özel kalibrasyon eğrilerini kullanacak ise:

- a)Kalibrasyon eğrisi için hazırlanan ve üzerinde ölçüm yapılan numune sayısı girilir.
- b)Numunelere ait ultrases geçiş hızı, geri tepme indeksi ve preste kırılmak suretiyle elde edilmiş basınç dayanımları girilir.
- c)Gerekliyse istenen düzeltmeler yapılır.

d)İstenirse girilen değerler ekranda görülür.

e)Program, lineer regrasyon bağıntısını ve istatistiki sabitleri hesaplayarak ekranda görüntüler. Devam etmek için herhangi bir tuşa basılır.

f) Program, üstel formda regrasyon bağıntısını ve istatistiki sabitleri hesaplar, ekranda görüntüler. Devam etmek için bir tuşa basılır.

g)Bu iki bağıntıdan hangisinin regrasyon katsayısı daha büyükse onu kullanarak beton basınç mukavemeti ölçülüp ölçülmeyeceğini sorar.

ı)Beton basınç mukavemeti belirlenmek istenmiyorsa program sona erer.

i)Beton basınç mukavemeti belirlenecekse kaç adet numune veya yapıda kaç adet noktadan ölçüm alındığını sorar. İlgili değerlerin girilmesi istenir.

j)Girilen değerlerde düzeltme yapılıp yapılmayacağı sorulur.Düzeltilme yapılacaksa ilgili düzeltilmiş degerler girilir.

k)Girilen değerlerin işleme konmadan önce ekranda görülüp görülmeyeceği sorulur. Cevaba göre işlem devam eder.

l)Eğer numune sayısı 30'dan küçükse t dağılımı tablosundan %90 ve %95 olasılıklar için standart t değerleri sırasıyla girilir.

m)Program hesaplanan ortalama, %90 ve %95 olasılıkla alt sınır değerlerini ekrana yazar .

2-Kullanıcının elinde mevcut bir lineer veya üstel kalibrasyon denklemi varsa:

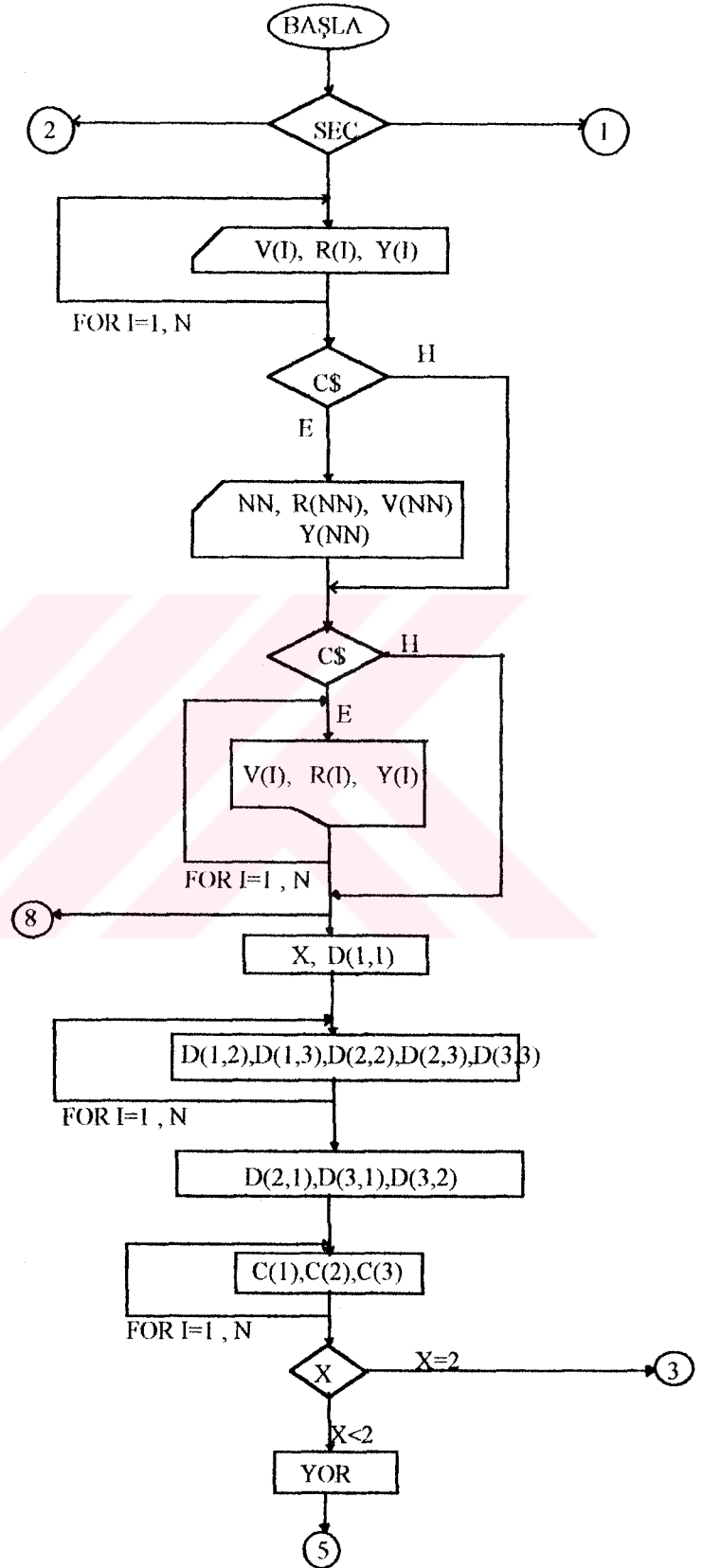
a)Regrasyon denkleminin türü sorulur. Verilen cevaba göre o türe ait hesap için gerekli katsayılar ve ölçülen değerler girilir.

