

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**FARKLI BETON SINIFLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME
YÖNTEMİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Bekir ÇOMAK

**Danışman
Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT**

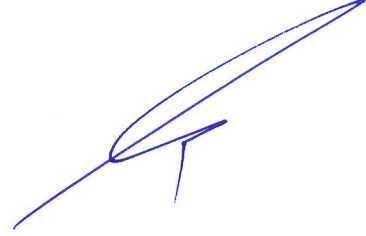
**DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA-2012**

TEZ ONAYI

Bekir ÇOMAK tarafından hazırlanan “Farklı Beton Sınıflarının Görüntü İşleme Yöntemi İle Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Süleyman Demirel Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

Süleyman Demirel Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Jüri Üyeleri:

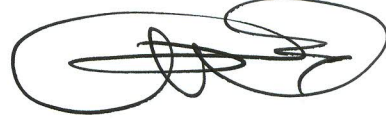
Prof. Dr. İskender AKKURT

Süleyman Demirel Üniversitesi,
Fizik Anabilim Dalı



Doç. Dr. Fuat DEMİR

Süleyman Demirel Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Doç. Dr. Yılmaz KOÇAK

Düzce Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Yrd. Doç. Dr. Mustafa TÜRKMEN

Süleyman Demirel Üniversitesi,
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı



Prof. Dr. Mehmet Cengiz KAYACAN

Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	i
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	3
2.1. Beton	3
2.1.1. Betonların sınıflandırılması	7
2.1.2. Sertleşmiş betonların bazı özellikleri.....	7
2.1.3. Beton basınç dayanımı.....	8
2.1.4. Beton basınç dayanımına etki eden faktörler.....	12
2.1.4.1. Su /çimento oranı	12
2.1.4.2. Karma suyunun kalitesi.....	13
2.1.4.3. Çimento özellikleri.....	14
2.1.4.4. Sıkıştırma düzeyi	14
2.1.4.5. Kullanılan agrega	14
2.1.4.6. Betonun yaşı.....	15
2.1.4.7. Dış etkiler- kür koşulları	15
2.1.4.8. Betonun kompasesi.....	17
2.1.4.9. Betonun karılması, taşınması ve yerleştirilmesi	17
2.2. Tahribatlı ve Tahribatsız Test Yöntemleri	18
2.2.1. Tahribatlı test yöntemleri.....	19
2.2.1.1. Standart numunelerle basınç dayanımı deneyi	19
2.2.1.2. Yapıdaki betonun yerinde basınç dayanımı tayini (karot).....	21
2.2.2. Tahribatsız test yöntemleri	27
2.2.2.1. Yüzey sertliği yöntemi (Schmidt beton test çekici).....	29
2.2.2.2. Ultrases geçiş hızı yöntemi	31
2.2.2.3. Birleşik yöntem.....	32
2.2.2.4. Windsor probe test yöntemi	34
2.2.2.5. Rezonans Frekansı	34
2.2.2.6. Pin penetrasyon test yöntemi	35
2.2.2.7. Pull- out test yöntemi	37
2.2.2.8. Break- off test yöntemi	38
2.2.2.9. Pull-off test yöntemi	40
2.2.2.10. Olgunluk yöntemi	41
2.2.2.11. Diğer yöntemler	42
2.3. Görüntü İşleme	43
2.3.1. Görüntü algılama sistemi.....	43
2.3.2. Bilgisayarla görme.....	45
2.3.3. Dijital görüntü ve digital görüntü işleme.....	45
2.3.4. Dijital görüntü işlemenin temel adımları.....	49
2.3.5. Dijital görüntülerde kullanılan renk modelleri	52
2.3.5.1. Gerçek renk ya da kırmızı-yeşil-mavi (RGB) renk modeli.....	52

2.3.5.2. İkili (binary) renk modeli.....	53
2.3.5.3. Gri ton renk modeli.....	54
2.3.6. Görüntü işleme teknikleri	55
2.3.7. Görüntü işlemenin kullanım alanları	55
2.4. Literatür Bilgileri.....	56
3. MATERYAL VE YÖNTEM	68
3.1. Agregası	68
3.2. Çimento	68
3.3. Su.....	68
3.4. Normal Betonların Üretilmesi	69
3.5. Sertleşmiş Beton Deneylerinin Yapılması	71
3.6. Görüntü İşleme İçin Numunelerin Hazırlanması	71
3.7. Görüntü Alma Düzeneklerinin Hazırlanması	72
3.8. Görüntülerin Elde Edilmesi.....	73
3.9. ImageJ Programının Genel Özellikleri.....	73
3.10. ImageJ Programı Kullanılarak Beton Görüntülerinin İşlenmesi.....	75
3.11. Analiz Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımı İle İlişkilendirilmesi	79
3.12. Görüntü İşleme Yazılımının Geliştirilmesi	79
3.13. Geliştirilen Yazılımın Test Edilmesi.....	80
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	81
4.1. Agregalara Ait Sonuçlar	81
4.2. Çimentoya Ait Sonuçlar	81
4.3. Betonlara Ait Sonuçlar	82
4.4. Görüntü İşleme Sonuçları.....	87
4.5. Görüntü İşleme Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımı İle İlişkilendirilmesi. 90	
4.6. Görüntü İşleme Yazılımının Geliştirilmesi	93
4.6.1. Görüntü aç	95
4.6.2. Resmi gri tona dönüştürme.....	97
4.6.3. Gri tona dönüştürülmüş resmin renk değerlerinin frekanslarını bulma.. 98	
4.6.4. Elde Edilen değerlere göre histogram grafiğinin çizdirilmesi.....	100
4.6.5. İstatistiksel verilerin elde edilmesi (mod, median, standart sapma, en büyük değer en küçük değer, toplam eleman sayısı).....	101
4.6.6. Belirlenen aralıkta çimento, agrega ve hava boşlukları renk değerlerinin toplamının bulunması	103
4.6.7. Çimento, agrega ve hava boşluklarının yüzdelilerinin hesaplanması.....	106
4.6.8. Beton basınç dayanımı için kullanılacak tahmin yönteminin seçimi ve sonuçlarının raporlanması.....	107
4.7. Geliştirilen Yazılım ve Imagej Program Çıktılarının Karşılaştırılması.....	110
4.8. Karşılaştırma Betonlarına Ait Sonuçlar	113
4.9. Geliştirilen Yazılımın Kontrolü.....	113
5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR	115
KAYNAKLAR	118
EKLER.....	128
EK A. Çalışmada Kullanılan Agreganın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	128
ÖZGEÇMİŞ	130

ÖZET

Doktora Tezi

FARKLI BETON SINIFLARININ GÖRÜNTÜ İŞLEME YÖNTEMİ İLE MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Bekir ÇOMAK

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

Son yıllarda bilgisayar teknolojindeki gelişmelere paralel olarak görüntü alma teknolojisinin gelişmesi, görüntü işleme metotlarının ölçüm ve gözlem yöntemi olarak çeşitli disiplinlerde kullanımını artırmıştır. Görüntü işleme tekniklerinin kullanım alanlarının artmasının doğal sonucu olarak, görüntü işleme teknikleri yoğun olarak araştırılmış ve endüstriyel anlamda kendine birçok uygulama alanı bulmuştur. Görüntü işleme yöntemleri kullanılarak görüntünün sayısallaştırılması ve görüntülerin işlenebilmesi hatasız olarak yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, farklı beton numunelerinin kesit görüntülerinden, görüntü işleme tekniği kullanılarak beton basınç dayanımları tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bilindiği gibi, karışım içerisindeki bağlayıcı malzeme miktarı ile beton basınç dayanımı arasında bir ilişki vardır, bununla birlikte çimento miktarının artması sonucunda beton görüntülerindeki renk değerlerinin değişmesi beklenmektedir. Bu savdan yola çıkarak 7 farklı S/Ç oranına sahip hazırlanan beton numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmış ve benzer karışıma sahip beton numuneler üzerinde görüntü işleme yöntemi kullanılmıştır. Görüntü işleme yöntemi kullanarak elde edilen sonuçlar ile beton basınç dayanımları arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. Elde edilen ilişkilere göre C# programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Böylece, tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemlerine yardımcı bir yöntem olarak görüntü işlemenin kullanılıp kullanılmayacağı tespit edilmeye çalışılmıştır.

Sonuç olarak kullanılan görüntü işleme tekniği ile beton içerisindeki agrega ve çimento matrisi oranlarının elde edilebildiği ve bu değerler kullanılarak beton basınç dayanımlarının $R^2=0,980$ düzeyinde yüksek bir ilişki ile tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca agrega, çimento matrisi ve hava boşluğu yüzdeleri kullanarak yapılan doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda $R^2=0,987$ düzeyinde yüksek bir ilişki ile beton dayanımının tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu değerlerin farkının çok değişmediği, yüzeye yakın bir bölümden yapıya fazla bir zarar vermeden alınacak görüntü ile de bu yöntemin kullanılabilir olduğu açıktır. Görüntü işleme yönteminin, karışım içerisinde bulunan agrega ve çimento miktarlarının belirlenmesinde tahribatlı ve tahribatsız yöntemler ile birlikte beton yaşı, saklama sıcaklığı ve bağıl nemi de göz önüne alınarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Ayrıca bu çalışmada geliştirilen yazılım 8 ve 16 bitlik resimleri işleyebilmekte, bmp ve jpeg uzantılı dosyaları açabilmekte, başka bir yazılıma veya işlem basamağına ihtiyaç duymadan beton basınç dayanımı tahmin edebilmekte, gri tona çevrilmiş orijinal görüntüleri renklendirip tekrar çizebilmekte ve tüm sonuçları bir rapor dosyası halinde kullanıcıya sunabilmektedir. Raporlar istenildiği takdirde farklı formatlarda yeniden kaydedilebilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beton, tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri, görüntü işleme yöntemleri, beton basınç dayanımı

2012, 132 sayfa

ABSTRACT

Ph.D. Thesis

DETERMINATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF DIFFERENT CONCRETE CLASSES WITH IMAGE PROCESSING METHOD

Bekir ÇOMAK

**Süleyman Demirel University
Graduate School of Applied and Natural Sciences
Department of Civil Engineering**

Supervisor: Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT

In recent years, the development of imaging technology in parallel with developments in computer technology has increased the use of image processing methods as a measuring and observation techniques in various disciplines. As a natural consequence of the increase in usage area of image processing techniques (IPT), IPT have been widely investigated and found many application areas in terms of industrial manner. It can be possible to accurately digitizing and processing of the images via IPT.

In this study, concrete compressive strengths were estimated using an image processing technique on the images of the cross section of concrete specimens. As it is known, there is a correlation between the binding material amount in the mixture and concrete compressive strength, and therefore, the color values in concrete images are expected to change with increasing cement amounts. Thus, hardened concrete tests were performed on the different mixtures having seven w/c ratio and IPT analysis were used on these concrete specimens. The relation between the parameters that were calculated via image processing and the compressive strengths of the concretes produced were examined. Software was developed by using C# programming language based on the obtained data. Therefore, attempts were made to understand whether or not image processing techniques can be used as an auxiliary method in destructive and non-destructive testing methods.

As a result, it was seen that aggregate and cement matrix percentages in concrete can be obtained, and by using these values, concrete compressive strength values can be estimated with a high correlation ($R^2=0.980$) by the image processing technique. In addition, it is reached that concrete strength will be predicted with a high correlation with level of $R^2=0.987$ as a result of non-linear regression analysis by using aggregate, cement matrix and percentages of air gap. Difference of these values don't change so much, it is clear that this method can be used with taking image a section of closer surface without damaging the structure. It is clear from that in considering concrete age, cure conditions, and relative humidity, IPT can be used for determining the aggregate and cement contents with together destructive and non-destructive test methods. The software developed in this study is able to render 8 and 16 bit images, open files of bmp and jpeg extensions, predict compressive strength of concrete without need process steps or additional software, redraw colorizing converted grayscale original images which were converted grayscale and present to users all outcomes as a report file. Reports can be re-recorded in different formats if it is required.

Key Words: Concrete, destructive and non-destructive test methods, image processing techniques, concrete compressive strength

2012, 132 Pages

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamı sürdürdüğüm dönemde, karşılaştığım zorlukları bilgi ve tecrübesi ile aşmamda yardımcı olan, çalışma disiplini sağlayan, gösterdiği büyük sabrı, öneri, eleştiri ve düzenlemeleriyle çalışmanın gerçekleşmesine büyük katkıda bulunan tez danışmanım saygıdeğer hocam, Sayın Prof. Dr. Celalettin BAŞYİĞİT'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince her türlü konuda desteklerini esirgemeyen Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Öğretim üyelerinden Doç. Dr. Şemsettin KILINÇARSLAN'a, Düzce Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Öğretim üyelerinden Doç. Dr. Serkan SUBAŞI'na, Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi öğretim üyelerin Yrd. Doç. Dr. İsmail Serkan ÜNCÜ'ye, deneysel çalışmalarım sırasında yardımlarını esirgemeyen kadim dostlarım Yrd. Doç. Dr. Mehmet EMİROĞLU ve Arş. Gör. Sercan SERİN'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamda deneysel çalışmaların gerçekleştirilebilmesi için gerekli laboratuvar olanaklarını sağlayan Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Doç. Dr. Ercan ÖZGAN'a teşekkür ederim.

Her türlü konuda desteklerini esirgemeyen Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Öğretim elemanlarına ve Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Öğretim elemanlarının her birine ayrı ayrı teşekkürlerimi sunarım.

1990 – D -09 No`lu Proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi Başkanlığı'na teşekkür ederim.

Tüm yaşantım boyunca maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen çok kıymetli aileme de sonsuz teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Bekir ÇOMAK
ISPARTA, 2012

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Çimento hamurundaki ana bileşenlerin gösterdiği dayanım artışı.....	10
Şekil 2.2. Çimento hamurunda oluşan silika –hidratların muhtemel yapısı	11
Şekil 2.3. Hidrate olmuş çimentonun içyapısı	11
Şekil 2.4. Beton dayanımı ile Su/Çimento oranı arasındaki ilişki	13
Şekil 2.5. Beton yaşı basınç dayanımı ilişkisi.....	15
Şekil 2.6. Su/Çimento oranı 0.5 olan bir betonun değişik ortamlarda kür edilmesi sonucundaki basınç dayanımları.....	16
Şekil 2.7. Kür sıcaklığının beton basınç dayanımına etkisi.	16
Şekil 2.8. Karot alma aleti ve değişik çaplarda uçlar	22
Şekil 2.9. Schmidt geri tepme çekicinin çalışma prensibi	30
Şekil 2.10. Ultrases test cihazı	31
Şekil 2.11. Ultrases hızı ölçümlerinde alıcı ve vericinin konumu	32
Şekil 2.12. Geri tepme sayısı ultrases geçiş hızı ilişkisi	33
Şekil 2.13. Windsor probe test cihazı kiti	34
Şekil 2.14. Rezonans frekansı için deney düzeneği a) Boyuna b) Enine c) Burulma	35
Şekil 2.15. Pin penetrasyon ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki	36
Şekil 2.16. Pin penetrasyon test yönteminin uygulanmasının şematik gösterimi.....	37
Şekil 2.17. Pull-out test yönteminin şematik olarak gösterilmesi.....	38
Şekil 2.18. Pull- out test cihazı kiti ve beton yüzeyinden çıkan koni şeklinde numuneler.....	38
Şekil 2.19. Break –off testinin uygulanmasının şematik şekli.....	39
Şekil 2.20. Break-off test cihazı.....	40
Şekil 2.21. Pull-off testinin uygulanışı.....	41
Şekil 2.22. Olgunluk test cihazı	42
Şekil 2.23. İnsan gözünün görebileceği elektro manyetik dalga boyu aralığı	44
Şekil 2.24. İnsan gözünün yapısı	45
Şekil 2.25. Fiziksel ve buna karşılık gelen dijital görüntü.....	46
Şekil 2.26. Görüntünün sayısallaştırılması	47
Şekil 2.27. Dijital görüntünün ifade edilmesi	47
Şekil 2.28. Dijital görüntü işlemede temel adımlar.....	49
Şekil 2.29. Görüntünün optik formda yakalanıp, analog forma dönüştürülmesi.....	50
Şekil 2.30. RGB uzayına göre renklerin oluşturulması.....	53
Şekil 2.31. Gerçek renk görüntü	53
Şekil 2.32. İkili (binary) görüntü.....	54
Şekil 2.33. Gri ton görüntü.....	54
Şekil 2.34. Görüntü işleme teknikleri.	55
Şekil 2.35. Dijital görüntü işlemenin kullanım alanları	56
Şekil 3.1. Çalışma akış şeması	69
Şekil 3.2. Üretilen betonların görüntüsü	71
Şekil 3.3. Beton numunelerinin kesim ölçüleri (ölçüler mm’dir)	72
Şekil 3.4. Karot baş kesme makinesi	72
Şekil 3.5. Dijital görüntü alabilmek için oluşturulan düzenek.....	73
Şekil 3.6. Şematik olarak görüntü işleme basamakları	75
Şekil 3.7. N7 serisine ait betondan elde edilen histogram	76

Şekil 3.8. Renk değerlerinin elde edilmesi.....	77
Şekil 3.9. 1 piksel kalınlığındaki çizgi boyunca her bir piksele düşen gri ton değeri.....	78
Şekil 3.10. Histogramdan renk değerlerinin adetinin bulunması.....	78
Şekil 4.1. N serisi betonların 28 günlük ortalama beton basınç dayanımları.....	83
Şekil 4.2. N serisi betonların ortalama ultrases geçiş süresi değerleri.....	83
Şekil 4.3. N serisi betonların ortalama görünür özgül ağırlıkları.....	84
Şekil 4.4. N serisi betonların ortalama su emme değerleri	85
Şekil 4.5. N serisi betonların porozite değerleri.....	86
Şekil 4.6. N serisi betonların yüzey sertliği değerleri	86
Şekil 4.7. Görüntü işleme ile elde edilen çimento matrisi yüzdesi ile N serisi betonların basınç dayanımı arasındaki ilişki	89
Şekil 4.8. Teorik olarak hesaplanan agrega hacmi ile görüntü işleme yöntemi ile elde edilen agrega hacmi arasındaki ilişki.....	90
Şekil 4.9. Tahmini ve deneysel beton basınç dayanımları arasındaki ilişki (%95 güven aralığında).....	91
Şekil 4.10. Tahmini beton basınç dayanımı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki (%95 güven aralığında)	92
Şekil 4.11. Programın akış şeması	94
Şekil 4.12. Geliştirilen yazılımın Visual Studio.Net 2010 programındaki tasarım ekranı	95
Şekil 4.13. Beton kesit görüntülerini açmak için yazılan kod bloğu	96
Şekil 4.14. Beton görüntüsünün bilgisayardan seçilmesi ve görüntülenmesi.....	96
Şekil 4.15. Resim özellikleri ve dosya konumu	96
Şekil 4.16. Gri tona dönüştürebilmek için gerekli kod bloğu	98
Şekil 4.17. Gri tona döndürülmüş resim ve DataGridView nesnesinde histogram değerlerinin görüntülenmesi.....	99
Şekil 4.18. Histogram değerlerinin DataGridView nesnesinde görüntülenebilmesi için gerekli kod bloğu.....	99
Şekil 4.19. Histogram grafiğini çizdiren kod bloğu.....	100
Şekil 4.20. Histogram grafiği	100
Şekil 4.21. Histogramda en çok tekrarlananın (mod) bulunmasında kullanılan kod bloğu.....	101
Şekil 4.22. Histogramda medyanı hesaplayan kod bloğu	101
Şekil 4.23. Histogramda standart sapmayı hesaplayan kod bloğu	102
Şekil 4.24. Histogramda en küçük renk değerini hesaplayan kod bloğu	102
Şekil 4.25. Histogramda en büyük renk değerini hesaplayan kod bloğu	102
Şekil 4.26. Gri tona çevrilmiş resmin histogramı ve istatistiki bilgiler	103
Şekil 4.27. Belirlenen aralıklara göre agrega, çimento ve hava boşluğunun renk değerlerinin toplamalarını bulan kod bloğu	104
Şekil 4.28. Gri tona çevrilmiş resmin belirlenen aralıkta renklere göre yeniden oluşturulması	105
Şekil 4.29. Renklendirme işlemini yapan kod bloğu	105
Şekil 4.30. Gri tona çevrilmiş resim ve belirlenen aralıkta renklere göre yeniden oluşturulması	106
Şekil 4.31. Çimento, agrega ve hava boşluklarının yüzdelelerini hesaplayan kod bloğu.....	106
Şekil 4.32. Beton basınç dayanımı tahmin yöntemi.....	107

Şekil 4.33. Tahmin edilen beton basınç dayanım sonuçları.....	107
Şekil 4.34. Beton basınç tahmininden sonra oluşturulan raporun 1. Sayfası.....	108
Şekil 4.35. Beton basınç tahmininden sonra oluşturulan raporun 2. Sayfası.....	108
Şekil 4.36. İstenilen formatta kaydedilebilmesi.....	109
Şekil 4.37. İşlem basamaklarına göre işlemlerin yapılmış son hali.....	109
Şekil 4.38. ImageJ ve geliştirilen yazılımın elde etmiş olduğu gri renk değerlerinin örtüşme grafiği	110
Şekil 4.39. Tahmini sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Lineer)	112
Şekil 4.40. Tahmini sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Lineer olmayan).....	112
Şekil 4.41. Tahmini ve deneysel veri sonuçlarının karşılaştırılması.....	114

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Basınç dayanımlarına göre beton grupları.	7
Çizelge 2.2. Yapısal betonun tipik mühendislik özellikleri	8
Çizelge 2.3. Optimum su miktarı ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişki	13
Çizelge 2.4. TS EN 206-1'e göre beton sınıfları ve dayanımları	20
Çizelge 3.1. 1 m ³ betonda bulunan teorik malzeme miktarları	70
Çizelge 3.2. Sertleşmiş betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler	71
Çizelge 4.1. Beton üretiminde kullanılan agregaların özellikleri	81
Çizelge 4.2. CEM I 42,5 R Çimentosuna ait fiziksel ve mekanik özellikler	81
Çizelge 4.3. N serisine ait sertleşmiş beton deneyleri sonuçları	82
Çizelge 4.4. Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi	84
Çizelge 4.5. Görüntü işleme sonucu elde edilmiş sonuçlar	87
Çizelge 4.6. Tanımlayıcı istatistikler	87
Çizelge 4.7. Beton basınç dayanımının 10 cm ³ küp numuneden 15 cm ³ küp numuneye dönüşümü	89
Çizelge 4.8. Fonksiyon parametreleri	93
Çizelge 4.9 Form1 üzerine eklenen kontroller	95
Çizelge 4.10. ImageJ ve geliştirilen yazılım tarafından elde edilen görüntü işleme analiz sonuçları	111
Çizelge 4.11. K serisine ait sertleşmiş beton deneyleri sonuçları	113
Çizelge 4.12. Geliştirilen yazılım sayesinde tahmin edilen sonuçlar	113

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

TSE	Türk Standartları Enstitüsü
THBB	Türkiye Hazır Beton Birliği
C_3S	Trikalsiyum Silikat
C_2S	Dikalsiyum Silikat
C-S-H	Kalsiyum Silikat Hidrat
CH	Kalsiyum Hidroksit
S/Ç	Su/Çimento
D _{max}	Maksimum agregâ çapı
C _{min}	Çimento Miktarı
L/D	Boy/ Çap oranı
RGB	Red Green Blue

1. GİRİŞ

Dünya nüfusu arttıkça, insanların barınma, sağlık, eğitim ve kentsel altyapı gereksinimleri de artmakta, tüm bu gereksinimlerin karşılanması için konut, işyeri, okul, hastane, yol, baraj vb. yapıların sürekli ve kaliteli olarak üretilmesi gerekmektedir. Bu süreçte en çok başvurulanan yapı malzemesi ise betondur (Anonim 1, 2011).