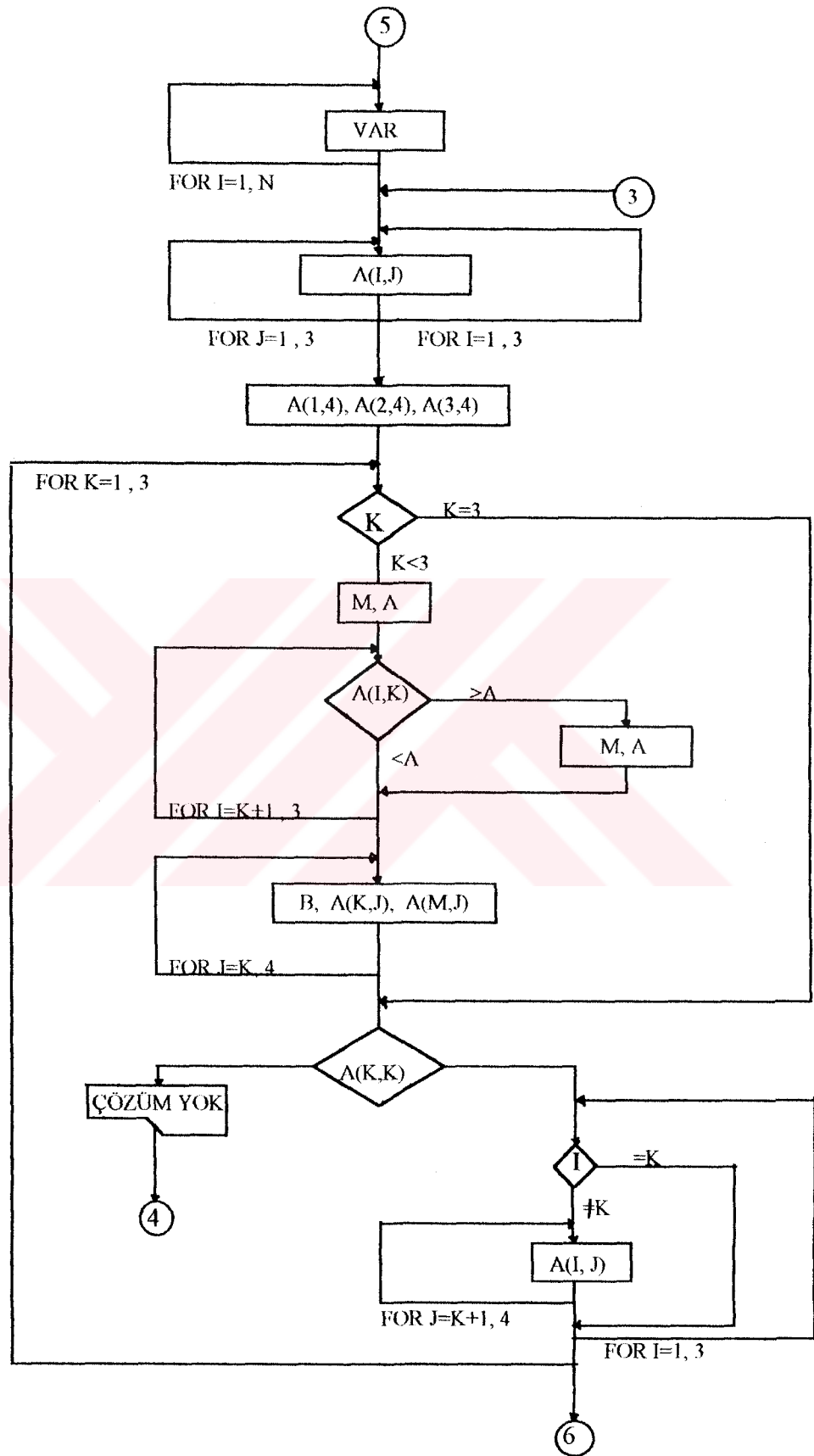
b)Program verilen bağıntıya göre ortalama beton basınç dayanımını hesaplar. Sonucu ekranda görüntüler.

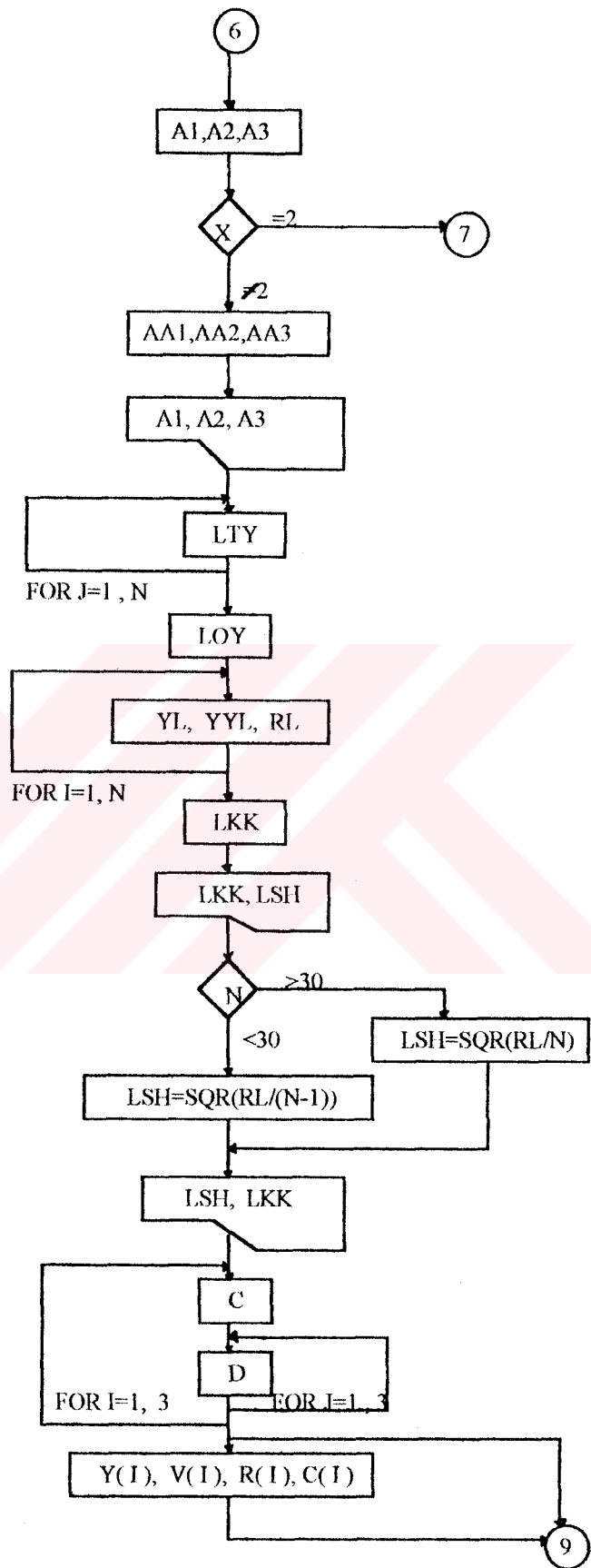
c)Başka hesap yapıp yapılmayacağı sorulur. Hesap yapılacaksa başa dönülür; yapılmayacaksa program sona erer.