Yapıların tasarımında yapıda kullanılacak betonun basınç dayanımı önemli bir tasarım ölçütüdür. Bu ölçüte göre yapı elemanlarının (yapı bileşenlerinin) taşıma gücü belirlenmekte ve kesit alanları seçilmektedir. Betonarme yapılarda betonun basınç dayanımı taşıma gücünün temelini oluşturur. Öte yandan betonun nitelik denetiminde üniversal bir büyüklük olarak basınç dayanımı kullanılmaktadır. Basınç dayanımının betonun diğer özellikleriyle paralellik göstermesi, betonun basınç dayanımı deneyinin diğer dayanım deneylerine göre daha kolay olması, beton sınıflarının oluşturulmasında beton basınç dayanımının temel alınması vb. nedenlerden dolayı betonun dayanımları arasında en önemli olanı basınç dayanımıdır (Başka, 2006). Eğer bir betonun basınç dayanımı bilinirse, diğer özellikleri de kolaylıkla tahmin edilebilmektedir.

Beton basınç dayanımı belirlemede tahribatlı ve tahribatsız test yöntemleri kullanılmaktadır. Yerindeki betondan kesilerek numune alınması biçimindeki tahribatlı deney yöntemleri ile beton basınç dayanımının tahmin edilmesi, yapı elemanının kesitinin azalmasına ve dolayısıyla da taşıma kapasitesinin düşmesine, onarım maliyetlerinin ortaya çıkmasına yol açmaktadır. Bu nedenle karot numunesi deney sonuçları sayısı sınırlı olmakta, tahmin hatasını azaltmak amacıyla yapıdaki betonu temsil etmeye yetecek sayıda noktada dayanım tahmin edilebilmesi için tahribatsız deney yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Yapıda aynı noktadaki beton üzerinde elde edilen tahribatlı deney sonuçları ile tahribatsız deney sonuçları arasında kurulan uygun biçimdeki bir matematiksel ilişki, kalibrasyon bağıntısı, kullanılarak tahribatsız deney yapılan yeterli sayıdaki deney noktasında dayanım tahmin edilmektedir (Akman ve Güner, 1984; Güner ve Akman, 1984). Ultrases

geçiş süresi, pin penetrasyon, pull-off vb. tahribatsız deneyler daha önceden laboratuvarlarda birçok testle belirlenmiş amprik formüller yardımıyla beton basınç dayanımı hakkında yaklaşık sonuçlar vermektedirler (Uomoto, 2000). Yalnızca geri sekme (Schmidt) çekici kullanıldığında $\pm\%45$ mertebelerinde olan tahmin hatâları, birleşik tahribatsız yöntem, örnek olarak yeterli sayıda karot numuneleri, geri sekme çekici ve ultrases geçiş süresi ile birlikte kullanılarak $\pm\%12$ civarına indirilebilmektedir (Akman ve Güner, 1980). Tahribatsız yöntemler genellikle tek başlarına kullanılmamakta, birkaç yöntem beraber kullanılarak beton basınç dayanımı tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Bu tez çalışmasında, tahribatlı deneylerin yapıya verdiği zararı aza indirmek ve tahribatsız deneylerin yetersizliğini gidermek amacıyla yeni bir yöntem olan görüntü işleme tekniklerinin beton numuneler üzerinde uygulanabilirliği araştırılmıştır.

Beş ana bölümden oluşan çalışmanın birinci bölümünde çalışmanın önemi ve amacı hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölümde, genel bilgilerle birlikte konuyla ilgili olarak yapılan çalışmalara yer verilmiştir. Üçüncü bölüm olan materyal ve metot kısmında ayrıntılı bir şekilde işlem basamakları açıklanmıştır. Dördüncü bölümde araştırma bulguları verilmiş, beşinci bölümde ise çalışmadan elde edilen sonuçlar değerlendirilmiş ve öneriler sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Beton

Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı maddelerinin belirli bir üretim teknolojisine uygun olarak belli oranlarda karıştırılmasıyla elde edilen bir yapı malzemesidir (Güner ve Yüksel, 2008). Beton bulunuşundan bu yana uzun yıllar geçmesine rağmen halen popülaritesini koruyan yegâne ve vazgeçilmez bir yapı malzemesi olmaya devam etmektedir. Beton teknolojisinin gelişimiyle birlikte her geçen gün beton üretim miktarları da artmaktadır. Çevremize baktığımızda, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, kent mobilyaları vb. betondan yapıldığını görürüz (Özkul vd., 1999).

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) 2011 verilerine göre ülkemizde 520 adet beton firması ve bunlara ait 945 tesis de yaklaşık 90,5 milyon m³ beton üretimi gerçekleştirilmektedir (Anonim, 2012).

Betonu oluşturan malzemelerin (su–çimento–kum–çakıl) oranları değiştirilerek dayanımı farklı betonlar elde edilebilir. Buna ek olarak özel üretilmiş çimentolar, özel agregalar (hafif agrega, ağır agrega), katkı maddeleri ve özel kür şartları kullanılarak farklı özelliklerde beton elde edilebilir (Başka, 2006).

Agregalar, beton yapımında çimento ve su ile birlikte kullanılan, kum, çakıl, kırma taş gibi taneli malzemelerdir. Beton hacminin yaklaşık %75'i agrega tarafından oluşmaktadır. Beton yapımında kullanılan temel malzemeler (çimento, su ve agrega) arasında en pahalı olanı çimentodur. Agreganın maliyeti, çimento maliyetine göre çok düşüktür. O nedenle, istenilen kalitedeki betonu elde edebilmek kaydıyla, betonda mümkün olabildiği kadar çok miktarda agrega kullanılması, betonun daha ekonomik olmasına yol açmaktadır. Beton yapımında agrega kullanılmasının tek nedeni daha ekonomik beton üretmek değildir. Agrega, betonun teknik özelliklerine de önemli katkılarda bulunmaktadır. Betonun içerisinde bulunan agrega taneleri, çimento hamurunun zamana bağlı olarak gösterebileceği hacim değişikliğinin

serbestçe yer alabilmesini belirli ölçüde engellemektedir. O nedenle, sadece çimento hamurundan oluşmuş olan bir malzemeye oranla, betonun göstereceği hacim değişikliği ve buna bağlı olarak yer alabilecek çatlaklar daha az olmaktadır. Beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle, sert ve dayanımı oldukça yüksek olan malzemelerdir. Agregada dayanımının yüksek olması, beton dayanımının da yüksek olmasına katkıda bulunmaktadır. Sert ve dayanıklı agregalar, betonun aşınmaya karşı veya çevreden gelebilecek diğer yıpratıcı etkilere karşı daha dayanıklı olabilmesine yardımcı olmaktadır (Erdoğan, 2007). Beton üretiminde kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620' ye (TSE, 2009) uygun olmalıdır.

Portland çimentosu, kalker ve kil karışımı hammaddelerin pişirilmeleri ile ortaya çıkan ve "klinker" olarak adlandırılan malzemenin çok az miktarda alçıtaşı ile birlikte öğütülmesi sonunda elde edilen bir üründür; su ile birleştirildiğinde hidrolik bağlayıcılık özeliği kazanmaktadır (Erdoğan, 2007). Yalnızca Portland çimentosu klinkeri ve alçı taşının birleştirilmesi sonucu Portland çimentosu elde edilir, öğütme sırasında Portland Çimentosu Klinkeri ve alçı taşına belli miktardaki katkı maddeleri eklenirse farklı tiplerdeki katkılı çimentolar elde edilir, çimento tipi katkıların çeşitlerine ve oranlarına göre değişir (Güner ve Yüksel, 2008). Beton üretiminde kullanılacak çimentolar TS EN 197-1'e (TSE, 2002) uygun olmalıdır.

Beton üretiminde kullanılan karışım suyunun iki önemli işlevi vardır. Bunlar;

Kuru haldeki çimento ve agregayı plastik, işlenebilir bir kütle haline getirmek ve çimento ile kimyasal reaksiyon yaparak plastik kütlede sertleşmesini sağlamaktır.

Kıvam m^3 'e giren su miktarına bağlıdır. Bilindiği üzere beton mukavemeti, su/çimento oranına bağlıdır. İşte bu sebeple şantiyeye teslimi yapılan taze betona daha fazla kıvam kazandırmak amacıyla fazladan su katmak betonun mukavemetini azaltır. Genel olarak içilebilir nitelik taşıyan bütün sular betonda kullanıma uygundur. Ancak, betonda kullanılacak suyun içilebilir özellikte olması şart değildir. Birtakım ön deneyler yapılmak kaydıyla, içilemeyen sularla da gayet kaliteli beton üretimi mümkündür. Bununla birlikte karışım suyu içinde bulunabilecek tuz, asit,

yağ, şeker, lağım ve endüstriyel atıklar gibi bazı maddeler betonda istenmeyen etkiler yaratabilir. Karışım suyunun analizlerle belirlenmesi ve kalitesinin belli aralıklarla denetlenmesi şarttır. Betonun bünyesinde çimento ile reaksiyona girmeyen fazla suyun bıraktığı boşluklar yalnız dayanımı düşürmekle kalmamaktadır. Boşluklardan içeri giren zararlı unsurlar (klor, sülfat vb.) beton ve donatıya zarar vermekte ve betonun ömrünü kısaltmaktadır. Betona verilebilecek en büyük zarar, fazladan su katılmasıdır (THBB, 2012). TS EN 206-1'e (TSE, 2002) göre karma suyu TS EN 1008 'e (TSE, 2003) uygun olmalıdır.

Kimyasal katkıları betona su, agrega ve çimento dışında yığının karıştırılması sırasında, genellikle çok düşük miktarlarda karışım suyuyla katılan malzemelerdir. Kimyasal katkıları taze betonun işlenebilirlik, priz süresi, korozyon direnci, sürüklenmiş hava miktarı ve terleme gibi özelliklerini ve bu şekilde de sertleşmiş betonun dayanım, dayanıklılık ve hacim sabitliği gibi özelliklerinin geliştirilmesini sağlarlar. Betonun işlenebilme özelliklerini etkileyen bu katkıları;

- Su azaltıcı (akışkanlaştırıcı) katkıları,
- Priz geciktiriciler,
- Priz hızlandırıcıları,
- Su azaltıcı ve priz geciktiriciler,
- Su azaltıcı ve priz hızlandırıcıları,
- Yüksek oranda su azaltıcıları,
- Yüksek oranda su azaltıcı ve priz geciktiriciler
- Hava sürükleyiciler,
- Diğer katkıları olarak sınıflandırılırlar (Topçu, 2008) .

Betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan, çimento gibi öğütülmüş, toz halde silolarda depolanan; yüksek fırın cürufu, uçucu kül, silis dumanı, tras, taş unu vb. maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar, fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoyla benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisine katkı sağlarlar. Bu katkıların betona ek dayanım kazandırma

özelliği olduğu kadar, betonun durabilite (kalıcılık) anlamında da performansını arttırmırlar. Tüm dünyada ve ülkemizde mineral katkılar zaman içinde her türlü fiziksel, kimyasal ve elektro-kimyasal dış etkilere karşı uzun ömürlü betonarme yapıların üretiminde Portland çimentosu veya Portland çimentosu klinkeri ile birlikte kullanılmaktadır (Yapı Test, 2012; Akpınar Beton, 2012).

Beton diğer yapı malzemelerine göre, daha kolay şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, her yerde üretilebilir olması ve çeşitli özellikleri nedeniyle, en çok kullanılan yapı malzemesidir. Taze haldeyken plastik bir kıvama sahip olması betona istenilen herhangi bir şeklin verilmesini sağlar. Diğer bir deyişle, taze beton sertleştiiğinde içine konulduğu kalıbın şeklini almış olur. Böylece, kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli hiperbolik kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonları vb. yapmak mümkün olur. Beton üretiminde büyük ölçüde yerel malzemeler kullanılır. Bu husus maliyetinin diğer yapı malzemelerine oranla düşük olmasındaki en önemli noktalardan biridir. İyi bir beton dayanıklı bir yapı malzemesidir. Uygun bir şekilde tasarlanmış, üretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştırılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar her hangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür. Betonu bir hazır beton santralinde olduğu kadar ülkenin en ücra bir köşesinde de - kalite kontrolüne özen gösterilmek şartı ile - üretmek mümkündür. 1m³ alüminyum, çelik ve cam üretmek için, sırasıyla, yaklaşık 360 GJ, 300 GJ ve 50 GJ enerji harcanırken, aynı miktarda bir beton için yaklaşık 3,5 GJ enerjiye gereksinim vardır. Enerji maliyetindeki hızlı artış göz önünde bulundurulduğunda, betonun bu özelliğinin önemi de anlaşılır. Beton, aynı zamanda, birçok olanaklara sahip bir malzemedir. İstenilen şekil, renk ve yüzey özelliklerini vererek değışik görüntüler elde etmek mümkündür (Özkul vd., 1999).

Betonun birçok olumlu özelliğinin yanı sıra, elbette ki, bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Ancak, bunların üstesinden gelebilmek için beton üreticiye ve kullanıcıya birçok olanak sağlar. Çelik donatı kullanılarak düşük çekme dayanımı dezavantajının azaltılması, çeşitli özelliklerin daha da iyileştirilmesi bu olanaklara örnek olarak verilebilir (Özkul vd., 1999).

2.1.1. Betonların sınıflandırılması

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar. Yaklaşık 2400 kg/m^3 ağırlığında olan betonlar normal beton olarak isimlendirilir ve taşıyıcı amaçlarla en çok kullanılan beton türüdür. Hafif betonlar, birim ağırlıkları 1800 kg/m^3 'den az olan betonlardır. Yalıtım amaçlı olarak veya dayanım-ağırlık oranının yüksek olması koşullarında kullanılır. Radyasyon kalkanı olarak kullanılacak betonlarda bazı özel agregalar kullanılarak ağırlık arttırılır. Birim ağırlığı 3200 kg/m^3 'den yüksek olan bu betonlar ağır beton olarak adlandırılır. Öte yandan, dünyanın birçok ülkesinde birbirinden farklılıklar gösteren sınıflandırmalar yapılmasına karşın, betonları basınç dayanımlarına göre Çizelge 2.1.'deki üç ana grubu ayırmak mümkündür (Mehta and Monteiro, 2006).

Çizelge 2.1. Basınç dayanımlarına göre beton grupları (Mehta and Monteiro, 2006).

Düşük dayanımlı betonlar	Basınç dayanımları 20 N/mm^2 'nin altında olan betonlar.
Normal dayanımlı betonlar	Basınç dayanımları $20\text{-}40 \text{ N/mm}^2$ olan betonlar.
Yüksek dayanımlı betonlar	Basınç dayanımları 40 N/mm^2 'den fazla olan betonlar.

2.1.2. Sertleşmiş betonların bazı özellikleri

Erdoğan 2007' ye göre sertleşmiş betondan beklenen başlıca özellikler şu şekilde belirtilebilir: Sertleşmiş beton,

- 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir.
- Çevredeki suyun ve diğer sıvıların betonun içerisine kolayca girerek olumsuz etki yaratmaması için, yeterince geçirimsiz olmalıdır.
- Yapıda hizmet gördüğü süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkenler karşısında yeterince dayanıklı olmalıdır. Bir başka deyişle, donma-çözölmeye, ıslanma-kurumaya, ısınma-soğumaya, aşınmaya, asitlere,

sülfatlara ve alkali-agrega reaksiyonu gibi kimyasal reaksiyonlara karşı dayanıklılık gösterebilecek kalitede olmalıdır.

- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani, çatlamalara yol açacak ölçüde büzülme (rötre) veya genleşme göstermemelidir.

Betonda aranan önemli özellikler Çizelge 2.2’de, yapısal betonun mühendislik özelliklerine ait tipik değerler gösterilmektedir.

Çizelge 2.2. Yapısal betonun tipik mühendislik özellikleri (Mindess et al., 2003)

Özellikler	Tipik Değerler
Basınç dayanımı	35 MPa
Eğilme dayanımı	6 MPa
Çekme dayanımı	3 MPa
Elastiklik modülü	28 GPa
Poisson oranı	0.18
Kırılmadaki çekme birim deformasyonu	0.001
Isısal genleşme katsayısı	$10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Büzülme (rötre)birim deformasyonu	% 0.05 - 0.1
Yoğunluk Normal ağırlıklı beton	2350 kg/m^3
Yoğunluk Hafif beton	1800 kg/m^3

2.1.3. Beton basınç dayanımı

Beton dayanımı, üzerine gelen yüklerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği maksimum direnme olarak tanımlanmaktadır. Betonun üzerine değişik yönlerde uygulanan yükler, değişik etkiler yaratabilmektedir. Basınç, çekme, eğilme ve kayma etkisi yaratacak yükler altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyeti, sırasıyla, basınç dayanımı, çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve kayma dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Tekrarlı yüklerin etkisi altında betonun şekil değiştirmeye ve kırılmaya karşı göstereceği direnme kabiliyetine ise yorulma dayanımı denilmektedir. Beton basınç yükleri altında daha iyi davranış gösterdiğinden, betonun dayanımından söz edildiğinde, diğer dayanımlar belirtilememişse, basınç dayanımı anlaşılır (Erdoğan, 2007; Özkul, 1999).

Yapıların tasarımında yapıda kullanılacak betonun basınç dayanımı önemli bir tasarım ölçütüdür. Bu ölçüte göre yapı elemanlarının (yapı bileşenlerinin) taşıma

gücü belirlenmekte ve kesit alanları seçilmektedir. Betonarme yapılarda betonun basınç dayanımı taşıma gücünün temelini oluşturur. Öte yandan betonun nitelik denetiminde üniversal bir büyüklük olarak basınç dayanımı kullanılmaktadır. Basınç dayanımının betonun diğer özellikleriyle paralellik göstermesi, betonun basınç dayanımı deneyinin diğer dayanım deneylerine göre daha kolay olması, beton sınıflarının oluşturulmasında beton basınç dayanımının temel alınması vb. nedenlerden dolayı betonun dayanımları arasında en önemli olanı basınç dayanımıdır (Başka, 2006). Beton basınç dayanımı Denklem 2.1 ile hesaplanabilmektedir.

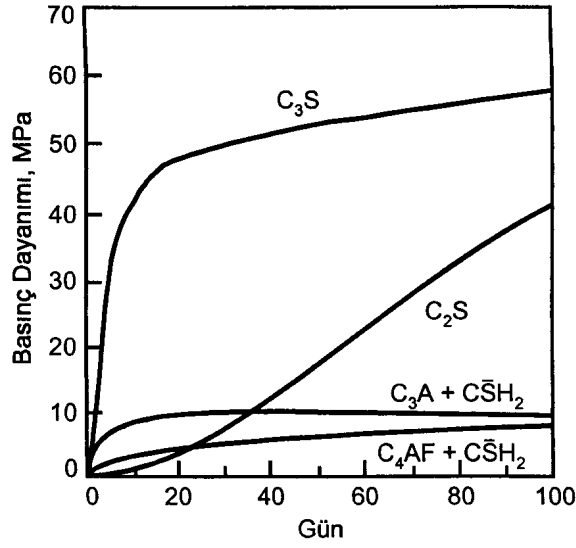
$$\sigma = P / A \quad (2.1)$$

σ = Basınç Dayanımı (MPa=N/mm²)

P = Numunenin Kırılmasına yol açan maksimum yük (N)

A= Numunenin kesit alanı (mm²)

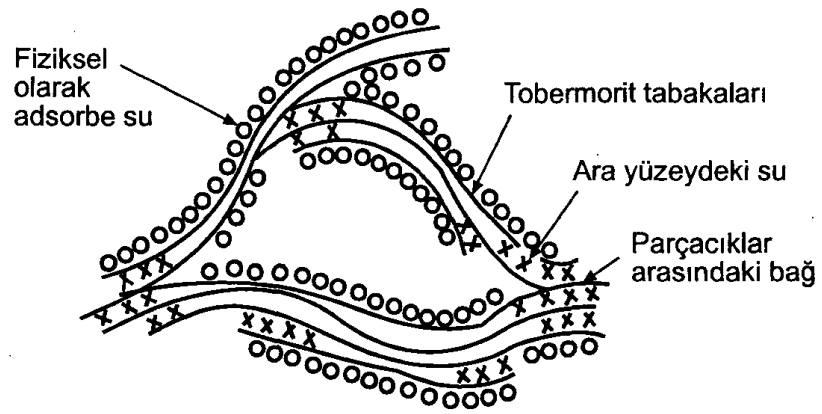
Çimento hamuru veya beton elde edebilmek için, çimento ve su bir araya getirilir getirilmez, her ana bileşen ile su ayrı ayrı reaksiyona girmekte ve her ana bileşenin reaksiyon hızı, reaksiyon esnasında açığa çıkan ısı ve reaksiyon sonucunda oluşan ürünün çimento hamurunun bağlayıcı özeliğine (dayanımına) katkısı farklı olmaktadır. Çimentoyu oluşturan ana bileşenlerin su ile birleşerek başlattıkları kimyasal reaksiyonlar açığa ısı çıkaran türdendir. Kimyasal reaksiyonlar devam ettikçe (hidratasyon devam ettikçe) ısıнын açığa çıkması da devam etmektedir. Hidratasyon, ilk zamanlarda hızlı tempoda yer almakta ve zaman ilerledikçe, hidratasyonun hızı yavaşlamaktadır. Çimento hamurundaki ana bileşenlerin gösterdiği dayanım artışı Şekil 2.1’de görülmektedir (Erdoğan 2007).



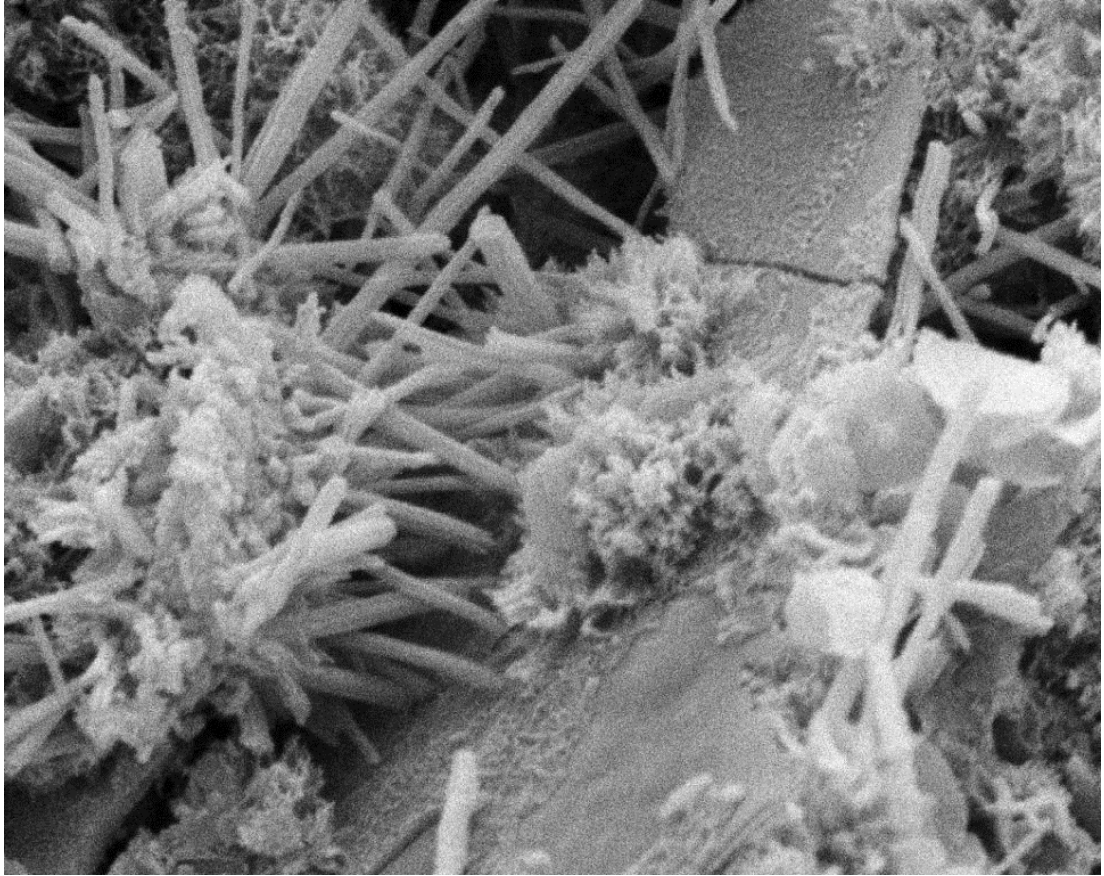
Şekil 2.1. Çimento hamurundaki ana bileşenlerin gösterdiği dayanım artışı (Erdoğan 2007)

Çimento hamurunun kazandığı dayanım C₃S ve C₂S ana bileşenlerin hidratasyonu ile ortaya çıkan C-S-H jellerinin miktarına bağlıdır. Doğal olarak, C-S-H jellerinin tümü, bir anda meydana gelmemektedir. Hidratasyon olayı devam ettikçe, C-S-H jellerinin üretimi de devam etmekte ve çimento hamurunun dayanımı artmaktadır. C₃S ana bileşenlerin hidratasyonu ilk zamanlarda C₂S ana bileşenlerin hidratasyonundan daha hızlı yer aldığı için, çimentodaki dayanım artışına C₃S'nin ilk zamanlardaki katkısı daha çoktur (Erdoğan, 2007).

Kompozit bir malzeme olan beton incelendiğinde, betonun agrega ve çimento hamuru gibi iki fazdan meydana gelmiş olduğu; daha yakın incelemede ise harç fazının hidrate çimento matrisi içerisine gömülmüş kum taneciklerinden meydana geldiği görülmektedir. Mikroskobik düzeyde yapılan incelemelerde ise, hidrate çimento pastasının C-S-H ve CH meydana geldiği, bu fazın ise (içi su ile dolu ya da boş) kılcal boşluklar ve hidrate olmamış çimento taneciklerini içerdiği görülmektedir. Daha alt ölçekte yapılan incelemelerde ise kalsiyum-silikat-hidrat jellerinin değişik şekil ve kimyasal yapıda kristalize olmuş zayıf partiküller ile sürekli ve kesikli jel boşluklarından ibaret olduğu tespit edilmiştir. Çimento hamurunda oluşan silika –hidratların muhtemel yapısı Şekil 2.2'de ve hidrate olmuş çimentonun iç yapısı Şekil 2.3'de görülmektedir. (Erdoğan, 2007).



Şekil 2.2. Çimento hamurunda oluşan silika –hidratların muhtemel yapısı (Erdoğan, 2007)



Şekil 2.3. Hidrate olmuş çimentonun içyapısı (Lab Cement, 2012)

Hakeza agregaların da bir kompozit olarak farklı minerallerin belirli bir porozite ile bir araya toplanmış bir yapıya sahip olduğu bilinmektedir. Yukarıda açıklanan özellikler nedeniyle beton yapısal olarak oldukça karmaşık bir kompozittir. Bununla

birlikte beton içyapısı çözümlenirken diğer kompozitler için göz önünde tutulan parçacık şekli, parçacık büyüklük ve dağılımı, parçacık yoğunluğu ve dağılımı, parçacık dizimlenmesi, parçacık dokusu, dağılmış fazın yapısı, sürekli fazın yapısı ile dağılmış ve sürekli faz arasındaki bağ gibi özetlenen parametreler dikkate alınır. Burada beton için parçacık ya da dağılmış faz olarak tabir edilen agregadır. Sürekli faz ise (matris malzemesi) çimento hamurudur. Bilindiği üzere en az üç farklı malzemeden (agrega, çimento ve su) üretilen bir kompozit olan beton, çimentonun hidratasyon reaksiyonları sonucu meydana gelen yeni ürünler, fiziksel yapı ve fazlar ile daha karmaşık bir içyapıya kavuşur (Uğurlu, 1999).

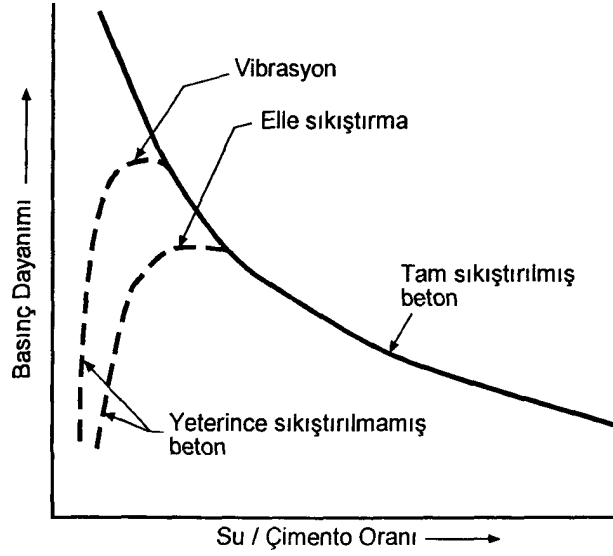
2.1.4. Beton basınç dayanımına etki eden faktörler

Beton dayanımı etkiyen faktörler şunlardır;

- Su /çimento oranı
- Karma suyunun kalitesi
- Çimento özellikleri
- Sıkıştırma düzeyi
- Kullanılan agregası
- Betonun yaşı
- Dış etkiler- kür koşulları
- Betonun kompozitesi (Doluluk)
- Betonun karılması, taşınması ve yerleştirilmesi (Erdoğan, 2007; Topçu, 2008; Kamanlı ve Balık, 2003)

2.1.4.1. Su /çimento oranı

Su/çimento (S/Ç) oranı ile beton dayanımı arasındaki ilişki Şekil 2.4'deki gibi gösterilmektedir. Genel olarak, su/çimento oranı azaldıkça, dayanım artmaktadır. Ancak, su/çimento oranındaki azalma çok olduğu takdirde, böyle bir betonu tam olarak sıkıştırabilmek zor olduğundan, betonun içerisindeki boşluklardan tamamen kurtulunamamaktadır. O nedenle, çok düşük S/Ç değerlerine sahip olan betonların dayanımlarında, kesik çizgilerle belirtildiği gibi, düşüş olmaktadır. (Erdoğan, 2007).



Şekil 2.4. Beton dayanımı ile Su/Çimento oranı arasındaki ilişki (Erdoğan, 2007)

Optimum su miktarına göre, su miktarının azaltılması veya artırılmasının beton basınç dayanımına olan etkisi Çizelge 2.3.'de verilmiştir (Postacıoğlu, 1987).

Çizelge 2.3. Optimum su miktarı ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişki (Postacıoğlu, 1987)

Su Miktarı	Dayanım
% 10 eksik olması	% 10 azalma
% 20 eksik olması	% 60 azalma
% 20 fazla olması	% 30 azalma
% 30 fazla olması	% 50 azalma
% 100 fazla olması	% 80 azalma

2.1.4.2. Karma suyunun kalitesi

Beton üretiminde kullanılacak olan suyun içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin miktarları, betonun priz süresine, dayanımına, dayanıklılığına ve beton yapılarıdaki betonların içerisindeki yer alan demirin korozyonuna olumsuz etki yapabilecek kadar fazla olmamalıdır (Erdoğan, 2007). Beton üretiminde kullanılacak olan suyun TS EN 1008 'e (TSE, 2003) göre uygun olmalıdır.

2.1.4.3. Çimento özellikleri

Çimentonun kalitesi ve miktarı basınç dayanımını etkiler. Betonun daha yüksek dayanımlı olmasında çimentonun yüksek dayanımlı olmasının etkisi büyüktür. CEM I-52.5 ile üretilen bir beton, CEM I-32.5 ile üretilen bir betondan daha mukavemetlidir. Çimentonun ana bileşenleri ve inceliği çimento hamurunun dayanım kazanma hızını etkiler. Dayanım için çimentonun kalitesi dışında miktarı da önemlidir. Çimento dozajının yüksek olması mukavemeti artırır. Ancak dayanıma etkileyen faktör su/çimento oranıdır. Çimento dozajı için önerilen minimum değer Denklem 2.2 'de verilmiştir (Bedirhanoğlu, 2011; Kamanlı ve Balık, 2003).

$$C_{\min} = \frac{550}{\sqrt[5]{D_{\max}}} \quad (2.2)$$

$D_{\max}$ = Agrega yığının maksimum tane çapı

$C_{\min}$ = Çimento miktarı (kg/m^3)

2.1.4.4. Sıkıştırma düzeyi

Beton, içindeki boşluk miktarı en az düzeye indirilmesi amacıyla sıkıştırılır. İyi sıkıştırılmış, boşlukları ve gözenekleri en az miktarda olan betonların dayanımları sıkıştırılmamışlara göre daha yüksektir (Topçu, 2008). Sıkıştırmanın beton dayanımı üzerine etkisi (Bkz. Şekil 2.4'e) görülmektedir.

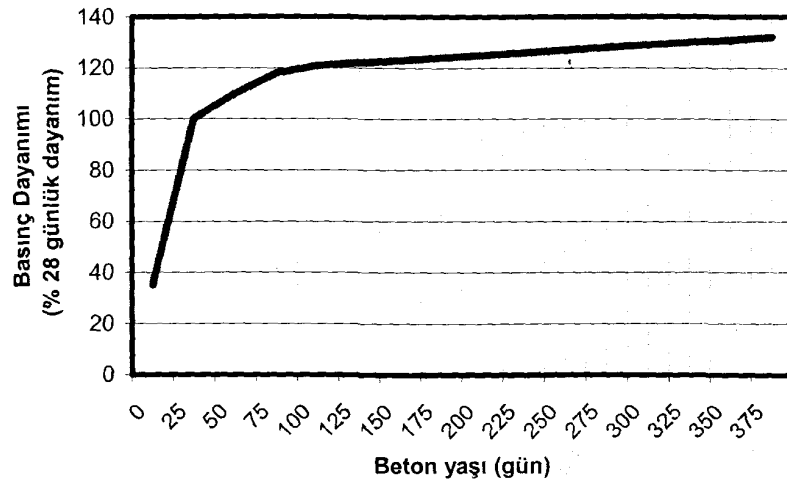
2.1.4.5. Kullanılan agregalar

Beton dayanımını etkileyen agregalar özelliklerinin başında, agregalar gradasyonu, en büyük agregalar tane boyutu, tane şekli, tanelerin yüzey dokusu, dayanımı ve agregada bulun zararlı maddelerin miktarı gelmektedir. Agregalar özelliklerinden bazıları, taze betonda elde edilmek istenen işlenebilirlik için gereken su miktarına, çimento hamuru ile agregalar taneleri arasındaki aderansa, bazıları ise, hem su/çimento oranına hem de

çimento hamur tanesi yüzeyindeki bağın ne ölçüde oluşacağına etki etmektedir (Erdoğan, 2007).

2.1.4.6. Betonun yaşı

Uygun sıcaklık ve nem ortamı sağlandığı sürece betonun dayanımı yaşla birlikte artar. Dayanım artış hızı erken yaşlarda daha yüksektir. Pratikte, betonun 28 günlük dayanımı büyük önem taşır. Bunun nedeni, betonun zaman içinde ulaşabileceği dayanımın neredeyse tamamını ilk 28 gün içinde elde etmesidir. Daha ileri yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır (Topçu, 2008). Beton yaşı ile basınç dayanımı ilişkisi Şekil 2.5’de verilmiştir.

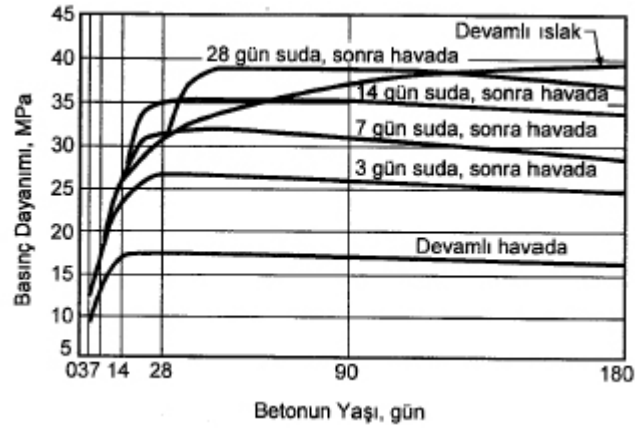


Şekil 2.5. Beton yaşı basınç dayanımı ilişkisi (Topçu, 2008).

2.1.4.7. Dış etkiler- kür koşulları

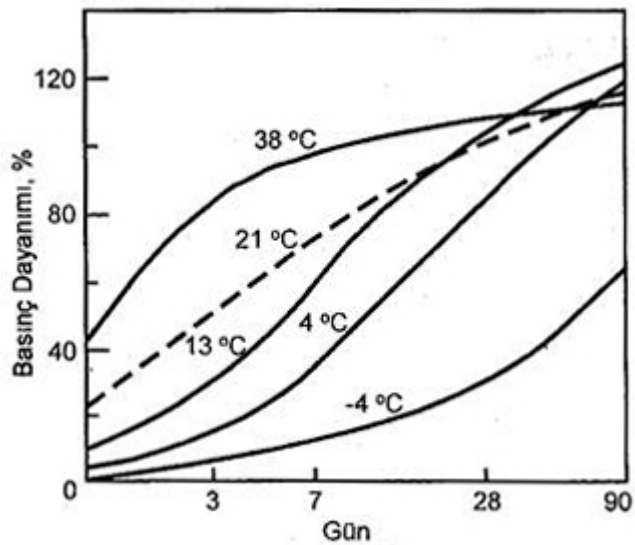
Betonun sertleşme aşamasında bulunduğu çevre şartlarına kür koşulları denilir. Bunlar ise nem ve sıcaklık olarak gruplanabilir. Nemi yüksek tutmak hatta doygun durumda tutmak koşuluyla sıcaklık 60°C üzerine çıkıldığında (80–90°C) dayanım artışı hızlanmaktadır. Bu yöntemle 1–2 gün gibi kısa bir zamanda istenilen dayanıma ulaşılır. Ancak bağıl nem %50’nin altına düşmesi beton bünyesindeki suyun buharlaşması, hidrasyon için gerekli suyun kalmaması anlamına gelir. Buharlaşmanın fazla olması yalnız hidrasyonu etkilemez, erken rötre denilen olayı

önemli ölçüde arttırır. Bu da çatlaklı bir yapının oluşmasına neden olur. Hidratasyonu tamamlanmamış ve çatlaklı bir yapıya sahip bir betonun dayanımının düşük bir değer olacağı açıktır (Başka, 2006). S/Ç oranı 0.5 olan bir betonun değişik ortamlarda kür edilmesi sonucundaki basınç dayanımları Şekil 2.6.' da görülmektedir (Bedirhanoğlu, 2011).



Şekil 2.6. Su/Çimento oranı 0.5 olan bir betonun değişik ortamlarda kür edilmesi sonucundaki basınç dayanımları (Bedirhanoğlu, 2011)

Kür sıcaklığının beton basınç dayanımına etkisi Şekil 2.7'de görülmektedir (Bedirhanoğlu, 2011).



Şekil 2.7. Kür sıcaklığının beton basınç dayanımına etkisi (Bedirhanoğlu, 2011).