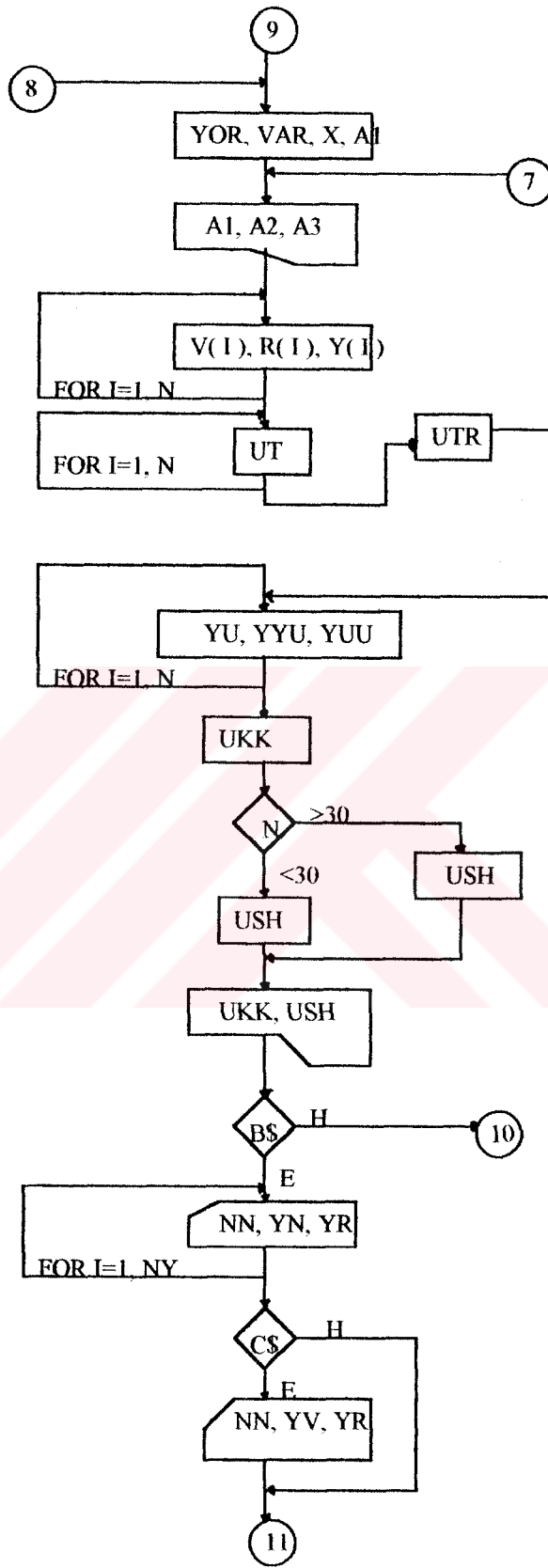


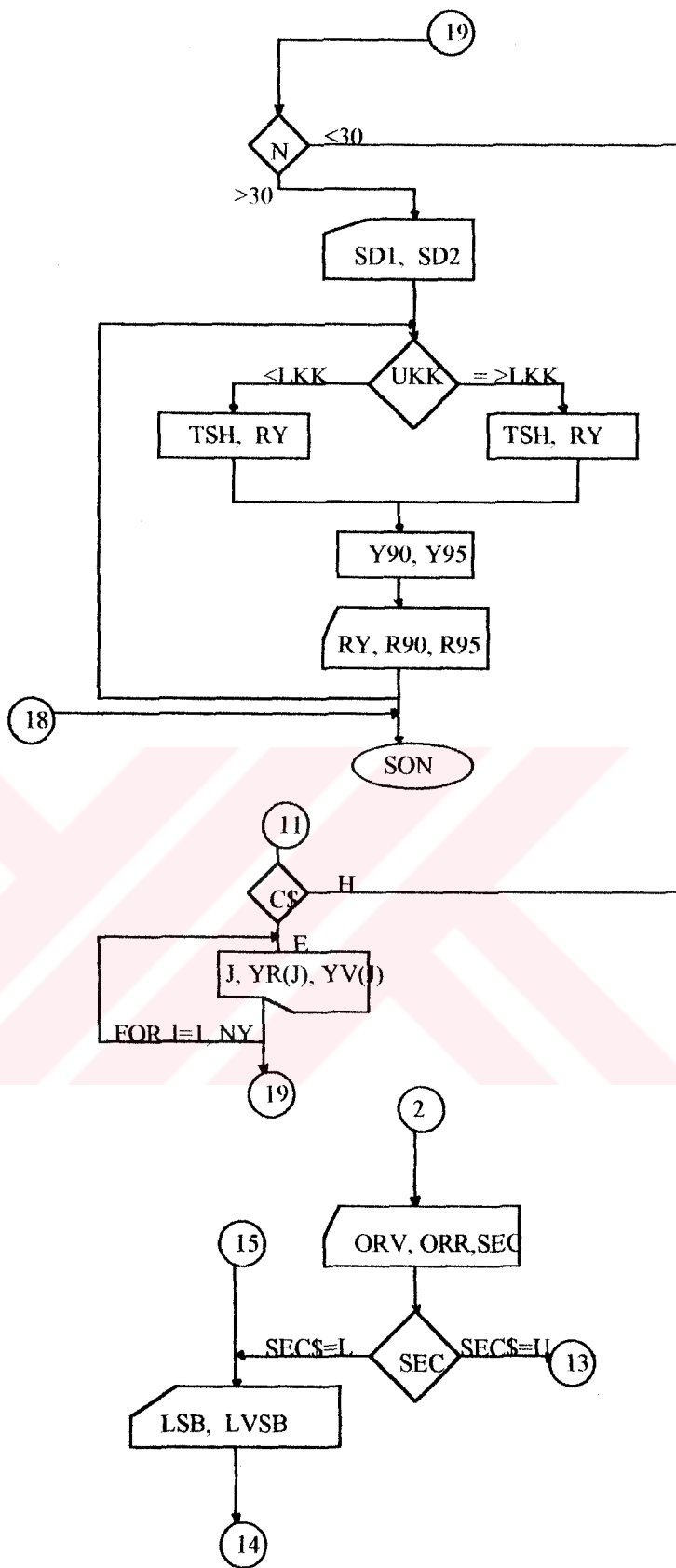
E1.4. Akış Şeması

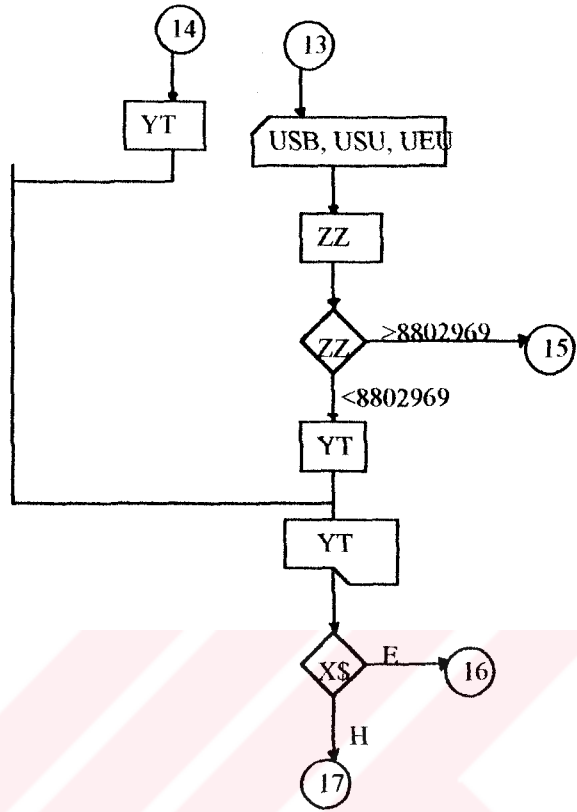












E1.5. PROGRAM

```

1      REM SONREB METODU İLE BETON BASINÇ MUKAVEMETİNİN
      HESAPLANMASI

      SCREEN 1

      COLOR 1, 1

      LOCATE 8, 10: PRINT "BU PROGRAM SONREB YÖNTEMİYLE BETON "
      LOCATE 10, 10: PRINT "BASINÇ MUKAVEMETİ ÖLÇMEK İÇİN ALINAN "
          LOCATE 13, 15: PRINT " VERİLERİ ANALİZ EDER"

      LOCATE 18, 10: PRINT "LÜTFEN DEVAM ETMEK İÇİN BİR TUŞA BASINIZ
      "

      LOCATE 21, 10: PRINT "ÇIKIŞ... 2*. CTRL+C"

      RESP$ = INPUT$(1)
      PRINT RESP$

      SCREEN 2

2      CLS : CLEAR

3      INPUT "NUMUNE SAYISI"; N

      TYPE PADDED

          R AS SINGLE

          V AS SINGLE

          Y AS SINGLE

      END TYPE

      '$DYNAMIC

      DIM V(1000), R(1000), Y(1000), A(5, 5)

10     LOCATE 2, 5:PRINT "AŞAĞIDAKİ SEÇENEKLERDEN SİZEUYGUN OLANI SEÇİNİZ"

20     PRINT 1,"MEVCUT KALİBRASYON EĞRİLERİNE GÖRE BETON DAYANIMINI
          HESAPLAMA"

30     PRINT 2, "ÖZEL KALİBRASYON EĞRİLERİ İLE BETON DAYANIMINI HASAPLAMA"