2.1.4.8. Betonun kompasitesi

Beton kompasitesi 1m^3 taze betondaki katı öğelerin (agrega ve çimento)'nun kapladığı kütle hacimdir. Denklem 2.3' de kompasitenin formülü verilmiştir.

$$\text{Kompasite} = K = c + v + u = 1 - (e + h) \text{ m /m (Birimsiz)} \quad (2.3)$$

c =Çimento

u= Kum

v= İri agrega

e= Su

h= Hava

İyi bir betonda $K = \% 80$ 'den büyük olmalıdır. Kompasitesi yüksek bir betonun basınç dayanımı da yüksektir (Kamanlı ve Balık, 2003).

2.1.4.9. Betonun karılması, taşınması ve yerleştirilmesi

Beton yapımına uygun malzemelerin uygun oranlarda bir araya getirilerek karılmaları işlemindeki süre gerekenden çok kısa veya çok uzun olmamalı, üretilen taze betonda segregasyon yer almamalı ve üniform bir beton elde edilmelidir. Karılma süresi çok kısa tutulduğu takdirde, malzemelerin üniform dağılımı sağlanamamaktadır. Karılma süresi çok uzun tutulduğunda ise, hem beton karışımının sıcaklığı yükselmekte, hem de iri agregalarda kırılmalar ufalanmalar meydana gelebilmektedir. Agregalardaki ufalanmalardan dolayı, istenilen kıvamı elde edebilmek için daha çok suya gerek olmaktadır. Su miktarının artırılması ise, su/çimento oranının yükselmesine, beton dayanımının düşmesine yol açmaktadır (Erdoğan, 2007).

Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri segregasyona neden olmayacak ve betonun üniformitesini bozmayacak tarzda yapılmalıdır. Aksi halde, beton kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler göstermekte ve beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir (Erdoğan, 2007).

Yerine yerleştirilen taze betonun içerisinde ister istemez çok büyük boşluklar bulunmaktadır. Betonun o haliyle sertleşmesi durumunda oldukça düşük beton dayanımı elde edilmektedir. O bakımdan, yerine yerleştirilen taze betona uygun tarzda sıkıştırılma (vibrasyon gibi) yöntemlerinin uygulanmasının ve betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu olarak yerleştirilmesinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır (Erdoğan, 2007).

2.2. Tahribatlı ve Tahribatsız Test Yöntemleri

Bazı durumlarda yapım aşamasında olan veya yapımı yeni tamamlanmış betonarme yapılarla, yıllardır kullanılmakta olan mevcut betonarme yapılarda beton dayanımının belirlenmesi ihtiyacı aşağıdaki nedenlerden dolayı ortaya çıkmaktadır (Ersoy ve Tankut, 1989; Ergün ve Kürklü, 2005).

- Beton dökümü sırasında kalite denetiminin yapılmamış olması,
- Taze betondan alınan standart numune dayanımlarının proje dayanımlarından düşük olması,
- Standart numune dayanımları ile bizzat yapıda bulunan beton dayanımlarının uygulama hataları ve/veya ortam koşulları nedeniyle farklı olacağı endişesi,
- Yapı güvenliğini tehlikeye düşürebilecek bir takım hasarların meydana gelmiş olması,
- Yapının kullanım amacının değiştirilmesi ve/veya ilave kat çıkılması,
- Beton dayanımının, yangın, deprem gibi nedenlerle azalmış olması kuşkusu,

şeklinde sıralayabiliriz (Ergün ve Kürklü, 2005).

Beton basınç dayanımının belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Beton kalitesini belirlemeye yönelik yapılan dayanım tespitinde amaç, denetim veya değerlendirme olmaktadır. Dayanım tespitinde özellikle sınıf dayanımının denetlenmesi amacıyla uygulanan yöntem standartların da tarif ettiği gibi, döküm esnasında betondan alınan numunelerden standart kp veya silindir deney numunelerinin oluşturulmasıdır. Bu numunelerin 28 günlük basınç dayanımları

dikkate alınarak kalite denetimi yapılmaktadır. Numuneler standartların tarif ettiği şekilde yeterli sayıda alınarak, uygun sıkıştırma ve uygun zamanda laboratuvar kürüne tabi tutulması koşullarıyla sınıf dayanımı denetiminde kullanılabilirler. Bu numuneler zaman zaman şantiyede ait oldukları yapı veya yapı elemanı ile birlikte aynı koşullara maruz bırakılarak yerindeki basınç dayanımının belirlenmesi amacıyla da kullanılabilirler. Betonun yerinde basınç dayanımını elde etmek için çok sayıda tahribatsız veya tahribatlı deney yöntemleri bulunmaktadır. (Kadiroğlu ve Erbakan, 2004).

Literatürde, malzemelerin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan test yöntemleri, tahribatlı ya da tahribatsız veya tahribatlı, yarı-tahribatlı ve tahribatsız şeklinde sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada test yöntemleri tahribatlı ve tahribatsız olmak üzere iki grupta sınıflandırılarak açıklanacaktır (Bungey and Soutsos, 2001; Arıöz, 2004, Malhotra and Carino, 2004; Bungey vd. 2006; Şimşek, 2010) .

2.2.1. Tahribatlı test yöntemleri

2.2.1.1. Standart numunelerle basınç dayanımı deneyi

Bu deneyin uygulanmasında TS EN 12390-1'de (TSE, 2010) belirtilen boyutlara sahip standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken silindir veya küp şekilli kalıplara, TS EN 12390-2'de (TSE, 2010) belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplarından çıkartılmaktadır. Kalıplarından çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar (genellikle betonun yaşı 28. güne gelinceye kadar) TS EN 12390-2'de (TSE, 2010) belirtildiği kür ortamında saklandıktan sonra, TS EN 12390-3'e (TSE, 2010) göre deney presi olarak adlandırılan bir alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır (Erdoğan, 2007; Kadiroğlu ve Erbakan, 2004). Beton numunesi yüksekliğinin kesit boyutuna oranı büyüdükçe pres tablası ile örnek yüzü arasında sürtünmeden dolayı oluşan kuvvetlerin etkisi azaldığından, L/D oranı 2 olan standart silindir örnekler daha sağlıklı sonuçlar vermektedir. Fakat daha hafif olması ve başlık

yapılmasına gerek kalmaması nedeniyle uygulamada 15 cm ayrıtlı küp örnekler kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar aynı karışımdan hazırlanmış örneklerin standart silindir dayanımlarının, küp dayanımlarının % 80-85'i civarında olduğunu göstermiştir (Yazıcı, 2003). TS EN 206-1'e (TSE, 2002) göre beton sınıfları ve dayanımları Çizelge 2.4' de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. TS EN 206-1'e (TSE, 2002) göre beton sınıfları ve dayanımları

Beton Dayanımı Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı $f_{ck, sil}$ (N/mm ²)	En Düşük Karakteristik Küp dayanımı $f_{ck, küp}$ (N/mm ²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

Aynı kalitedeki bir betondan değişik şekil ve boyutlara sahip numuneler alınıp, değişik koşullar altında kırılma deneyine tabi tutulacak olur ise, bu numunelerin aynı büyüklüklerdeki yükler altında kırılmadıkları görülmektedir. Yani, beton kalitesinin ve numunelerin yaşının aynı olduğu bir durumda, basınç dayanımı deneyi sonunda elde edilen değerler birbirinden farklı olabilmektedir. Deney sonunda elde edilen beton basınç dayanımı değerini etkileyen önemli faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir:

- Silindir numunelerinin sahip olduğu farklı boy/çap oranı,
- Beton numunesinin silindir veya küp şekilli olması,

- Aynı boy/genişlik oranlarına fakat farklı boyutlara sahip numunelerin kullanılması,
- Deney esnasında uygulanan kırılma yükünün hızı,
- Numune kalıplarına yerleştirilen betondaki en büyük agrega tane boyutu,
- Deney anında numunenin sahip olduğu nemlilik durumu,
- Deney anında numunenin sahip olduğu sıcaklık (Erdoğan, 2007).

2.2.1.2. Yapıdaki betonun yerinde basınç dayanımı tayini (karot)

Yapıdaki betonun basınç dayanımının bulunabilmesi için oldukça yaygın olarak uygulanan bir yöntemdir. Sertleşmiş betondan kesilerek çıkartılan silindir şekilli numunelere karot denilmektedir.

Karot numuneler, karot alma aleti denilen bir aletle kesilip çıkartılmaktadır. Karot alma aletinde, kendi eksenini etrafında dönebilen içerisi boş bir silindir şeklindeki (boru şeklindeki) çelik bir kesici bulunmaktadır. Silindirik kesicinin ucu elmaştan yapılmıştır. Karot alma aletinin çalıştırılmasıyla yüksek hızla dönmeye başlayan silindirik kesicinin ucu, numune çıkartılmak istenen beton blok yüzeyine dik olarak temas ettirilmekte ve kesici döndükçe, betonun delinerek kesilmesi sağlanmaktadır. İçi boş silindir şeklindeki kesici kesilmenin yapıldığı beton blok içerisinde ilerledikçe, kesilen beton parçası da silindirik bıçağın içerisinde kalmaktadır. Delme işlemi sonunda, karot alma aletinin kesicisi, içerisinde bulunan silindir şekilli beton parçası ile birlikte dışarıya çıkartılmaktadır. Şayet delinme işlemi uygulanan beton bloğun derinliği çok fazla ise, belirli bir derinliğe kadar delinme uygulandıktan sonra, çelik kesici hafifçe sağa sola oynatılarak, kesicinin içerisinde yer almakta olan beton parçasının ana bloktan kopması sağlanmaktadır (Erdoğan, 2007). Şekil 2.8’ de karot alma aleti ve değişik çaplardaki karot uçları görülmektedir.



Şekil 2.8. Karot alma aleti ve değişik çaplarda uçlar (724Magaza, 2012; Center, 2012)

Karot alma aleti, sadece betonu değil, betonarme betonunun içerisinde yer alan demir donatıyı da kesebilecek güçtedir. O nedenle, bazan, kesilerek çıkartılan betonun içerisinde küçük bir demir parçası da bulunabilmektedir. Ancak, karot alırken, beton bloktaki demirin kesilmemesine ve karotun içerisinde demir parçasının bulunmamasına, mümkün olabildiği kadar özen göstermek gerekmektedir. Karot alma işlemi, yeterince sertleşmiş durumdaki betonlara uygulanmaktadır. Aksi takdirde, beton numunenin kesilerek çıkartılması işlemi esnasında, betondaki agrega ile çimento hamuru arasındaki aderans zarar görmektedir. O nedenle, karot alınacak beton en az 14 günlük bir beton olmalıdır. Yapıdaki betonun çatlamış bir bölümünden karot alınmamalıdır. Alınan karotta anormal sayılabilecek özürlü bölümler mevcut ise veya çıkartılma işlemi esnasında karot çatlamış ise, bu tür karotlar üzerinde basınç deneyi yapılmamalıdır (Erdoğan, 20007).

Karot alma işlemi çok pahalı olmasının yanı sıra, karot alınırken taşıyıcı elemanlarda oluşan boşlukların elemanın taşıma kapasitesini azaltması nedeniyle özenle gerçekleştirilmesi gereken bir mühendislik işlemidir. Karot alma işleminde esas olarak karşılanması gereken üç önemli istek yer almaktadır:

- Karotlar amaca en uygun yerlerden alınmalı,

- Deneysel hataları elverdiği ölçüde en az düzeye indirebilecek örnek (karot) sayısı alınmalı
- Verilen proje koşulları çerçevesinde olabildiğince ekonomik olmalı.

Başka deyişle toplam maliyet (karot alma + deney masrafları + değerlendirme masrafı) en az olmalıdır (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005).

Böylece yukarıda sıralanan bu istekler bir optimizasyon işlemini gerekli kılar. Karotlar, farklı zamanlarda şantiyede üretilen betonların yerinde kalite kontrolüne yönelik olarak alınıyorsa, o dönemde yerleştirilen ortalama betonu temsil edebilecek yerlerden alınmalıdır. Eğer bir taşıyıcı elemanın taşıma gücünün yerinde beton dayanımı ve kesit geometrik boyutları ile tahkiki isteniyorsa taşıyıcı elemanın gerilme yönünden en kritik bölgesinden karot alınmalıdır. Bu işlemde alınan karot sayısı ve çapı elemanın uzun vadede genel stabilitesini etkilememesi gereklidir. Karot dayanımlarındaki değişkenlik katsayısını en az düzeye indirmek için yeterli sayıda karot almanın yanı sıra karotun narinliği olarak tanımlanan (yükseklik/çap) boyutları da uygun seçilmelidir. Bazı durumlarda örneğin döşeme kalınlığının yetersiz olduğu, ya da çok narin bir kolonda büyük boyutlu karotların alınması delik delme veya açısından uygun olmayabilir. Böyle durumlarda küçük çaplı karot seçilmeli ve küçük çap kullanımından kaynaklanacak yüksek değişkenlik kat sayısının en aza indirilmesi bakımından da çok sayıda karot kullanılmalıdır (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005).

Yapının neresinden karot alınacağı, karot alınma amacı, taşıyıcı elemanlardaki olası gerilme dağılımları ile beton yerleştirilmesinde eleman boyutundan kaynaklanan dayanım farklılığını hatırd tutarak belirlenmelidir (Arıoğlu ve Arıoğlu, 2005). . Karot alınırken elemanın en çok zorlanan bölgesinden karot alınmamalıdır. Beton dayanımının eleman yüksekliği boyunca değiştiği ve alt yüze yakın beton dayanımının üste yakın olanından daha büyük olduğu ve aradaki farkın %20'ye vardığı belirtilmektedir. Ayrıca karot alınan yön ile beton dökümü aynı doğrultuda olmamalıdır; çünkü beton döküm doğrultusunda basınç dayanımı yaklaşık olarak %10 oranında daha yüksek olduğu iddia edilmektedir (Ergün ve Kürklü, 2005).

TS EN 13791 (TSE, 2010) standardına göre karot alınması TS EN 12504-1'e (TSE, 2011) göre yapılmalıdır. Öncelikle karot alım yerlerinin uygun belirlenmesi gerekmektedir. TS EN 13791'de (TSE, 2010) belirtildiği gibi uygun sayıda numune alınması gerekmektedir. Bu sayıya uygun olarak deney bölgeleri belirlenmelidir. Numune alımında kolonların orta kesimleri tercih edilmeli ve donatının yerleri belirlenerek donatıların kesilmemesi sağlanmalıdır. Tabliyelerden mümkün olduğunca karot alınmamalıdır. Zira statik açıdan daha az önemde olup yerleştirme ve kür problemleri daha fazla yaşanmaktadır. Karot aleti kolona dik olarak sabitlenmeli ve karot alımı sırasında karotun diklikten sapmaması sağlanmalıdır. Karot yan yüzeyinin, çizilen doğrultu çizgisinden sapma toleransı, ortalama karot çapının %3'ü olmalıdır. Karot çapı olarak 100 mm ve üzeri tercih edilmelidir. Karotlar alındıktan sonra kurutularak laboratuvar ortamında saklanmalıdır. Başlıklama yapılmalı ve numune boyutları ölçülmelidir. Başlıklama ve kesme işlemleri sırasında ıslanan numune tekrar laboratuvar şartlarında kurutulmalıdır. Silindir eşdeğer dayanımı için L/D (boy/çap oranı)=2, küp eşdeğer dayanımı için L/D (boy/çap oranı)= 1 tercih edilmelidir. Kükürt, çimento veya aşındırma uygulanmış başlıklar kullanılabilir. En doğru dayanım düzgün bir aşındırma ile sağlanacaktır. Bu şekilde hazırlanan üç yüzeylerinin yan yüze göre diklikten sapma toleransı TS EN12390-1'e (TSE, 2002) uygun olmalıdır. Basınç dayanımı deneyi için karot numunenin uç yüzeyleri, TS EN 12390-3'e (TSE, 2010) uygun şekilde hazırlanmalıdır (Akakın, 2011).

Karot Dayanımını Etkileyen Değişkenler

Akkın (2011)'a göre karot dayanımı etkiyen faktörleri aşağıdaki gibi sıralayabiliriz.

Karot basınç dayanımı deneyi: Deney, TS EN 12390-4'e (TSE, 2002) uygun basınç deney makinesi kullanılarak, TS EN 12390-3'e (TSE,2010) uygun şekilde yapılmalıdır. Basınç aleti uygun olmalı ve uygun yükleme hızı seçilmelidir.

Numune toleranslarının tam olarak sağlanamaması: TS EN 12390 -1'e (TSE, 2002) uygun numune üretilmemesi ve başlıklanmaması.

Uç yüzeylerinin başlıklanması: Düşük dayanımlı başlıklar, karot dayanımını düşürür. Yüksek dayanımlı harç ve yüksek dayanımlı kükürt kullanılarak yapılan ince başlık, dayanımı önemli derecede etkilemez. Uç yüzeylerinin aşındırılarak düzeltilmesi en iyi sonucu verir.

Betonun Yaşı ve Bakımı: Betonun sertleşme sürecindeki bakımı ve karot alındığı andaki beton yaşı betonun basınç dayanımını etkilemektedir.

Rutubet içeriği: Beton numuneleri kesim ve başlıklamadan dolayı ıslak ise laboratuvar ortamında kurutulmalıdır. Homojen olarak numunenin kuru olması sağlanmalıdır. Bu nedenle herhangi bir nedenle ıslanmasından sonra en az 7 gün boyunca kuruması sağlanmalıdır. Karotun rutubet içeriği, ölçülen dayanımı etkiler. Suyu doymuş karotun dayanımı, diğer özellikleri aynı olan hava kurusu, rutubeti normal şartlarda %8 - %12 olan karot dayanımından %10 - %15 daha düşük çıkmaktadır. Bu nedenle karotların kırılmasından önce laboratuvar şartlarında bekletilmesi bu arada başlığının tamamlanması faydalı olacaktır. Ayrıca numunenin iç ve dışının nem farkı içsel gerilmelere neden olmakta ve dayanımı düşürmektedir.

Boşluk: Boşluk oranının artması, dayanımı düşürür. Yaklaşık %1 boşluk, dayanımı %5 - %8 oranında, düşürmektedir. Yüzeyde yetersiz vibrasyondan kaynaklı boşluklar görünüyorsa ve düşük dayanımlı çıktıysa karot ihmal edilebilir.

Karot alınma yönü ve yeri: Karot alımında kolonların orta kısmı tercih edilmesi gerekmektedir. Karot alımında kiriş gibi eğilmeye çalışan elemanlar tercih edilmemelidir. Kiriş tercih edilecekse sarkan kirişlerden momentin en yüksek olduğu orta kısımlardan değil kolonun açıklığının 1/4 kısmı kadar uzağından alınmalıdır. Ayrıca dökülen betonların üst kısımlarında daha düşük olmaktadır. Karot beton yüzeyine dik olarak alınır. Betonun döküm doğrultusunda, düşey olarak alınan karot dayanımı, taze beton stabilitesine bağlı olarak, aynı betondan yatay yönde alınan

karot dayanımından daha yüksek olabilir. Dayanım farkı tipik olarak %0 - %8 arasında olmaktadır. Yapılan çalışmalarda dik alınan karotların yatay alınan karotlardan daha fazla dayanıma sahip oldukları görülmüştür. Bunun nedenleri arasında yatayda karot alırken tam düz bir doğrultu sağlanamaması ve agregaların altında biriken terleme sularının dikeyde karot alındığında basınç altında kalarak fazla etkilenmediği fakat yatayda alınan numunelerde bu terleme sularının yarıma çatlaklarının daha kolay oluşmasına neden olduğu için dayanımı düşürdüğü düşünülmektedir. Bu oran %8'e kadar çıkmaktadır. Ama yüksek dayanımlı betonlarda bu fark oluşmamaktadır. Bunun nedeni terleme suyunun yüksek dayanımlı betonlarda terleme suyunun azlığı olabilir.

Kusurlar: Her karot göz ile muayene edilmelidir. Karottaki çatlaklar, değişik sebeplerden kaynaklanır. Bu sebepler arasında, yassı, iğne şekilli tanelerin veya yatay donatı çubuklarının altında toplanan su ve yöresel ayrışma sebebiyle boşlukların oluşumu sayılabilir. Bu tür karotlardan elde edilen dayanımların geçerliliği ve bu dayanımların genel olarak yapıdaki beton dayanımını temsil etme yeterliliği ayrı ayrı değerlendirilmelidir. Betonda yassı agregalar var ise ve kırılma yerinde agregaların çimento pastası ile temas etmediği bölümler var ise bunlar not edilmeli ve karot gerekirse değerlendirmeye alınmamalıdır. Karotun, içerisinde donatı bulunacak şekilde alınmasından mümkün olduğu kadar kaçınılmalıdır. Basınç dayanımı tayini için kullanılacak karot numunelerde, boyuna eksen doğrultusunda veya bu eksene çok yakın doğrultuda donatı bulunmaması sağlanmalıdır.