```

```

40 PRINT 0, "ÇIKIŞ"
50 PRINT
60 INPUT "SEÇENEK"; SEC
70 IF SEC < 1 THEN PRINT "İŞLEM TAMAM!": GOTO 1979
80 IF SEC = 1 THEN GOTO 8000
90 IF SEC = 2 THEN GOTO 105
100 IF SEC > 2 OR SEC < 0 THEN PRINT "LÜTFEN DOĞRU SEÇİM YAPINIZ": GOTO 60
105 CLS
110 FOR I = 1 TO N
      CLS
      LOCATE 1, 10: PRINT "ULTRASES GEÇİŞ HIZI(km/s)(NUM.NO="; I; ") = ";
      LOCATE 1, 50: INPUT V(I)
      LOCATE 2, 10: PRINT "GERİ TEPME İNDEKSİ(NUM. NO="; I; ")=";
      LOCATE 2, 50: INPUT R(I)
      LOCATE 3, 10: PRINT "BASINÇ MUKAVEMETİ(kg/cm^2)(NUM. NO="; I; ")=";
      LOCATE 3, 50: INPUT Y(I)
      NEXT I
      REM DÜZELTME YAPILMASI
210 CLS : LOCATE 12, 1: PRINT " VERİLERDE DÜZELTME YAPMAK İSTİYOR MUSUNUZ?(E/H)"
240 C$ = INKEY$
      IF C$ = "e" OR C$ = "E" THEN 280
      IF C$ = "H" OR C$ = "h" THEN CLS : GOTO 340
      GOTO 240
280 CLS : INPUT "NUMUNE NO="; NN
      CLS : PRINT "R("; NN; ")="; : INPUT R(NN)
      PRINT "V("; NN; ")="; : INPUT V(NN)
      PRINT "Y("; NN; ")="; : INPUT Y(NN)

```

```

GOTO 210

REM DEĞERLERİN EKRANA YAZDIRILMASI

340 CLS : PRINT "GİRİLEN DEĞERLERİ EKRANDA GÖRMEK İSTİYOR MUSUNUZ?(e/h)"
380   C$ = INKEY$

390   IF C$ = "E" OR C$ = "e" THEN 400

       IF C$ = "H" OR C$ = "h" THEN CLS : GOTO 490

GOTO 380

CLS

400 LOCATE 4, 30: PRINT "V(km/s)"

       LOCATE 4, 44: PRINT "R"

       LOCATE 4, 50: PRINT "Y(kg/cm^2)"

410 LOCATE 5, 30: PRINT "-----"

420 FOR I = 1 TO N

       W = 5 + I

       LOCATE W, 30: PRINT V(I)

       LOCATE W, 42: PRINT R(I)

       LOCATE W, 52: PRINT Y(I)

       IF I = 15 OR 30 THEN RESP$ = INPUT$(1): PRINT
RESP$ IF I = 45 OR 60 THEN RESP$ = INPUT$(1):
PRINT RESP$

460 NEXT I

461 PRINT "DEVAM İÇİN BİR TUŞA BASINIZ"

       RESP$ = INPUT$(1)

       PRINT RESP$

470 REM DENKLEM TAKİMİNİN OLUŞTURULMASI

480 REM LINEER REGRASYON İÇİN DENKLEM TAKİMİ

490 DIM D(3, 3), C(3): X = 1: D(1, 1) = N

500 FOR I = 1 TO N

```

```

510 D(1, 2) = D(1, 2) + R(I)
520 D(1, 3) = D(1, 3) + V(I)
530 D(2, 2) = D(2, 2) + R(I) ^ 2
540 D(2, 3) = D(2, 3) + R(I) * V(I)
550 D(3, 3) = D(3, 3) + V(I) ^ 2
560 NEXT I
570 D(2, 1) = D(1, 2): D(3, 1) = D(1, 3): D(3, 2) = D(2, 3)

```

REM SABITLER VEKTORUNUN BELIRLENMESİ

```

590 FOR I = 1 TO N
600 C(I) = C(I) + Y(I)
610 C(2) = C(2) + Y(I) * R(I)
620 C(3) = C(3) + Y(I) * V(I)
630 NEXT I
640 IF X = 2 THEN 710
660 YOR = C(1) / N
FOR I = 1 TO N
VAR = VAR + (Y(I) - YOR) ^ 2
NEXT I

```

710 REM GAUSS-JORDAN YÖNTEMİ İLE DENKLEM TAKIMININ ÇÖZÜMÜ

```

720 FOR I = 1 TO 3
730 FOR j = 1 TO 3
740 A(I, j) = D(I, j)
NEXT j: NEXT I
A(1, 4) = C(1): A(2, 4) = C(2): A(3, 4) = C(3)
FOR K = 1 TO 3
IF K = 3 THEN 860
A = A(K, K): M = K

```

```

FOR I = K + 1 TO 3
IF A(I, K) > A THEN A = A(I, K): M = I
NEXT I
FOR j = K TO 4
b = A(K, j): A(K, j) = A(M, j): A(M, j) = b
NEXT j
860 IF A(K, K) <> 0 THEN 880
CLS : PRINT "TEK ÇÖZÜM YOK": END
880 FOR I = 1 TO 3
IF I = K THEN 930
FOR j = K + 1 TO 4
A(I, j) = A(I, j) - A(K, j) * A(I, K) / A(K, K) NEXT j
930 NEXT I
NEXT K
A1 = A(1, 4) / A(1, 1)
A2 = A(2, 4) / A(2, 2)
A3 = A(3, 4) / A(3, 3)
IF X = 2 THEN 1310
AA1 = A1: AA2 = A2: AA3 = A3
CLS : BEEP: LOCATE 8, 10: PRINT " LINEER REGRASYON SONUÇLARI"
LOCATE 9, 10: PRINT "Y=A1+A2*R+A3*V BAĞINTISINDA KATSAYILAR"
LOCATE 10, 17: PRINT "ŞÖYLE BULUNMUŞTUR"
LOCATE 11, 25: PRINT "A1=": A1: LOCATE 12, 25: PRINT "A2=": A2
LOCATE 13, 25: PRINT "A3=": A3
REM LINEER REGRASYONDA STANDART HATA BELİRLEME
FOR j = 1 TO N
LTY = LTY + (A1 + A2 * R(I) + A3 * V(I))
NEXT j
LOY = LTY / N

```

```

FOR I = 1 TO N
  YL = YL + (Y(I) - YOR) * (A1 + A2 * R(I) + A3 * V(I) - LOY)
  YYL = YYL + (A1 + A2 * R(I) + A3 * V(I) - LOY) ^ 2
  RL = RL + (Y(I) - (A1 + A2 * R(I) + A3 * V(I))) ^ 2
NEXT I

LKK = YL / SQR(VAR * YYL)

PRINT "KORELASYON KATSAYISI=": LOCATE 14, 25: PRINT USING " r = #.###"; LKK

IF N > 30 THEN LSH = SQR(RL / N) ELSE LSH = SQR(RL / (N - 1))

LOCATE 15, 25: PRINT USING "TAHMİNİ STANDART HATA = ###.###"; LSH

1150 PRINT "DEVAM İÇİN BİR TUPA BASINIZ"

RESP$ = INPUT$(1)

PRINT RESP$

FOR I = 1 TO 3
  C(I) = 0
  FOR j = 1 TO 3
    D(I, j) = 0
  NEXT j: NEXT I

REM ÜSTEL REGRASYON İÇİN DENKLEM TAKIMI

FOR I = 1 TO N
  Y(I) = LOG(Y(I))
  R(I) = LOG(R(I))
  V(I) = LOG(V(I))
NEXT I

X = 2

GOTO 500

YOR = C(I) / N

VAR = 0

```

```

FOR I = 1 TO N
VAR = VAR + (Y(I) - YOR) ^ 2
NEXT I

REM ÜSTEL REG AIT KORELASYON KATS. VE STANDART HATA BELİRLEME
A1 = EXP(A1)
1310 CLS : BEEP: PRINT "ÜSTEL REGRASYON BAĞINTISI";
CLS : LOCATE 8, 10: PRINT " ÜSTEL REGRASYON SONUÇLARI"
LOCATE 9, 5: PRINT "Y=A1*R^A2*e^A3*V BAĞINTISINDA KATSAYILAR ŞÖYLE
BULUNMUPTUR"

LOCATE 10, 25: PRINT "A1="; A1: LOCATE 11, 25: PRINT "A2="; A2
LOCATE 12, 25: PRINT "A3="; A3

FOR I = 1 TO N
V(I) = EXP(V(I))
R(I) = EXP(R(I))
Y(I) = EXP(Y(I))
NEXT I

FOR I = 1 TO N
UT = UT + (A1 * R(I) ^ A2 * EXP(A3 * V(I)))
NEXT I

UTR = UT / N

FOR I = 1 TO N
YU = YU + (Y(I) - YOR) * (A1 * R(I) ^ A2 * EXP(A3 * V(I)) - UTR)
YYU = YYU + (A1 * (R(I) ^ A2) * EXP(A3 * V(I)) - UTR) ^ 2
YUU = YUU + (Y(I) - (A1 * (R(I) ^ A2) * EXP(A3 * V(I)))) ^ 2
NEXT I

UKK = YU / SQR(VAR * YYU)
IF N > 30 THEN USH = SQR(YUU / N) ELSE USH = SQR(YUU / (N - 1))

```

LOCATE 13, 25: PRINT USING "KORELASYON KATSAYISI(üstel reg) r=#.#####"; UKK
 LOCATE 14, 25: PRINT USING "TAHMİNİ STANDART HATA=###.##"; USH

LOCATE 20, 10: PRINT "DEVAM İÇİN BİR TUŞA BASINIZ"

1490 RESP\$ = INPUT\$(1)

PRINT RESP\$

CLS : PRINT "BASINÇ MUK. ÖLÇÜMÜ YAPACAK MISINIZ?(e/h)"

1550 b\$ = INKEY\$

IF b\$ = "e" OR b\$ = "E" THEN 1590

IF b\$ = "H" OR b\$ = "h" THEN CLS : END

GOTO 1550

1590 CLS : INPUT "NOKTA/NUMUNE SAYISI"; NY DIM YR(NY), YV(NY)

FOR I = 1 TO NY

CLS : PRINT "R("; I; ")="; : INPUT YR(I)

PRINT "V("; I; ")="; : INPUT YV(I)

NEXT I

REM DÜZELTME YAPILMASI

1680 CLS : LOCATE 12, 1: PRINT "DÜZELTME YAPMAK İSTİYOR MUSUNUZ?(e/h)"

1710 C\$ = INKEY\$

IF C\$ = "E" OR C\$ = "e" THEN 1750

IF C\$ = "H" OR C\$ = "h" THEN CLS : GOTO 1790

GOTO 1710

1750 CLS : INPUT "NUMUNE NO="; NN

CLS : PRINT "V("; NN; ")="; : INPUT YV(NN)

PRINT "R("; NN; ")="; : INPUT YR(NN)