Karot çapı: Ölçülen dayanımdaki değişkenlik, karot çapının, en büyük agrega tane büyüklüğüne oranındaki azalmaya bağlı olarak yükselir. TS EN 12504'e (TSE, 2011)göre karot çapı agrega tane büyüklüğünün en az 3 katı olmalıdır. Bu durumda 22 mm, agrega için en düşük karot çapı 66 mm'dir. Agregada en büyük tane büyüklüğü 20 mm olan betonda; Çapı 100 mm olan karot numuneden elde edilen basınç dayanımı, çapı 50 mm olan karot numuneden elde edilen basınç dayanımından yaklaşık olarak %7 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Çapı 50 mm olan karot numuneden elde edilen basınç dayanımı, çapı 25 mm olan karot numuneden elde edilen basınç dayanımından yaklaşık olarak %20 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Bir karot, beton yapısı bakımından, standart silindire göre daha zayıf olabilir. Bunun sebebi, karot yüzeyinde, sadece matriks tarafından oluşturulan adezyonla tutulan, kesilmiş agrega tanelerinin bulunmasıdır. Bu tür agrega tanelerinin karot dayanımındaki katkısı oldukça az olacaktır.

Donatı: Dayanım tayininde kullanılan karotların donatı çubuğu ihtiva etmemesi önerilir. Donatının bulunması basınç dayanımını etkilemektedir. Bu nedenle mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Çünkü yapının bütünlüğü bozulmakta ve donatının sürekliliği sağlanamamaktadır.

Numune derinliği: Normal dayanımlı, normal kesitteki bir elemandan alınan numunede beton elemanın ortasından dayanım daha yüksek çıkmakta, eğer derin bir elemandan alınmışsa beton dökümü sonrası içte oluşan yüksek sıcaklıktan dolayı beton dayanımı düşebilmektedir.

Bunun yanında yapıdan alınan karot numunesi ile betona ait yoğunluk, su emme, alkali agrega reaktivitesi, çekme dayanımı ve benzeri bilgilerde elde edilebilir. (Ergün ve Kürklü, 2005).

2.2.2. Tahribatsız test yöntemleri

Tahribatsız deney yöntemleri, adından da anlaşılacağı gibi, deney uygulama esnasında ve sonrasında yapıda herhangi bir hasara neden olmayan ve yapısal davranışı etkilemeyen yöntemlerdir. Tahribatsız testler yeni ve eski yapılar üzerinde yapılabilir. Yeni yapılarda test yapılmasının amacı genellikle yapı kalitesinin kontrolü veya malzeme kalitesi ya da inşaat kalitesinde şüphe olması durumunda yapılmaktadır. Mevcut yapılarda ise genellikle yapısal bütünlüğü veya yeterliliği konusunda bir değerlendirme yapabilmek için yapılır (Arıöz, 2004; Anonymous. 2002).

Tahribatsız test yöntemlerinin tahribatlı yöntemlere göre avantajları,

- Test için gerekli olan ve test öncesi yapılan işlerde işgücü tüketiminde tasarruf sağlaması,
- Yapıya daha az zarar vermesi,
- Karot numunelerinin alınamayacağı kadar ince veya karot numunelerinin alınamayacağı kadar sık donatıya sahip kesitlerde betonun test edilebilmesini sağlaması
- Test teçhizatının daha ekonomik olması,
- Değişik şekillerdeki ve boyutlardaki betonlar üzerinde uygulanabilmesi,
- Yapıdaki betonun basınç dayanımını bulabilmek için, betondan karot almaya ve kırmaya gerek olmaması,
- Betonun basınç dayanımını bulabilmek için uygulanan diğer yöntemlerden çok daha basit ve çabuk olması,
- Betonun kırılma işlemi yer almadığı için, aynı beton üzerinde değişik zamanlarda tekrar tekrar ölçüm yapabilmesi; Böylece, yapıdaki yerine yerleştirilmiş olan betonun dayanım kazanma hızı kolayca takip edilebilmekte, kalıp sökme veya yapının hizmete sokulma zamanının kolayca belirlenebilmesi,
- Yapıdaki betonun değişik bölümlerinin aynı nitelikte olup olmadığı, veya çok sayıdaki aynı elemanın (prekast elemanlar gibi) aynı özelliklere sahip olup olmadıklarının kolayca kontrol edilebilmesi,
- Normal koşullar altındaki beton kalitesi ile anormal koşullara maruz kalmış betonun kalitesinin karşılaştırılabilmesi; Böylece, yangın veya don gibi etkenler altında, beton kalitesinin ne ölçüde değişmiş olacağı kolayca kontrol edilebilmesi,

şeklinde sıralanabilir (Arıöz, 2004; Erdoğan, 2007).

Tahribatsız deney yöntemleri, köprü, otoyollar, limanlar ve havaalanları gibi önemli yapıların yaşlanması ve çevresel etkiler nedeniyle zarar görmesinden dolayı, son yıllarda daha çok önem kazanmıştır. Bu yapıların onarımı için ayrılan bütçenin de kısıtlı olması nedeniyle, mevcut yapıların içinde bulunduğu durumun en ekonomik, en hızlı ve en iyi şekilde betimlenmesi gerekmektedir. Bu da araştırmacıları geliştirilmiş tahribatsız tekniklerin incelemeye yönlendirmiştir (Arıöz, 2004).

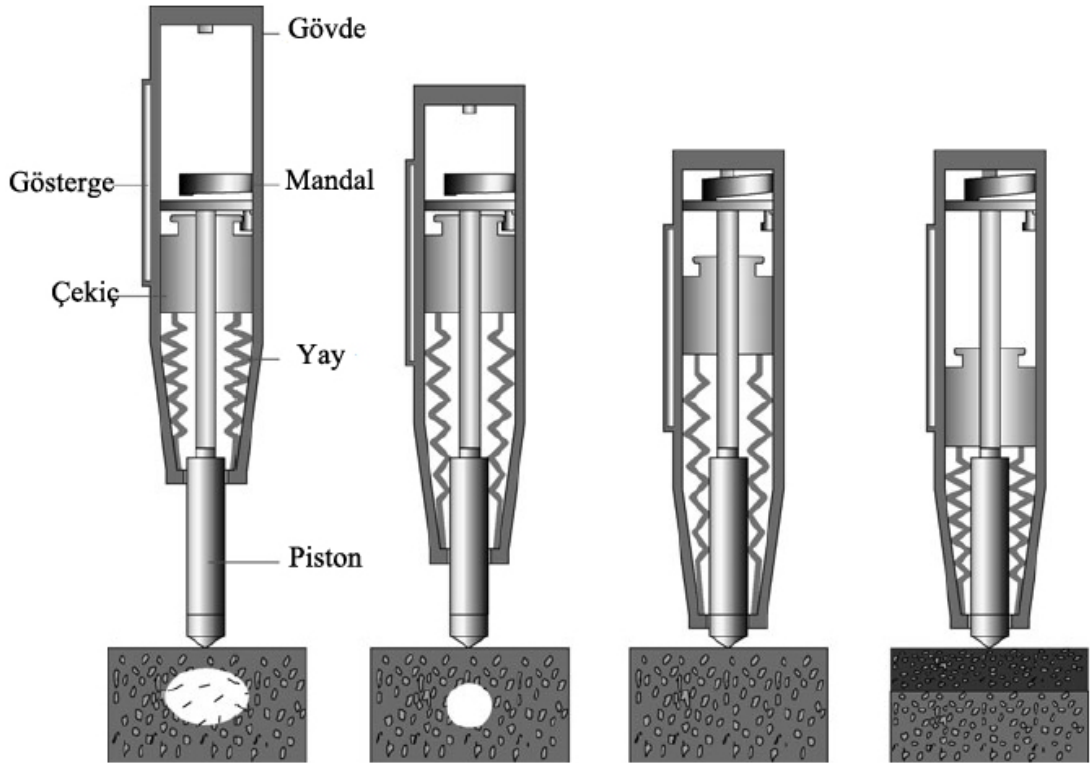
Beton yapıların değerlendirilmesi için kullanılan birçok tahribatsız test yöntemleri kullanılmaktadır. Bu yöntemler; Yüzey sertliği test yöntemi (Schmidt çekici), penetrasyon direnci, Windsor Probe test yöntemi, pull-out test yöntemi, break-off test yöntemi, pull-off test yöntemi, rezonans frekans test yöntemi, ultrases hızı yöntemi, olgunluk, bileşik yöntem, manyetik, elektriksel, donatı korozyonu değerlendirme, radyoaktif, nükleer, radar, gerilme dalga yayılımı, kızılötesi termografik ve akustik emisyon teknikleri şeklinde sıralayabiliriz. Bu tekniklerin hepsi, bazı kısıtlamalarla birlikte, beton üzerinde uygulanabilmektedir (Malhotra and Carino 2004; Arıöz, 2004).

2.2.2.1. Yüzey sertliği yöntemi (Schmidt beton test çekici)

Beton test çekici (Schmidt geri tepme çekici) ile yapılan yüzey sertliği deneyi uzun yıllardır günümüze kadar kullanılan bir yöntemdir. Yüzey sertliği deney yöntemleri beton niteliğini yaklaşık olarak belirtir ve ön dökümlü veya yerinde dökülmüş betonlardaki nitelik denetim işlemleri için ön bilgiler verir. Betondan kesilen bir numune üzerinde yapılan basınç dayanımı deneyi gibi ek bir bilgi olmadan, yalnız yüzey sertliği deney sonucunun vereceği bilgi, dökümünden en az 14 gün, en fazla 90 gün geçmiş betonlar için geçerlidir. Bu deneyler, beton yüzeyinin yaklaşık olarak 30 mm derinliğinin rölatif sertliği hakkında bilgi verir. Betonun dayanımı ve diğer nitelikleri ile ilgili sertlik indeksi değerleri, aletlerin tipine ve yapan firmaya göre değişmektedir (Şimşek, 2010; Topçu, 2008) .

Schmidt geri tepme çekicinin temel bileşenleri; dış kısım, çekiç kütlesi, ana yay ve pistondan oluşmaktadır. Diğer parçalar, çekiç kütlesini pistona kilitleyen bir kilit mekanizması ve çekiç kütlesinin geri tepmesini ölçen bir mekanizmadan oluşmaktadır. Deney, yatay, dikey, yukarıya ve aşağıya doğru yapılabilir. Geri tepmedeki değişik yerçekimi etkilerinden dolayı, geri tepme değeri değişiklik gösterecektir Bu durumu düzeltmek için kalibrasyon veya düzeltme abakları kullanılmalıdır (Şimşek, 2010). Şekil 2.9'da Schmidt geri tepme çekicinin çalışma

prensibi görülmektedir. Deney TS EN 12504-2’de (TSE, 2004) veya DIN 1048-1’de (DIN,1991) belirtildiği gibi yapılabilmektedir.



Şekil 2.9. Schmidt geri tepme çekicinin çalışma prensibi (Mehta and Monteiro, 2006).

Birçok araştırmacıya göre, betonun tek eksenli dayanımı ve çekiç geri tepme sayısı arasında genel bir korelasyon vardır. Birçok araştırmacı geri tepme okuması kullanılarak yapılan mukavemet belirlenmesinin hassasiyetine inanmamaktadır. Çeşitli numunelerden tahmin edilen tek eksenli mukavemet farklılığı yaklaşık olarak %20'dir. Fakat bazı numunelerde bu oran %30'u geçmektedir. Mukavemetteki ciddi sapmalar daha önce bahsedilen değişkenler göz önüne alınarak yapılan uygun bir korelasyon eğrisi geliştirilerek azaltılabilir (Şimşek, 2010).

Test sonuçlarını etkileyen faktörler; çimento çeşidi, çimento oranı, agrega çeşidi, numunenin yüzey çeşitliliği, yüzey nemlilik durumu, karbonatlaşma etkisi, beton yaşı, başlangıçtaki sertleşme hızı, kür koşulları, sıkıştırma ve diğer etmenler olarak sıralayabiliriz (Şimşek, 2010).

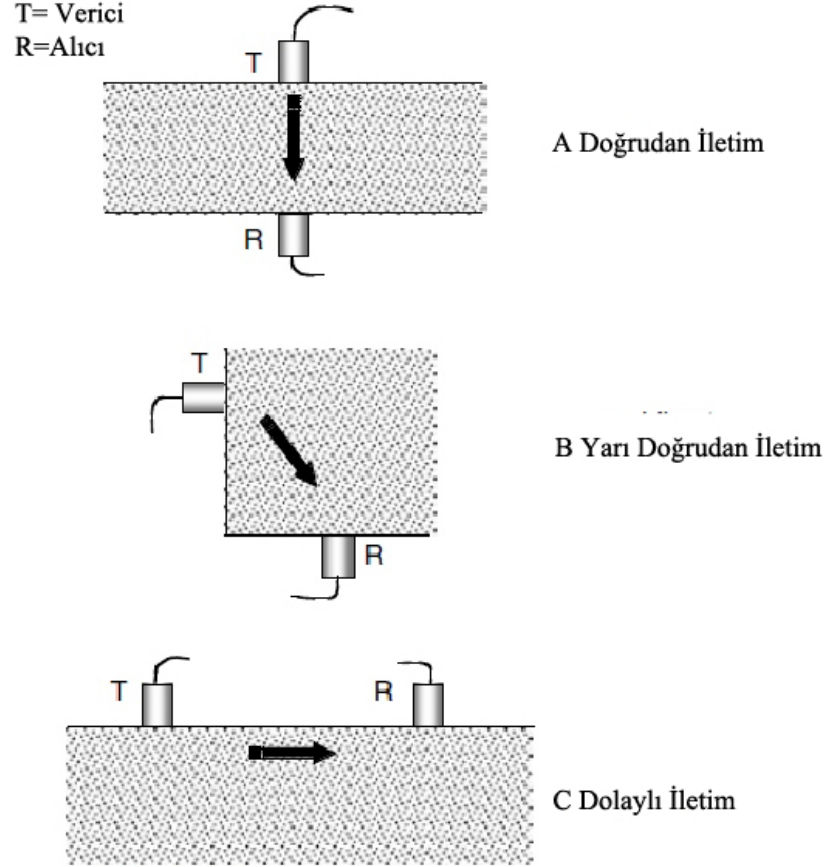
2.2.2.2. Ultrases geçiş hızı yöntemi

Ultrases geçiş hızı metodu, beton içerisinde geçen ultrasonik dalganın, geçme hızını ölçmekten ibarettir. Hızın hareket zamanı, elektronik olarak ölçülür. Algılayıcılar arasındaki uzaklık hareket zamanına bölündüğünde dalga ilerlemesinin ortalama hızı elde edilir. Ölçülen bu hız, betonun birçok özelliğinin belirlenmesinde kullanılır. Bu teknik, yerinde ve laboratuvar numunelerinde rahatlıkla kullanılabilir. Elde edilen sonuçlar betonun şeklinden ve büyüklüğünden etkilenmemektedir. Ultrases geçiş hızı tekniğı, betonun mukavemetinin, homojenliğinin, elastisite modülünün, döküm özelliklerinin ve çatlakların varlığının belirlenmesinde kullanılabilir. Eğer çatlaklar, tamamıyla su ile dolu ise çatlakların yerinin belirlenmesi oldukça zorlaşmaktadır. Ultrasonik hız ve mukavemet arasındaki ilişkiler birçok değışkenden etkilenir. Betonun yaşı, su muhtevası, agrega/çimento oranı, agrega tipi ve donatı yeri, bu değışkenlerden sayılabilir. Bu sebepten dolayı ultrasonik hız metodu, sadece betonun kalite kontrolünde kullanılmalıdır. Genel olarak hız datasının mukavemet parametreleriyle korelasyonu başarılı olmamaktadır (Erdal, 2002). Deneyin Standart prosedürü ASTM C 597'de (ASTM, 1998) ve TS EN 12504-4'de (TSE, 2004) verilmektedir. Şekil 2.10'da Ultrases test cihazı görülmektedir.



Şekil 2.10. Ultrases test cihazı (Alibaba, 2012)

Ultrasonik hız yönteminde cihazın verici ve alıcı uçları, beton yüzeyinde değişik konumlarda yer alabilmektedir. Şekil 2.11’de ultrasonik hız yönteminin uygulaması esnasında verici ve alıcının bulunabileceği konumlar gösterilmektedir (Arıöz, 2004).

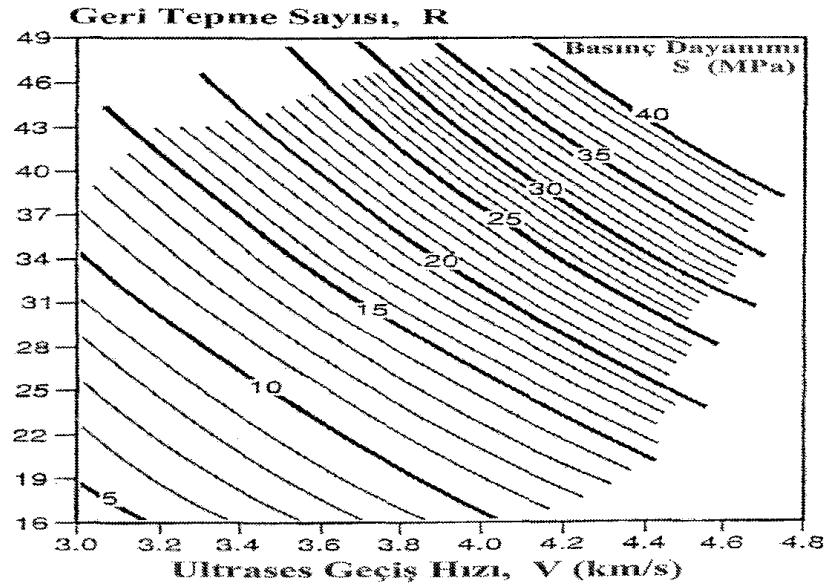


Şekil 2.11. Ultrasonik hız ölçümlerinde alıcı ve vericinin konumu (Malhotra and Carino 2004)

2.2.2.3. Birleşik yöntem

Bileşik yıkıntısız deneyler yıkıntısız bir yöntemin yalnız başına kullanılmasına kıyasla çoğu zaman daha hassas sonuçlar verir. Bunun için temel koşul kombinasyona giren her bir tekil yöntemin dayanımı farklı bir parametreden yola çıkarak hesaplamasıdır. Uygun kombinasyonu seçerken bazı kriterleri göz önünde tutmalıdır. Bileşik yöntemle bulunan dayanım, tekil yöntemlerden bulunan dayanımların aritmetik ortalamasına eşit değildir (Yüksel, 2003).

RILEM tarafından ultrason hızı ve geri tepme (rebound) sayısı ölçümlerine dayalı bir birleşik veya katlı (multiple) yöntem geliştirilmiştir. Bu iki yöntem birlikte uygulandıklarında biri diğerinin bazı hatalarını azaltıcı veya eksiklerini tamamlayıcı olduğundan sadece birisinin uygulanmasına göre daha az tahmin hatası olacağı söylenebilir, örnek olarak, deney anındaki su içeriği geri tepme sayısını azaltırken ultrason hızını arttırmaktadır. Belirli bir yapıdaki çimento türü, dozajı, agrega türü, betonun su içeriği gibi değişkenler biliniyorsa etki çarpanları ve toplam etki çarpanı hesaplanır. Standart betona ait bağıntı kullanılarak elde edilen dayanımlar bu çarpan uygulanarak düzeltilir, düzeltilmiş tahmini dayanım bulunur. Yapıdaki betonun bileşimi ve bileşenleri bilinmiyorsa yapıdan alınacak yeter sayıda karot numuneleri üzerinde ses hızları, Schmidt sayıları ve gerçek basınç dayanımlarından itibaren deneysel toplam etki çarpanı belirlenir. Standart betona ait bağıntı veya abaktan bulunan dayanım bu çarpanla düzeltilerek dayanımlar $\pm\%10$ hata ile tahmin edilebilmektedir (Güner vd., 1989). Geri tepme sayısı ultrases geçiş hızı ilişkisi Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Geri tepme sayısı ultrases geçiş hızı ilişkisi (Şimşek, 2010)

2.2.2.4. Windsor probe test yöntemi

Windsor probe penetrasyon test metodu; beton basınç dayanımı, özenle idare edilen patlayıcı yüklü çelik bir sondanın, betonun yüzeyinden içeri girmesi ve betona girme derinliğinin ölçülmesiyle belirlenmektedir. Sonda yüzeyden içeri ne kadar az girerse, beton o kadar iyi demektir. Windsor Probe Test System Inc. tarafından, Windsor probe penetrasyon testinin karot testine göre daha üstün olduğu ve betonun basınç dayanımının belirlenmesinde alternatif bir metot olarak tercih edilmesi gerektiğini ifade edilmiştir. Windsor probe test cihazının üreticileri, bu yöntemin betonun basınç dayanımını en fazla % 5 hata ile belirlediğini söylemektedirler (Erdal vd., 2003). Şekil 2.13’de Windsor probe test cihazı kiti görülmektedir.