GOTO 1680

1790 GOSUB 1980

1810 IF N > 30 THEN 1815 ELSE 1820

```

1815   SD1 = 1.28

       SD2 = 1.64

       GOTO 1850

1820   CLS

       INPUT "t değeri (%90) ="; SD1

       INPUT "t değeri (%95) ="; SD2

       REM KORELASYON KATSAYISI BÜYÜK OLAN REGRASYONA AİT %90 %95 OLASILIKLA

       BASINÇ MUKAVEMETİ HESABI

1850   FOR I = 1 TO NY

       IF ABS(UKK) > ABS(LKK) THEN TSH = USH ELSE TSH = LSH

       IF ABS(UKK) > ABS(LKK) THEN RY = A1 * (YR(I) ^ A2) * EXP(A3 * YV(I))

       ELSE RY = AA1 + AA2 * YR(I) + AA3 * YV(I) 1860 Y90 = RY - SD1 * TSH

       Y95 = RY - SD2 * TSH

       IF ABS(LKK) > ABS(UKK) THEN 1865 ELSE 1866 1865 LOCATE 8, 10:

       PRINT "LINEER REGRASYON İLE"

       GOTO 1867

1866   LOCATE 8, 10: PRINT "ÜSTEL REGRASYON İLE"

1867   LOCATE 10, 10: PRINT "N.NO="; I; "İÇİN": LOCATE 11, 10: PRINT "Yort="; RY; "kgf/cm2"

1920   LOCATE 13, 10: PRINT "%90Y="; Y90; "kgf/cm2";

       LOCATE 14, 10: PRINT "%95Y="; Y95; "kgf/cm2"

       NEXT I

       LOCATE 20, 10: PRINT "DEVAM İÇİN BİR TUPA BASINIZ"

       RESP$ = INPUT$(1)

       PRINT RESP$

1921   CLEAR : CLS

1979   END

       REM GİRİLEN DEĞERLERİN EKRANA YAZDIRILMASI

```

```

1980 CLS : PRINT "GIRILEN DE"ERLERİ EKRANDA GÖRMEK İSTİYOR MUSUNUZ?(e/h)"
2020  C$ = INKEY$

      IF C$ = "E" OR C$ = "e" THEN 2060

      IF C$ = "H" OR C$ = "h" THEN RETURN

2060  FOR j = 1 TO NY

      PRINT "N.NO="; j; "yÇyN": PRINT "R="; YR(j); PRINT "V="; YV(j) NEXT j

      PRINT "DEVAM ETMEK İÇİN BİR TUŞA BASINIZ"

      RESP$ = INPUT$(1)

      PRINT RESP$

      RETURN

8000  REM KENDİ EĞRİLERİME GÖRE

      CLS

      PRINT "ÖLÇÜLEN ORT ULTR HIZINI YAZ"

      INPUT ORV

      INPUT "ÖLÇÜLEN ORTALAMA GERİ TEPME İNDEKSİNİ YAZINIZ"; ORR

      LOCATE 5, 5: PRINT "MEVCUT EĞRİ DENKLEMİNİZİN CİNSİNİ BELİRTİNİZ"

      LOCATE 7, 15: PRINT "LINEER İÇİN L"

      LOCATE 8, 15: PRINT "ÜSTEL İÇİN U"

      LOCATE 11, 35: PRINT "YAZINIZ"

8002  INPUT "SEC"; SEC$

      IF SEC$ = "U" OR SEC$ = "u" THEN GOTO 8100

      IF SEC$ = "L" OR SEC$ = "l" THEN GOTO 8010 IF SEC$ = " " THEN 8002

8010  PRINT "LÜTFEN MEVCUT LINEER EĞRİ DENKLEMİNİZDEKİ KATSAYILARI

      YAZINIZ" 8020 INPUT "A1="; LSB

8030  INPUT "ULTRASES HIZI İÇİN KATSAYINIZI GİRİNİNİZ"; LVSB

```

```
8040 INPUT "GERİ TEPME İNDEKSİ KATSAYINIZI GİRİNİZ"; LRSB
8080 YT = LSB + LVSB * ORV + LRSB * ORR: GOTO 8150
8100 PRINT "LUTFEN MEVCUT ÜSTEL EĞRİ DENKLEMİNİZE AİT KATSAYILARI
VERİNİZ"
INPUT "A1="; USB
INPUT "A2="; USU
INPUT "A3="; UEU
ZZ = EXP(ORV * UEU)
IF ZZ > 8802969 THEN PRINT "VERİLERİNİZİ KONTROL EDİNİZ": GOTO 8030
YT = USB * (ORR ^ USU) * ZZ
8150 PRINT "VERİLERİNİZE GÖRE TAHMİNİ BETON BASINÇ DAYANIMI ŞÖYLE
BULUNMUŞTUR"
PRINT "SİLİNDİR MUK. CİNSİNDEN YT="; YT; "kg/cm2"
PRINT "EŞDEĞER KÜP MUK. CİNSİNDEN YT="; .85 * YT; "kg/cm2"
PRINT "BAŞKA HESAPLAMA YAPACAK MISINIZ ? (e/h)"
XS = INPUT$(1)
IF XS = "E" OR XS = "e" THEN 8000 ELSE 8200
8200 GOTO 1979
RETURN
```