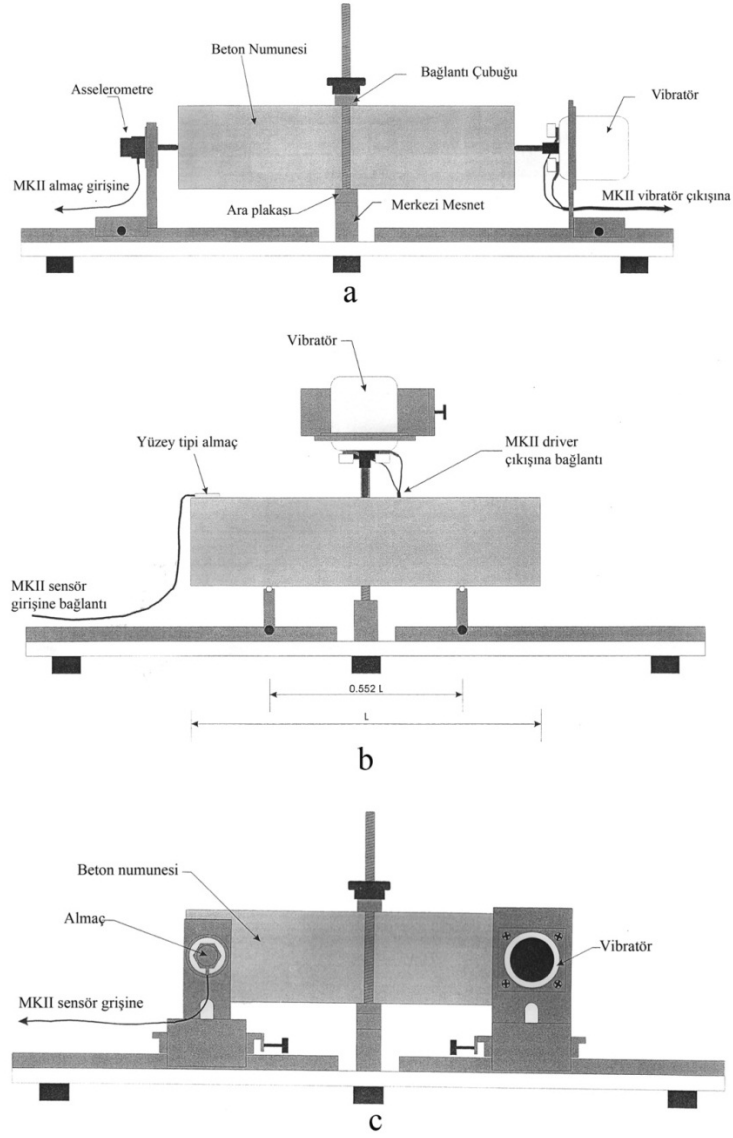


Şekil 2.13. Windsor probe test cihazı kiti (Qualitest, 2012)

2.2.2.5. Rezonans Frekansı

Betonun Young’s elastite modülü ve dinamik rijitlik modülü tayininde kullanılan yöntemdir. Numunenin yerleştirilmesine göre ölçüm düzeneği değişmekte olup; boyuna rezonans frekansı, enine (eğilmede- çekme) rezonans frekansı ve burulma

rezonans frekansı olmak üzere 3 farklı tipte ölçüm işlemi yapılabilmektedir. Şekil 2.14’de rezonans frekansı ölçümü için deney düzenekleri verilmiştir (Anonymous, 1995).



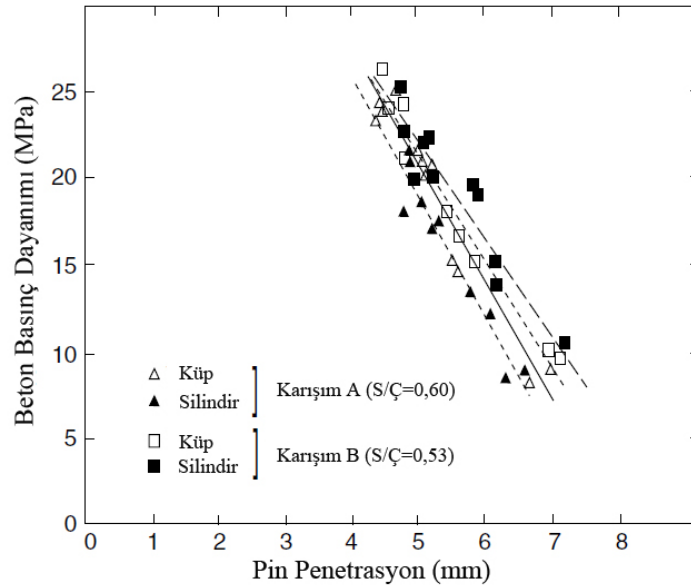
Şekil 2.14. Rezonans frekansı için deney düzeneği a) Boyuna b) Enine c) Burulma (Anonymous, 1995)

2.2.2.6. Pin penetrasyon test yöntemi

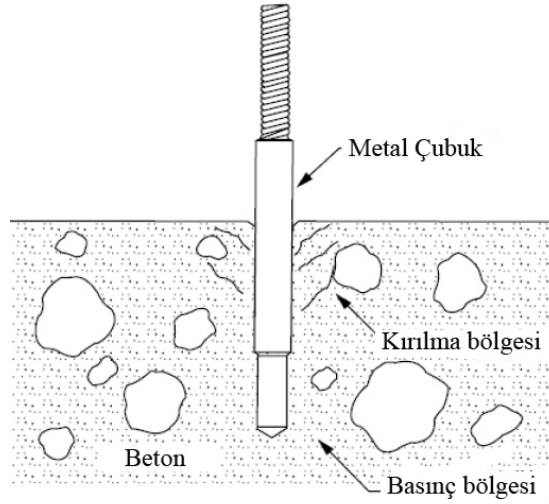
Bu yöntem metal bir çubuğun betonu delmesi ile girdiği derinliğin ölçülmesi işlemine dayanır. Metal çubuğun içeri girdiği miktar ile beton basınç dayanımı ilişkilendirilir. Temel prensip olarak metal çubuğun betona girmesi agreganın

sertliğine bağlı olmakla beraber beton basınç dayanımı ile ters orantılıdır (Arıöz, 2004; Neville, 1991).

Pin Penetrasyon direnci testi, beton üzerinde metal çubuk tarafından yapılan zararın sadece yerel ve sondanın çevresinde olması ayrıca yeniden test yapılabilmesinden dolayı tahribatsız bir test yöntem olarak düşünülebilir. Bu yöntem için farklı araştırmacılar farklı ilişkiler bulmuşlardır. Bu nedenle, dayanım ve batma derinliği arasındaki ilişki her bir beton karışımı için deney yapılarak kurulmalıdır. Yine de batma direnci testi kalıp sökümü zamanına karar vermek maksatlı olarak kullanılabilir. Beton çekici testinden daha avantajlıdır çünkü beton çekici ile olduğundan daha büyük bir beton derinliği test edilmektedir (Arıöz, 2004; Neville, 1991). Pin penetrasyon ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki ve uygulanması şematik olarak aşağıda gösterilmiştir (Şekil 2.15, Şekil 2.16).



Şekil 2.15. Pin penetrasyon ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki (Malhotra and Carino, 2004)



Şekil 2.16. Pin penetrasyon test yönteminin uygulanmasının şematik gösterimi (Malhotra and Carino, 2004)

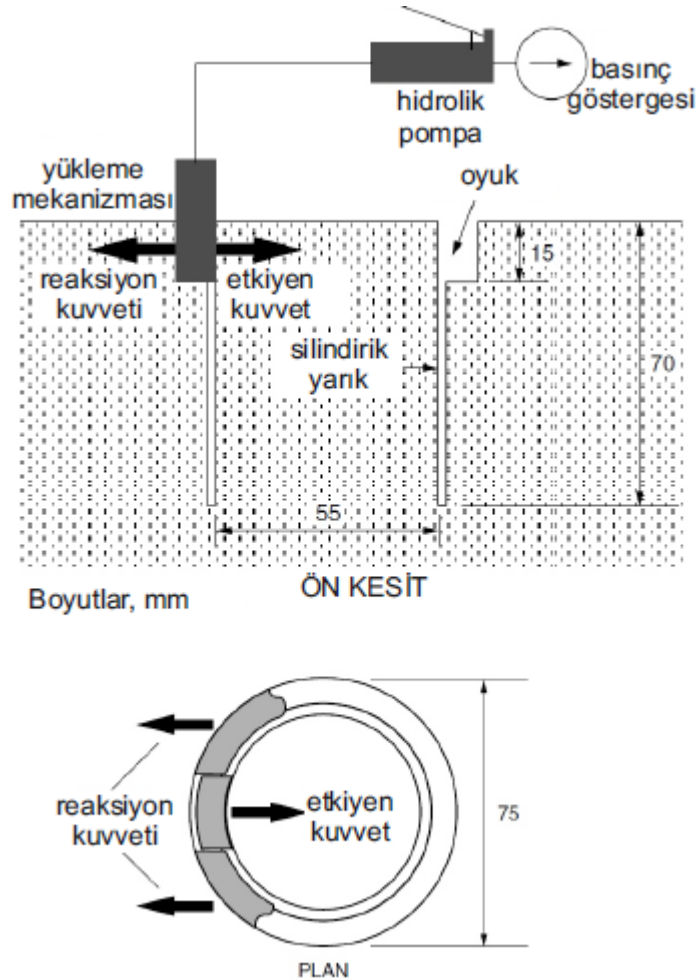
2.2.2.7. Pull- out test yöntemi

Beton içerisinde bırakılan özel olarak şekillendirilmiş metal bir parça çekme kuvveti uygulayan özel bir mekanizma vasıtasıyla çekilerek beton içerisinden çıkarılması esasına dayanır. Çekme kuvveti, bir dinamometre ve reaksiyon taşıma halkası yardımıyla belirlenebilir. Metal parça beton içerisinden çıkarken koni şeklinde bir beton tabakası ile birlikte çıkmaktadır. Çıkan beton tabakasının koni şeklinde olmasının sebebi metal parçanın geometrik yapısı ile beton yüzeyinde bulunan dayanak halkasıdır. Beton aynı anda hem gerilme, hem de kesme altındadır. Çekme işleminden sonra çekme kuvveti basınç dayanımıyla ilişkilendirilir (Şimşek, 2010; Arıöz, 2004).

Pull-out testleri beton çekici testine ve pin penetrasyon testlerine göre daha üstündür. Çünkü bu testlerde daha derin ve daha büyük hacimde bir beton kütlesi test edilmektedir. Pull-out test metodunun ana avantajı ise, betonun yerinde dayanımını direkt olarak belirlemesidir. Metot, basittir ve sahada uygulanması birkaç dakika sürer. Önemli bir dezavantajı ise, test sonrasında bir miktar onarım gerekmektedir. Ancak, eğer test betonun istenilen dayanım değerine ulaşmış kontrol etmek maksatlı yapılıyorsa, gerekli olan yük metal parçayı çekip çıkarana kadar uygulanmayabilir. Pull-out test metodu, dayanımı basitçe tek eksenli dayanım

ayrılması sağlanır. Test sonucu ölçülen değer, maksimum basınç değeridir. Plastik gömleğin kullanılmadığı sertleşmiş betonlarda özel şekillendirilmiş ve benzer numuneyi çıkaran sondaj aleti kullanılır (Şimşek, 2010).

Break-off testinin en önemli avantajı betonun yerinde dayanımını ölçmesidir. Donanım güvenli, basit ve testin uygulanması hızlıdır. Beton sertleştikten sonra da test numuneleri alınabildiğinden önceden planlanmış olması gerekmez. Kabul edilebilir hassasiyette sonuçlar verir. Betonun basınç dayanımıyla iyi bir şekilde ilişkilendirilebilir. Ayrıca Break-off testi ile yapı elemanında oluşan küçük çaplı hasarın onarılması gerekir (Şimşek, 2010). Şekil 2.19’ da Break-off testinin uygulanmasının şematik şekli ve Şekil 2.20’ de Break-off test cihazı gösterilmiştir.



Şekil 2.19. Break –off testinin uygulanmasının şematik şekli (Turgut, 2011)



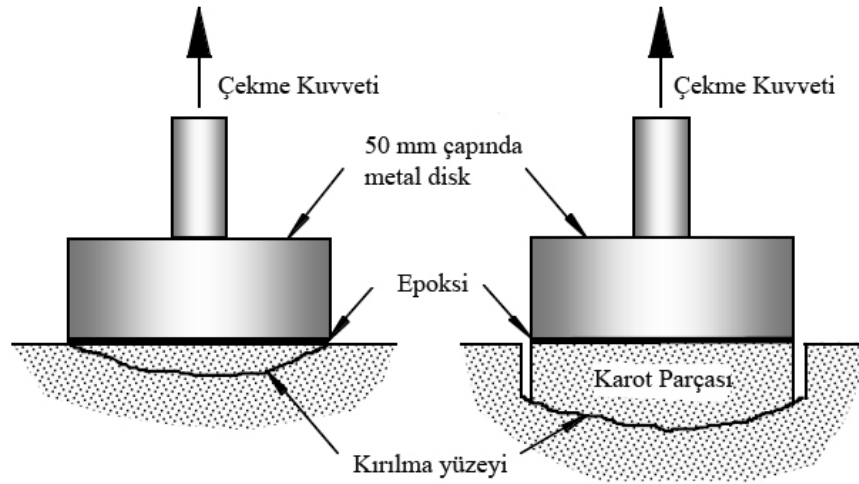
Şekil 2.20. Break-off test cihazı (Ntu, 2012)

2.2.2.9. Pull-off test yöntemi

Beton yüzeyine yapıştırılan bir metal diski çekip bir miktar beton ile birlikte koparmak için gerekli olan direkt çekme kuvveti ölçülür. Bu yöntem, çekme dayanımının değerinin önemli olduğu durumlar için kısmen uygundur. Ancak yine de ampirik olarak basınç dayanımı ile ilişkilendirilebilir. Bu test yöntemi için iki ayrı yaklaşım vardır. Birinci yaklaşımda, metal disk beton yüzeyi üzerinde kuvvetli bir yapıştırıcı vasıtasıyla yapıştırılır. İkinci yaklaşımda ise beton yüzeyindeki karbonatlaşmanın test sonuçlarına olan etkisini giderebilmek için kısmi bir karot deliği açılır ve metal disk yapıştırılarak ve de beton parçasına çekme kuvveti uygulanarak beton parçası koparılır. Genellikle 50 mm çaplı diskler kullanılır. Elde edilen çekme dayanımın küp basınç dayanımına çevirmek için ampirik bir korelasyon eğrisi kullanılır (Arıöz, 2004).

Bu testin en önemli avantajı basitliği ve uygulamasının hızlı olmasıdır. Ayrıca önceden bir planlama yapılmasını gerektirmez. Test sonrasında beton yüzeyindeki hasarın fazla olmaması da bir diğer avantajdır. Bu testin en önemli dezavantajı yapışkanların kuvvetini kısa sürede alamamadır. Ancak kimyasallardaki hızlı gelişmeler bu kısıtlamayı ortadan kaldıracaktır. Pull-off testinin sonuçları ile basınç

dayanımı arasındaki korelasyon bir çok faktör tarafından etkilenir. Beton içerisinde kullanılan iri agreganın çeşidi çok etkilidir. Ayrıca karbonatlaşma olan betonlarda yüzeyden uygulanan testlerde korelasyon değişik sonuçlar verebilir. Bu nedenle de bu testin kısmi karot delinerek uygulanan çeşidi kullanılırsa herhangi bir derinlikteki beton test edilmiş olacaktır (Arıöz, 2004). Şekil 2.21’de Pull-off testinin uygulanması görülmektedir.



Şekil 2.21. Pull-off testinin uygulanışı (Malhotra and Carino, 2004)

2.2.2.10. Olgunluk yöntemi

Olgunluk yönteminin temeli betonda çimentonun hidratasyonu için gerekli olan nem koşullarının sağlandığı kür ortamında ölçülen sıcaklık geçmişine dayanmaktadır. Burada sıcaklık geçmişi olgunluk indeksi olarak adlandırılan niceliğin hesabı için kullanılmaktadır. Yeni dökülen beton, ısı açığa çıkaran kimyasal reaksiyonlar sonucunda dayanım kazanır. Olgunluk yöntemi, dayanım gelişiminde sıcaklık ve zaman etkilerini hesaba katan bir yöntemdir. Olgunluk yöntemini kullanabilmek için yapıda kullanılacak betonun dayanım-olgunluk ilişkisi bilinmelidir. Yerine dökülen betonun sıcaklık geçmişi sürekli gözlemlenerek olgunluk hesaplanabilir. Yerinde olgunluk ve dayanım olgunluk ilişkisini bilmekle yapı yerindeki dayanım tahmin edilebilir. Aynı beton numuneleri farklı iyileştirici koşullar altında bekletilirse, beton ve numunelerin termik geçmişi için dayanım-olgunluk ilişkileriyle dayanım

tahminleri yapılabilir. Olgunluk derecesi beton dayanımının tahmininde hasarsız bir denetleme yöntemidir (Topçu ve Karakurt, 2002). Olgunluk test cihazı Şekil 2.22’de görülmektedir.



Şekil 2.22. Olgunluk test cihazı

2.2.2.11. Diğer yöntemler

Günümüzde yukarıda bahsedilen tahribatsız test yöntemlerinin haricinde betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemede birçok değişik tahribatsız test yöntemleri bulunmaktadır. Bunları; manyetik, elektriksel, donatı korozyonu değerlendirme, radyoaktif, nükleer, radar, gerilme dalga yayılımı, kızılötesi termografik ve akustik emisyon vb. test yöntemleri şeklinde sıralayabiliriz (Malhotra and Carino 2004).

Bunun dışında, son zamanlarda yoğun bir ilgi gören ve bilimin diğer alanlarında olduğu gibi beton teknolojisinde de kullanılan yapay zekâ yöntemleri ile tahribatsız ve pratik olarak malzeme özellikleri hakkında bilgi elde edilebilmektedir (Flood and Kartam, 1998)

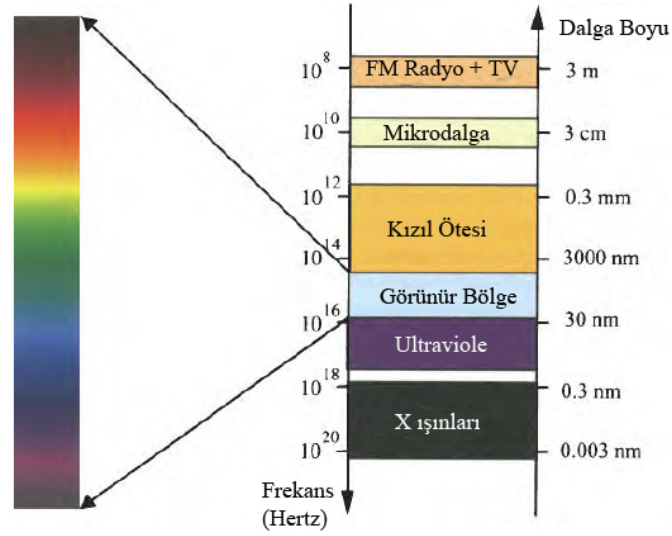
2.3. Görüntü İşleme

2.3.1. Görüntü algılama sistemi

Görüntü; gerçekte var olmadığı hâlde varmış gibi görünendir. Başka bir deyişle görüntü, insan gözünün görebilmesi için bir araç sayesinde oluşturulan görünümdür. Bir mercek baktığımızda, cismin "mercek görüntüsü" ayrıntıları görmemizi sağlar. Birçok araç sayesinde görüntü elde ederiz (Vikipedia, 2012).

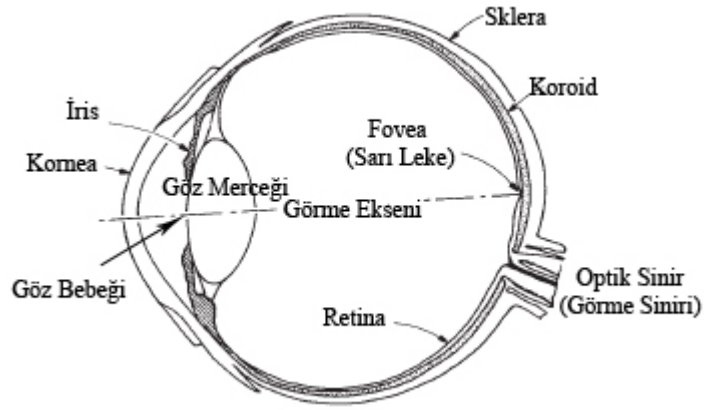
İnsan gözünün görüntü algılama sistemi, görüntü işleme açısından ele alındığında; görüntü yakalama, gruplama ve analiz konusunda bilinen en karmaşık sistemdir. İnsanın çevresindeki nesnelerin geometrik şekillerini tanıması, bu nesneler hakkındaki belirgin ilişkiyi kavraması ve duruma uygun cevap vermesi için nesnelere ait görüntü bilgisine ihtiyacı vardır. Görüntü bilgisi diğer bilgilere oranla daha kalıcı, düşünebilme ve yorumlayabilme fonksiyonlarının daha etkili kullanıldığını ifade eden bir örnektir. Görüntü bir nesnenin sunumudur. Görüntü bilgisi günümüzde birçok alanda kullanılır. Tarayıcılar, kameralar v.b. gibi algılayıcı sistemler kullanılarak görüntü bilgisi sayısal sistemlere aktarılır ve matris formatında depolanır (Onat, 2008).