EK 2. KÜP NUMUNELERDE ETKİ KATSAYILARI VE DÜZELTİLMİŞ DEĞERLER

NUM NO	ULTRASES	GERİ	BAS. DAY.	ULTRASES			SCHMİDT ÇEK.		DÜZELTİLMİŞ	
	GEÇİŞ HIZI	TEPME	ST.KÜP	DÜZELTME KATSAYILARI					DEĞERLER	
	(km/s)	İNDEKSİ	(kg/cm ²)	KÜR	DOZ.	AGR.	KÜR	DOZAJ	ULT	SCHMİDT
1.1	4,57	34,00	292,22	1,04	1,08	0,92	0,94	1,08	4,75	34,52
1.2	4,44	33,10	174,75	1,04	1,08	0,92	0,94	1,08	4,61	33,60
2.1	4,25	29,20	169,14	1,04	1,02	0,92	0,94	1,02	4,17	28,00
2.2	4,48	26,85	193,30	1,04	1,02	0,92	0,94	1,02	4,39	25,74
2.3	3,82	25,56	87,59	1,04	1,02	0,92	0,94	1,02	3,75	24,51
2.4	4,16	29,06	162,67	1,04	1,02	0,92	0,94	1,02	4,07	27,87
3.1	3,34	18,97	72,06	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	3,09	18,97
3.2	3,14	17,73	69,94	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	2,90	17,73
3.3	3,36	17,33	75,42	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	3,11	17,33
3.4	3,15	19,83	69,99	1,04	1,00	0,92	0,94	1,00	3,03	18,64
3.5	3,13	20,77	71,19	1,04	1,00	0,92	0,94	1,00	3,00	19,52
4.1	4,03	25,10	188,34	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,46	27,13
4.2	4,41	23,31	196,32	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,69	26,81
4.3	4,23	26,43	188,90	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,67	28,57
4.4	4,23	26,42	188,94	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,67	28,56
4.5	4,45	26,12	218,03	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,73	30,03
4.6	4,44	25,58	209,57	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,72	29,42
5.1	4,91	26,39	325,68	1,00	1,02	0,92	1,00	1,02	4,63	26,92
5.2	4,74	26,07	243,57	1,00	1,02	0,92	1,00	1,02	4,46	26,59
5.3	4,80	28,58	237,14	1,04	1,02	0,92	0,94	1,02	4,70	27,40
5.4	4,64	28,22	199,77	1,04	1,02	0,92	0,94	1,02	4,55	27,06
6.1	4,30	24,35	211,21	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	3,97	24,35
6.2	4,22	24,40	210,13	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	3,90	24,40
6.3	4,27	25,47	212,98	1,00	1,00	0,92	1,00	1,00	3,94	25,47
6.4	4,27	27,13	183,38	1,04	1,00	0,92	0,94	1,00	4,11	25,51
6.5	4,14	28,42	179,19	1,04	1,00	0,92	0,94	1,00	3,97	26,71
6.6	4,37	28,70	187,17	1,04	1,00	0,92	0,94	1,00	4,20	26,98
7.1	4,40	32,40	289,27	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,68	37,26
7.2	4,49	32,82	290,69	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,77	37,74
7.3	4,47	33,40	303,07	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,75	38,41
7.4	4,30	34,23	235,54	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,75	37,01
7.5	4,29	34,86	248,49	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,74	37,68
8.1	4,38	33,47	241,03	1,00	1,06	0,92	1,00	1,06	4,29	35,48
8.2	4,52	34,11	256,99	1,00	1,06	0,92	1,00	1,06	4,43	36,15
8.3	4,56	33,16	235,50	1,00	1,06	0,92	1,00	1,06	4,47	35,15
8.4	4,22	33,62	189,68	1,00	1,06	0,92	1,00	1,06	4,13	35,63
8.5	4,20	32,70	184,20	1,00	1,06	0,92	1,00	1,06	4,12	34,66
9.1	4,49	33,17	231,62	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,77	38,15
10.1	4,42	33,08	262,60	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,70	38,05
11.1	4,03	30,65	176,99	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,28	35,25
12.2	3,29	26,77	87,08	1,04	1,08	0,92	0,94	1,08	3,42	27,17
12.3	3,45	26,93	85,65	1,04	1,08	0,92	0,94	1,08	3,58	27,34
13.1	4,38	32,77	193,09	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,66	37,69
13.2	4,36	32,44	192,40	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,63	37,30
13.3	4,39	33,71	191,31	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,67	38,76
14.1	4,58	40,53	358,77	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,86	46,61
14.2	4,50	40,05	292,97	1,04	1,08	0,92	0,94	1,08	4,67	40,66
15.1	4,58	39,70	371,59	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,86	45,66
15.2	4,41	40,62	293,75	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,88	43,91
16.1	4,64	34,71	253,80	1,00	1,15	0,92	1,00	1,15	4,93	39,92
16.2	4,29	36,98	314,08	1,04	1,15	0,92	0,94	1,15	4,74	39,97

ÖZGEÇMİŞ

İsa Yüksel, 1967 yılı Ordu Fatsa doğumlu olup ilk ve orta okulu Fatsa'da tamamladıktan sonra; 1980 yılında Almanya'ya giderek ortaöğrenimine bir yıl bu ülkede devam etmiştir. Lise öğrenimini yurda dönerek Fatsa'da tamamlamıştır. 1984 yılında girdiği ODTÜ Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden Haziran 1990'da mezun olmuştur. Kısa bir süre Fatsa Yalıköy Belediyesi Fen İşleri'nde çalıştıktan sonra 1991'de YÖK/Dünya Bankası II. Endüstriyel Eğitim Projesi kapsamında H.Ü.Zonguldak Mühendislik Fakültesi Alaplı Meslek Yüksek Okulu İnşaat Programı'na öğretim görevlisi olarak atanmıştır. 1992 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı Programı'nda yüksek lisans öğrenimine başlamıştır. Halen Z.K.Ü. Alaplı Meslek Yüksek Okulu'nda öğretim görevlisi olarak görev yapmaktadır.