İnsan görme sistemi gözlerimizle başlar. Işığın çok kanallı ve pankromatik dalga boyları her biri birer algılama sistemi olan gözlerimiz yardımı ile algılanır. Görülebilen spektrum tanımı; insan gözünün görebileceği elektro manyetik dalga boyu aralığını tanımlar. Gözlerimizle görülebilen alandaki elektro manyetik dalgaları algılayabiliriz ve beynimiz yardımı ile yorumlanabilir görüntü haline dönüştürebiliriz (Bayram, 2012). İnsan gözünün görebileceği elektro manyetik dalga boyu aralığı Şekil 2.23' de görülmektedir.



Şekil 2.23. İnsan gözünün görebileceği elektro manyetik dalga boyu aralığı (Koschan and Abidi, 2008)

Bir görüntünün insan tarafından algılanması ve yorumlanması birkaç aşamadan meydana gelir. Öncelikle göze gelen ışık ısınları korneadan, gözbebeğinden ve ardından da mercekten geçer. Saydam tabakanın bükümlü üst yüzeyi ve mercek, ısınları kırar ve nesnenin (resmin) görüntüsü ters çevrildikten sonra retinaya ulaşır. Daha sonra ışığa duyarlı hücreler (reseptörler; koni ve çubuk hücreler) ışığı elektrik sinyallerine çevirir ve sinir uçlarına uyarı olarak yollarlar. Retinadan gelen görüntü orijinaline göre bas aşağı durumda ve ters taraftadır. Bu elektriksel uyarılar beyne nesnenin çeşidi, büyüklüğü, rengi, uzaklığı hakkında bilgi götürürler ve tüm bu dizi işlemler saniyenin onda biri kadar bir sürede gerçekleşir. Ancak beyin, kendisine gelen bu sinyallerin genliğini, fazını, frekansını değerlendirip görüntü hakkında tüm bilgiyi elde eder ve insanın o nesneyi doğru bir şekilde tanıması sağlanır. Bu olay görüntü işleminin ta kendisidir (Onat, 2008). İnsan gözünün yapısı Şekil 2.24’ de görülmektedir.



Şekil 2.24. İnsan gözünün yapısı (Pratt, 2007)

Görüntüyü algılama ve yorumlama işlemi gerçekleşirken bir saniyede meydana gelen işlem sayısı şu an mevcut hiçbir bilgisayarın yapamayacağı kadar yüksektir. Bu kadar hızlı olmasının yanı sıra görmenin en şaşırtıcı ve mucizevî yanı, ağ tabakaya düşen ters görüntünün beyin optik merkezinde düzeltilmesidir (Onat, 2008).

2.3.2. Bilgisayarla görme

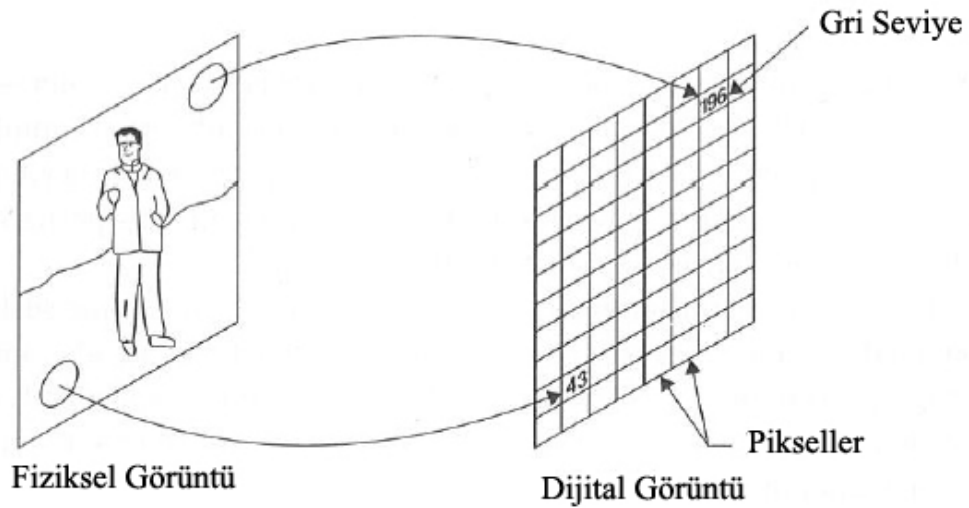
Bilgisayarla görme, bir veya daha çok görüntünün üzerinde bilgisayar analizinin, bir veya daha çok ana işlemciyle zaman sırasına göre çeşitli tekniklerle gerçekleştirilmesidir. Bilgisayarla görme, görüntü veya görüntü setleri üzerinden bilgilerin teorik ve algoritmik olarak bilgisayar tarafından çıkarılıp incelenmesini sağlayan bir bilimdir. Görüntü üzerindeki nesne ve nesnelerle ilgili, nesnenin konumu ve yönlendirilmesi ile ilgili ve boyutuyla ilgili kavramları içerir (Yaman vd., 2001).

2.3.3. Dijital görüntü ve digital görüntü işleme

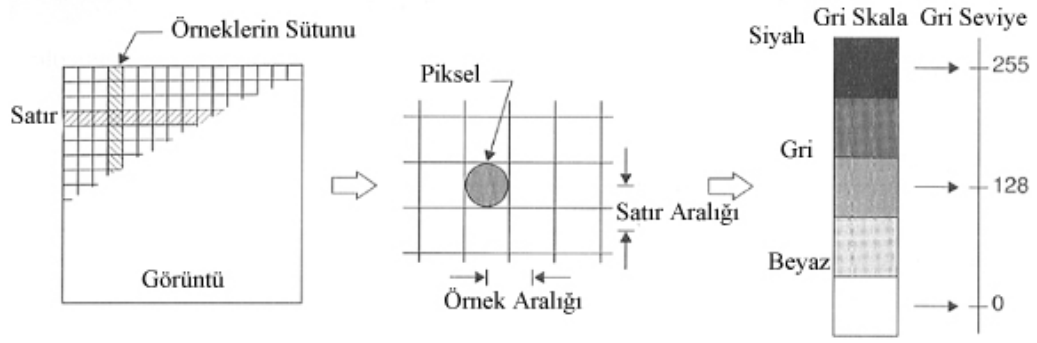
Dijital görüntü normal görüntüden koordinat değerleri ve fonksiyonun değerinin aralıklı (discrete) olmasıyla ayrılır. Bu nedenle, dijital görüntünün bilgisayar tarafından işlenmeden önce hem koordinat değerleri hem de fonksiyon değeri bakımından sayısal hale dönüştürülmesi gerekmektedir. Koordinat değerlerinin

sayısal hale çevrilmesi örnekleme ve fonksiyon değerlerinin sayısal hale geçirilmesi ise nicelleme olarak adlandırılır (Güler vd., 2007).

Şekil 2.25’de dikdörtgensel düzendeki sayıların dijital görüntüyü nasıl ifade ettiğini göstermektedir. Fiziksel resim piksel ya da resim elementi olarak adlandırılan bölgelere bölünür. Her bir piksel noktasına yerleştirilen sayı, o noktanın parlaklık değerine karşılık gelir. Bu dönüşüm işlemi sayısallaştırma olarak adlandırılır ve en sık kullanılan yöntemi Şekil 2.26’da gösterilmiştir. Her bir piksel noktasında, resmin parlaklığı örneklenir ve niceliklenir. Bu işlem, her piksel için o noktanın parlaklığı yada koyuluğunu gösteren sayısal bir rakam oluşturur. Bu işlem tüm pikseller için yapıldığında resim dikdörtgensel sayılar ile ifade edilmiş olunur. Böylece her bir piksel bir koordinata ve bir gri renk seviyesine sahip olur (Güler vd., 2007).

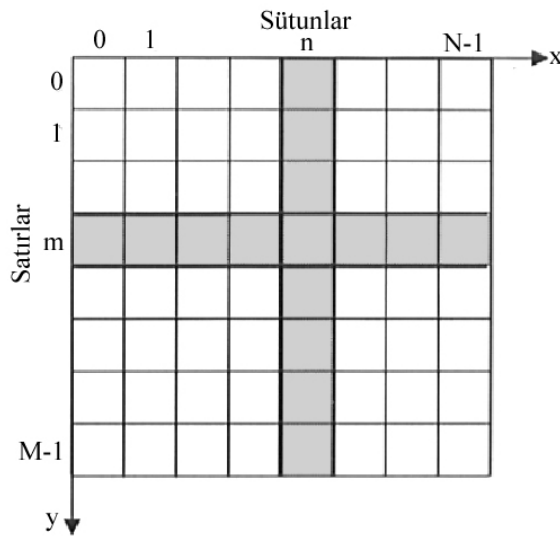


Şekil 2.25. Fiziksel ve buna karşılık gelen dijital görüntü (Castleman, 1996)



Şekil 2.26. Görüntünün sayısallaştırılması (Castleman, 1996)

Dijital resim, optik yöntemler kullanılarak eşit aralıklı dörtgensel şekiller halinde ve eşit sinyal büyüklükleri kullanılarak oluşturulmuş süreksiz bir fonksiyondur. Bu tanımdan da anlaşılacağı üzere, dijital resim temel olarak örneklenmiş iki boyutlu süreksiz bir fonksiyon olarak algılanabilir. Şekil 2.27’de dijital görüntülerin gösterilmesi sırasında kullanılan koordinat düzenini göstermektedir. Görüldüğü gibi matrisler için kullanılan yöntemle aynıdır. İlk indeks m , ve ikinci indeks n , satır ve sütunların pozisyonlarını ifade etmektedir. Eğer görüntü M satır ve N sütuna örneklenmiş ise $M \times N$ adet piksel içerir ve $M \times N$ görüntü olarak adlandırılır. Genellikle, düzenin ilk elementi $(m,n) = (0,0)$ olarak adlandırılır ve sütun indeksi 0 dan $M-1$ ’e kadar ve satır indeksi 0 dan $N-1$ ’e kadar değişir Her bir piksel tarafından gösterilen alan, çözünürlük olarak ifade edilir (Güler vd., 2007).



Şekil 2.27. Dijital görüntünün ifade edilmesi (Jähne, 2002)

Dış ortamdan çeşitli yöntem ve tekniklerle elde edilen resimlerin, bilgisayar ortamına yani bilgisayarın anlayacağı biçime dönüştürülerek meydana getirilen görüntülerin, yine çeşitli yöntem ve teknikler kullanarak üzerinde istenilen değişikliklerin yapılmasına görüntü işleme denir. Dış ortamdaki bir görüntünün elde edilen resminin bilgisayar ortamına aktarılmasına resmin veya görüntünün sayısallaştırılması denir. Sayısallaştırılan bu görüntülerin üzerinde çeşitli yöntem ve teknikler ile yapılan işlemlerin bütününe ise dijital görüntü işleme veya sayısal görüntü işleme denir (Aydoğan, 2008).

Görüntü işleme hakkında çeşitli kaynaklarda farklı tanımlamalar yapılmıştır. Bu tanımlamalardan bazıları aşağıda belirtilmiştir.

Bir görüntü, x ve y olarak adlandırılan koordinat uzayına ait iki boyutlu olan bir $f(x, y)$ fonksiyon olarak tanımlanabilir. (x, y) koordinatının herhangi bir çiftindeki f 'in genliği görüntünün o noktadaki gri seviyesi veya şiddeti olarak adlandırılır. Bahsedilen x , y ve f 'in genliği, sonlu ve ayrık miktarda olduğu zaman görüntüye dijital görüntü denir (Gonzalez and Woods, 2002).

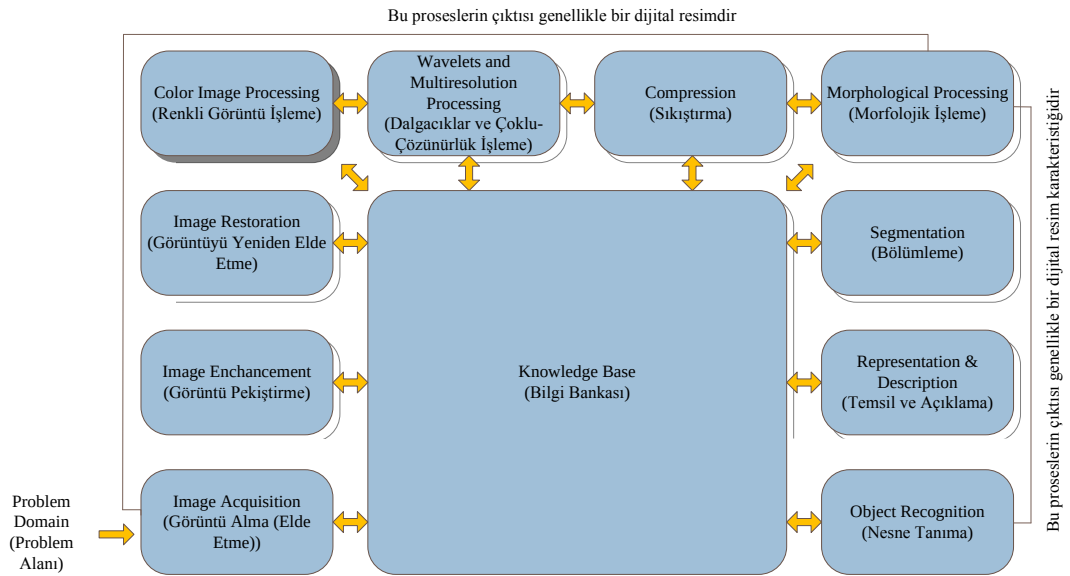
Görüntü işleme ölçülmüş veya kaydedilmiş olan dijital görüntü verilerini, elektronik ortamda amaca uygun şekilde değiştirmeye yönelik olarak yapılan bilgisayar çalışmasıdır (Yılmaz, 2007).

Sayısal görüntü işleme (Digital Image Processing) sayısal imajların sayısal bilgisayarlar aracılığıyla işlenmesidir (Edizer, 2006).

Görüntü işleme, görüntü üzerinde yapılan değişiklikleri ifade eder ve bilgisayarlar kullanılarak sayısal ortamda gerçekleştirilir. Sayısal görüntü işleme bir görüntünün ve özelliklerinin değiştirilmesi için kullanılan çok çeşitli teknikleri içerir. En basit düzeyde, görüntü işleme görüntüdeki piksellerin fiziksel olarak yerlerinin değiştirilmesi ile gerçekleştirilir (Göçeri, 2006).

2.3.4. Dijital görüntü işlemenin temel adımları

Dijital görüntü işleme yöntemlerinin ana amacı, insanın görüntüyü daha iyi yorumlayabilmesi için görüntünün iyileştirilmesi ve bilgisayarın görüntüyü yorumlayabilmesi için görüntünün analizinin yapılmasıdır. Görüntü iyileştirme tekniklerinin hedefi, görüntüyü özel bir amaç için orijinal görüntüden daha uygun bir biçime getirmektir. Bir görüntü iyileştirme sisteminin hem girdisi hem de çıktısı dijital resimlerdir. Bu organizasyon Şekil 2.28’de özetlenmiştir. Bu şekil her metodun tek bir dijital görüntüye uygulandığını göstermemekte ve görüntülere farklı amaçlar için bütün metodların uygulanabilirliği fikrini ifade etmektedir (Aslantaş, 2006).

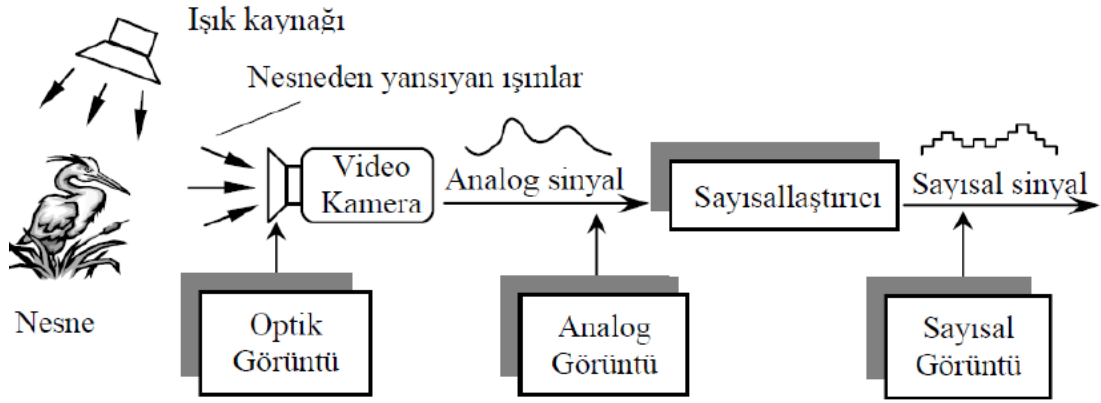


Şekil 2.28. Dijital görüntü işlemede temel adımlar(Gonzalez and Woods, 2002)

Bir görüntü işleme uygulamasında ilk adım görüntüyü elde etmektir (Image Acquisition) ve bunun için bir görüntü algılayıcı gerekir. Bu cihaz bir tarayıcı, dijital fotoğraf makinesi veya bir kamera olabilir (Aslantaş, 2006).

Şekil 2.29’da bir nesnenin bilgisayarda görüntüsünün oluşturulması anlatılmaktadır. Burada bir ışık kaynağı ile aydınlatılmış nesne mevcuttur. Nesneden yansıyan ışınlar optik formda kameraya aktarılır. Nesneyi tanımlayan bu ışınlar, kamerada elektrik sinyallerine dönüştürülür. Böylece görüntü analog forma çevrilmiş olur. Analog

sinyaller bir sayısal dönüştürücüde sayısal sinyallere dönüştürülür. Son aşamada sayısal forma dönüştürülen görüntü artık bilgisayar ortamına aktarılarak islenecek hale getirilmiş olur (Yaman vd., 2001).



Şekil 2.29. Görüntünün optik formda yakalanıp, analog forma dönüştürülmesi (Yaman vd., 2001).

Eğer görüntü algılayıcının çıkışı sayısal değilse bu sinyal bir Analog – Dijital çeviriciden geçirilerek sayısallaştırılır. Genel olarak, resim edinme safhaları, ölçekleme gibi ön işlemeyi içermektedir (Aslantaş, 2006).

Görüntü pekiştirme (Image Enhancement), dijital görüntü işlemenin en basit ve en çok başvurulmuş alanlarından birisidir. Esasında, pekiştirme tekniklerinin arkasındaki düşünce hiç dikkati çekmeyen detayları ortaya çıkarmak, ya da sadece bir resimde yer alan, hedef doğrultusundaki bazı özellikleri vurgulamaktır. Dijital bir imgenin kontrastını (karşıtlık) artırmak görüntü pekiştirmede en sık kullanılan metotlardan biridir. Görüntü pekiştirme, görüntü işlemenin subjektif bir alanıdır (Aslantaş, 2006).

Görüntüyü yeniden elde etme (Image Restoration), bir dijital imgenin görünüşünün geliştirilmesiyle ilgilenen bir alandır. Diğer yandan, oldukça subjektif olan pekiştirmenin aksine, görüntüyü yeniden elde etme, matematiksel ya da resim bozulmasının olasılıksal modellerine eğilimli olduğu için objektif bir yöntemdir. Diğer taraftan pekiştirme, insanın subjektif tercihlerine dayanmaktadır (Aslantaş, 2006).

Renkli görüntü işleme (Color Image Processing), paylaşılan bilgi ağları üzerinde dijital resim kullanımının artması sonucu giderek önem kazanmaktadır. Renkli modellerdeki birkaç temel kavramı ve dijital ortamda basit renk işleme yöntemlerini içermektedir. Renk, nesnelerin tanımlanmasını ve çevrelerinden izole edilmesini kolaylaştıran güçlü bir araçtır. Ayrıca, insan gözü yaklaşık iki düzine gri tonu ayırt edebilmesine karşılık, binlerce renk tonu ve yoğunluğu dijital görüntü işleme metotları ile ayırt edilebilir (Aslantaş, 2006).

Küçük dalgalar (Wavelets and Multiresolution Processing), farklı çözünürlük derecesindeki resimleri temsil için bir altyapıdır. Sayısal görüntü verilerini sıkıştırma ve resimlerin küçük bölgelerde ard arda alt bölümlere ayrıldıkları piramidal sunum için kullanılır (Aslantaş, 2006).

Sıkıştırma (Compression), bir resmi saklamak üzere gereken bellek miktarını ya da aynı resmi iletmek amacıyla gerekli olan band genişliğini azaltmak için gereksinim duyulan işlemleri içeren metotlarla ilgilenir. (Aslantaş, 2006).

Morfolojik işleme (Morphological Processing), bir görüntüdeki nesnelerin geometrik şeklini ve yapısını incelemek için kullanılan bir araçtır. Morfolojik işlemler, kümeler teorisi kavramları yardımıyla ifade edilirler. İşlemden geçirilecek görüntü bir küme olarak düşünülür. Morfolojik bir işlem, bu görüntü kümesinin yapılandırma elemanı görüntü üzerinde dolaştırılır ve uygulanan morfolojik işlemin tanımına göre görüntüdeki piksel değerleri ile yapılandırma elemanının değerleri karşılaştırılarak sonuç görüntüsü elde edilir (Aslantaş, 2006).

Bölümleme (Segmentation) metodu, bir sayısal görüntünün öğelerine ya da nesnelere bölünmesidir. Genel olarak bağımsız bölümleme yöntemi dijital görüntü işleminin içindeki en zor görevlerden bir tanesidir. Düzensiz bölümleme yöntemi, teker teker tanımlanması gereken objeleri gerektiren şekillendirme problemlerinin başarıyla çözümlenmesini zorlaştırır. Diğer taraftan zayıf ya da kararsız bölümleme

algoritmaları neredeyse her zaman başarısızlığa sebep olur. Genel olarak bölümlene ne kadar doğru olursa kabul edilme de o kadar başarılı olur(Aslantaş, 2006).

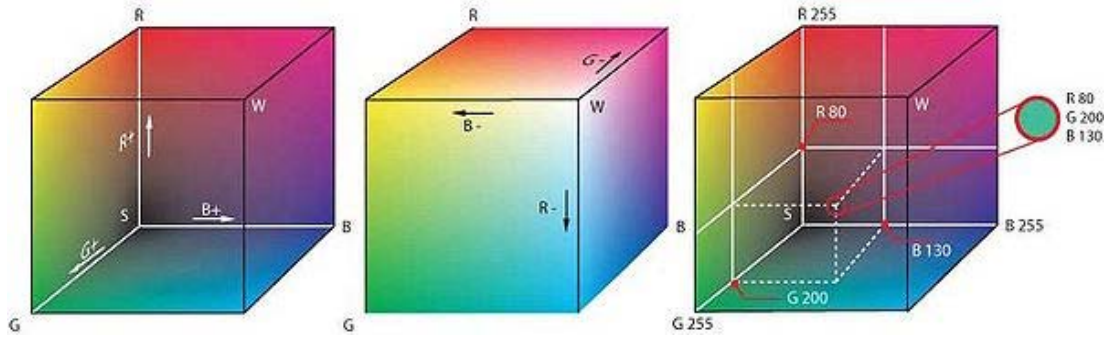
Temsil ve tanımlama (Representation and Description), her zaman bölümlene aşamasının çıktısını takip eder. Bunlar bölgenin sınırını (piksellerin dizilimi bir resim bölgesini diğerinden ayırır) ya da bölgenin kendisinin bütün noktalarını oluşturan ham piksel bilgileridir. Her iki durumda da, bilgileri şekillere çevirirken bilgisayar için işleme tabi tutmak gereklidir. Bu yöntemde bilgilerin sınır olarak mı, yoksa tam bir bölge olarak mı kaydedilmesi gerektiğinin kararının verilmesi gerekir. Çekimlenmeler (inflection) ve köşeler (corner) gibi dış şekil karakteristikleri üzerine odaklanıldığı zaman sınır temsili kullanılması uygun olur. Bölgesel temsilin ise çatisal (skeletal) ya da dokusal (texture) Çekil gibi iç özellikleri üzerinde yoğunlaşıldığı zaman kullanılması uygundur. Bazı uygulamalarda, bu temsiller birbirlerini tamamlamaktadırlar. Bir temsil seçimi sadece bozuk bilgilerin bir sonraki aşama olan bilgisayar süreci için uygun şekle dönüştürülmesinde çözümün bir parçasıdır. Tanımlama (Description) aşamasında, söz konusu piksellerin taşıdığı ayırt edici özellikler hesaplanır. Bu aşamanın çıktısı, bir piksel kümesinin özelliklerini içeren bir özellik vektörü olabilir (Aslantaş, 2006).

Tanıma (Recognition), bu özellik vektörünün, bir özellik vektörleri kümesinin herhangi bir elemanına benzetilmeye çalışılması yöntemlerini içerir. Böylece piksel kümeleri sınıflandırılır(Aslantaş, 2006).

2.3.5. Dijital görüntülerde kullanılan renk modelleri

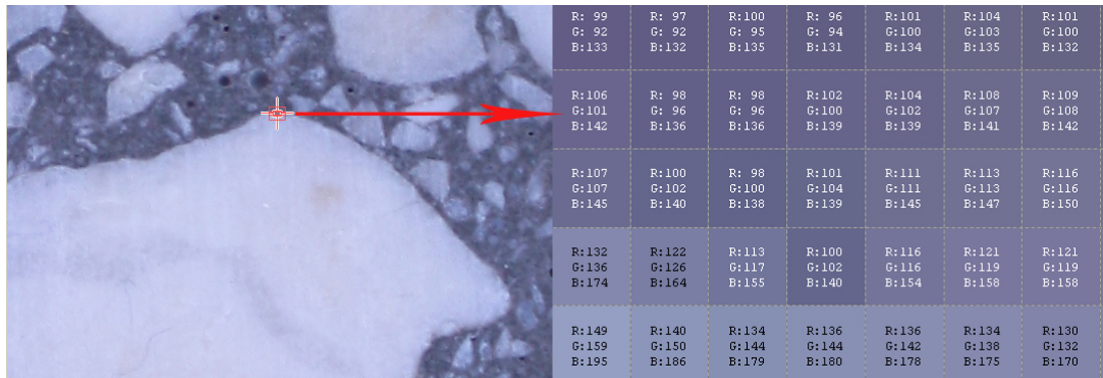
2.3.5.1. Gerçek renk ya da kırmızı-yeşil-mavi (RGB) renk modeli

Gerçek renk görüntülerde her bir piksel içerisindeki kırmızı, yeşil ve mavi düzeyi ile tanımlanır. Şekil 2.30'da gerçek renk küpünü göstermektedir. Her bir eksen 0 ile 255 arasındaki kırmızı, yeşil ve mavi değerlerini gösterir. Küpün orijin noktası (0,0,0) siyah rengi ve orijinden en uzak köşesi (255,255,255) ise beyaz rengi göstermektedir (Güler vd., 2007).



Şekil 2.30. RGB uzayına göre renklerin oluşturulması (Wikipedia, 2012)

Gerçek renk küpünün köşeleri kırmızı, yeşil, mavi ve bunların bileşiminden oluşan camgöbeği, mor, sarı ve beyaza karşılık gelmektedir. Renkler vektörler gibi birbirleriyle toplanarak ya da birbirlerinden çıkarılarak diğer renkleri oluşturmaktadır. Bkz. Şekil 2.30'da görüldüğü gibi 255 kırmızıya 255 yeşil eklenmesi sarıyı ve 255 kırmızıya 255 mavi eklenmesi moru oluşturmaktadır. Şekil 2.31'de görüldüğü üzere, gerçek renk görüntüler her bir pikselin kırmızı, yeşil ve mavi değerlerini gösteren 3 adet değerden oluşur. Gerçek renk görüntüler 24 bit görüntü olarak da anılmaktadırlar ve yaklaşık 16 milyon renk (256 x 256 x 256) içermektedirler (Güler vd., 2007).



Şekil 2.31. Gerçek renk görüntü

2.3.5.2. İkili (binary) renk modeli

İkileme işlemi görüntülerde her bir piksel 0 ya da 1 değerine sahip olur. 0 siyahı ve 1 beyazı temsil eder (Şekil 2.32). Bu görüntülerde her bir piksel 1 bitlik yer kaplar.

İkili görüntüler genellikle parmak izlerinin gösteriminde, mimari planlarda ve yazılı metinlerde kullanılır (Güler vd., 2007).

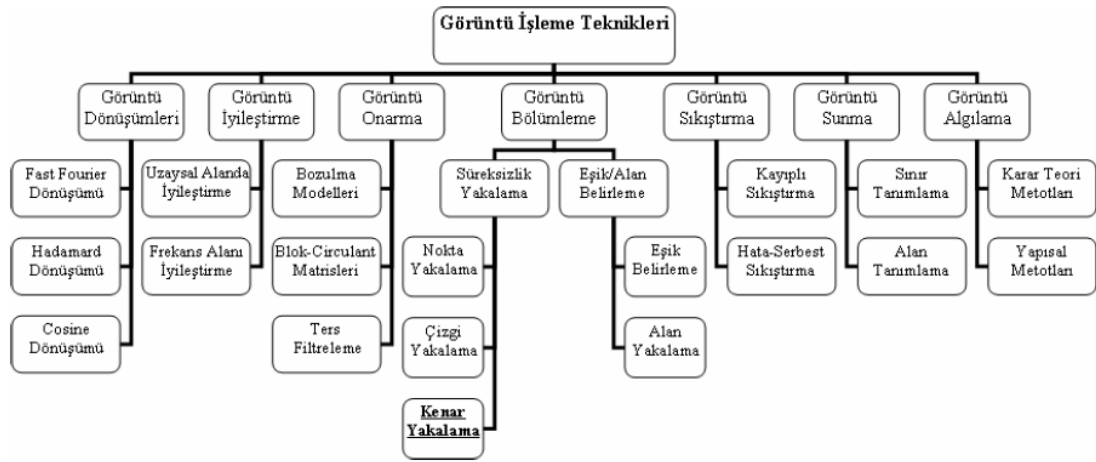
Şekil 2.32. İkili (binary) görüntü

Gri ton modeli Bkz. Şekil 2.30'da gösterilen gerçek renk küpünün ana diyagonalı ile tanımlanır. Bu çizgi orijindeki 0 değerine sahip siyah renk ile 255 değerine sahip beyaz renk arasındadır. Gri ton görüntülerde her pikselin kırmızı, yeşil ve mavi değerleri birbirine eşittir. Şekil 2.33'de gri ton görüntüye örnek teşkil etmektedir.

Şekil 2.33. Gri ton görüntü

2.3.6. Görüntü işleme teknikleri

Yukarıda bahsedildiği gibi görüntüyü seviye olarak üçe ayırabiliriz. Sadece siyah (0 değeri) ve beyaz (1 değeri) renkleri içeren ikili görüntü, gri düzeyli görüntü ve renkli görüntü. Her üç seviyedeki görüntünün sunumu da matris formundadır. Matrisin her hangi bir değeri görüntünün koordinatlardaki noktanın parlaklık, ısı veya buna benzer farklı niteliklerdeki değeri olabilir (Onat, 2008). Görüntü işleme tekniklerin en genel haliyle Şekil 2.34’ de verilmiştir.

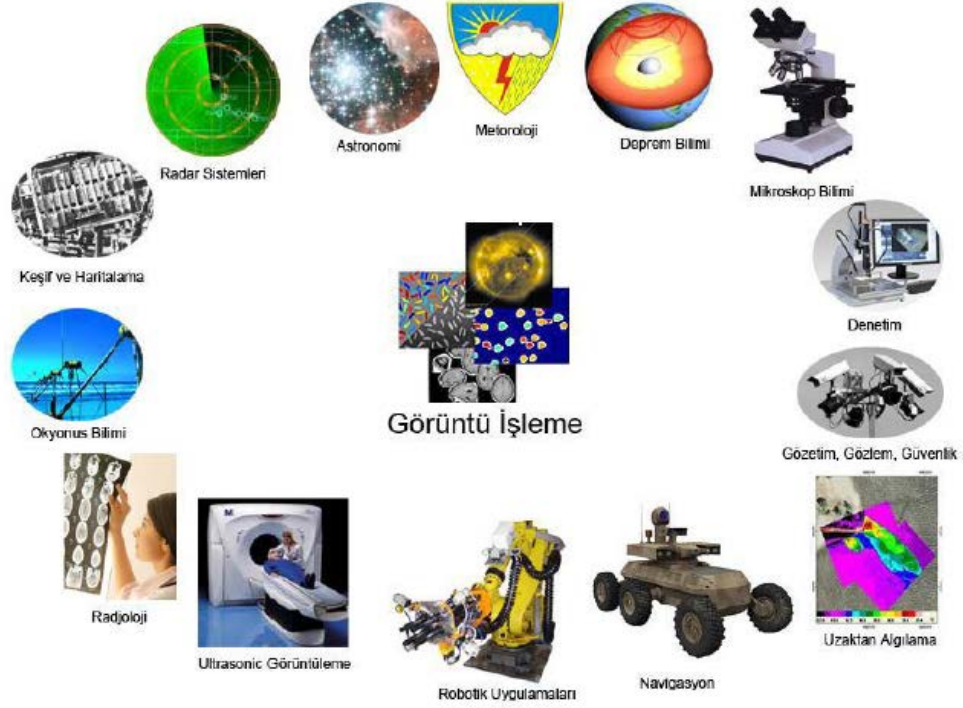


Şekil 2.34. Görüntü işleme teknikleri (Onat, 2008).

2.3.7. Görüntü işlemenin kullanım alanları

Elektronik veri işleme son 40 yılda inanılmaz bir hızla gelişmiştir. Bu gelişme bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak meydana gelmiştir. Bilgisayarların giderek boyutlarının küçülmesi, bellek kapasitelerinin ve veri işleme hızlarının artışı görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmeyi hızlandırmıştır (Yılmaz, 2007). 1960’lı yıllardan günümüze kadar görüntü işlemenin kullanım alanları günden güne artmıştır. Uzay araştırmalarının yanı sıra daha birçok uygulamada görüntü işleme teknikleri kullanılmaktadır. Tıpta, askeri alanda, savunmada, eğitimde, sanatta, tarımda, endüstride, coğrafyada, arkeolojide, fizikte, biyolojide, astronomide, karakter tanımda, parmak izi tanımda, x-ray’lerin ve kan örneklerinin incelenip bilgisayar tarafından yorumlanmasında ve hayatın hemen hemen tüm alanlarında

kullanılmaktadır (Gönen vd. 2006). Şekil 2.35’de görüntü işlemenin kullanıldığı bazı alanlar verilmiştir.



Şekil 2.35. Dijital görüntü işlemenin kullanım alanları (Çomak vd., 2011)

2.4. Literatür Bilgileri

Lange vd. (1994), çalışmalarında, parlak kesitli geri saçılmış elektron görüntülerinde gözlenen gözenek yapısının doğası hakkında bilgi sağlamak için birçok görüntü işleme teknikleri kullanmışlardır. Kullandıkları görüntü analiz tekniklerinde boyutlandırma, iki nokta korelasyonu ve çatlak analizi yer almaktadır.

Fernandes vd. (2000), çalışmalarında betona gömülü çelik çubuk görüntülerinden modifiye edilmiş bir Hough dönüşümü ile görüntü ön işleme algoritması kombine ederek pozisyon bilgisini çıkarabilmek için bir yöntem kullanmışlardır.

Gaydecki vd. (2000), yaptıkları çalışmalarında beton içinde gömülü olan çelik çubuklarını tespit edebilmek için endüktif sensörü olan portatif bir tarama sistemi kullanmışlardır. Kullandıkları sistem sayesinde 16 bitlik gri- düzeyli resimler elde

etmişlerdir. Elde ettikleri görüntüler üzerinde görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Bu sayede beton içinde gömülü olan donatıların sahip oldukları birçok parametreye ait verilere ulaşabilmişlerdir. Kullandıkları yöntemin İnşaat Mühendisliği'nde tahribatsız deney yöntemi olarak kullanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Mora ve Kwan (2000), yaptıkları çalışmalarında dijital görüntü işleme ile beton için iri agreganın dışbükeyliği, şekil faktörü ve küreselliğini tespit edebilmek için bir ölçme yöntemi geliştirmişlerdir. Diğer dijital görüntü işleme yöntemlerinin aksine, kullandıkları yöntem kalınlığı ve parçacıkların hacmini tahmin yeteneğine sahip olmasıdır. Böylece şekil parametrelerinin kalınlığına bağlı olarak ölçebilmişler ve agrega örneklerinde özel parçacıkların şekil parametrelerinin ağırlıklı ortalama değerlerini değerlendirmek için kullanmışlardır.

Robins vd. (2001), yapmış oldukları çalışmalarında orta açıklıklı kirişlerde yükleme anındaki sehim ve çatlak genişliği profillerinin kurulması ile ilgili çalışmışlardır. Strengçe ile otomatikleştirilmiş ızgara yöntemini birleştiren (görüntü işleme kullanarak) eğilme testi sırasında çelik lif donatılı beton kiriş üzerinde birim şekil değiştirme ile çatlak genişliği profilini ölçmek ve izlemek için bir gerilme analizi tekniği açıklamışlardır.

Spyrou ve Davison (2001), yapmış oldukları çalışmalarında T bağlantı elemanlarının bağlantı yapıldığı yerdeki gerilmeden dolayı oluşan deformasyonlarını ölçebilmek için görüntü yakalama ve görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Uygulama, yüksek sıcaklıklarda yapılan testlerde deformasyonların ölçülmesi ile ilgili sorunları çözmek için geliştirilmiş olmasına rağmen, aynı zamanda ortam sıcaklıklarında geleneksel teknikler üzerine de avantajlar sağlamıştır.

Quick vd. (2002), yapmış oldukları çalışmalarında yeni geliştirdikleri görüntü işleme algoritmalarının birinde, çeşitli çubuk katmanlarını temsil eden çoklu görüntüler içinden, orijinal kompozit görüntüyü ayrı olarak görüntüleyebilmişlerdir. Bu tekniğe Polynomial Tabanlı Katman Ayırma (PTKA) adını vermişlerdir. Çelik çubuk örgü

görüntülerinde PTKA sistemini kullanarak orijinal görüntü verilerinin nitel ve nicel özelliklerinde önemli geliştirmeler sunmuşlar ve görüntü segmentasyonun da karşılaştırılabilir yöntemlerden daha sağlam ve anlamlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Schutter (2002), çalışmasında binalarda oluşan çatlakları izlemek için video mikroskop ile birlikte otomatik görüntü analizinden oluşan bir sistem geliştirmiştir. Bu sistem sayesinde geleneksel ölçme tekniklerinden daha hassas ve daha gelişmiş bir analiz yöntemi geliştirmiştir. Geliştirilen sistemi laboratuvar testleri sırasında beton kirişler ve döşemeler üzerinde denemiştir. Ayrıca Belçika Ghent kentindeki tarihi bir bina üzerinden de ölçümler yaparak değerlendirmiştir. Sonuçları geleneksel ölçme teknikleri ile karşılaştırmıştır. Sonuç olarak binalardaki çatlakların yerinde izlenmesi için, video mikroskobu ve otomatik görüntü analizi kombinasyonunun kullanıcı dostu ve çok hassas bir yöntem olduğunu belirtmiştir.

Soroushian vd. (2003), çalışmalarında betondaki mikro çatlaklara ve boşluklara odaklanmak için betonun otomatik olarak niceleyici mikroyapısal soruşturmasında kullanılmak üzere görüntü işleme ve analiz teknikleri geliştirmişlerdir. Farklı numune hazırlama teknikleri kullanabilmek için floresan ve taramalı elektron mikroskobu kullanmışlar ve beton gövdesi ile mikro çatlaklar /boşluklar arasında keskin bir kontrast üretmişlerdir. Otomatik eşik, mikro çatlakların/boşluklar ve bağlanan boşlukların kesişim gelişimini, boşlukların geometrik özelliklerine bakarak mikro çatlakların formlarını ayırt etmek ve gürültü filtreleme için özel olarak görüntü işleme ve analiz teknikleri geliştirmişlerdir.

Nagataki vd. (2004), yaptıkları çalışmalarında geri dönüşüm nedeniyle zarar görmüş beton agregalarının normal agregası için belirtilen standart test yöntemlerinin ötesinde mikro yapısal değerlendirme teknikleri de kullanmışlardır. Laboratuvarda üretilmiş geri dönüştürülmüş beton agregaların mikro yapısını floresan mikroskobu ve görüntü analizi kullanarak incelemişler ve mikroskobik düzeyde araştırmalar yapmışlardır.

Rousan (2004), yapmış olduğu çalışmasında ince ve kaba agregası şekil özelliklerini ölçmek amacıyla Agregası Görüntüleme Sistemi (AGS) geliştirmiştir. Ayrıca yine

çalışmasında agregaların şekil özellikleri dağılımına göre yeni bir sınıflandırma yöntemi de geliştirilmiştir.

Soroushian ve Elzafraney (2005), çalışmalarında betondaki mikro çatlakları ve boşluk sistemlerinin temel özellikleri ölçümü için formülasyonlar geliştirilmişler. Dik kesitlerden elde ettikleri (2-B) verilerden betondaki mikro çatlakları ve boşluk sistemlerinin yapısını (3-D) niceliksel bilgi gelişimi için stereolojik ilişkiler sunmuşlardır. Betonun mikro yapısal analizi için yeni geliştirilen bilgisayar yazılımında oluşturulan algoritmalarda görüntü işleme rutinleri, düzlem formülasyonları ve in-space yorumlarını ele almışlardır.

Abdel-Qader vd. (2006), çalışmalarında beton köprülerdeki çatlakları otomatik olarak muayene edebilmek için Temel Bileşen İlkeleri (TBİ) tabanlı bir algoritma sunmuşlardır. TBİ için kullanılacak kümeleri tanımlamak için köprü görüntülerinden oluşan bir veri tabanı kullanmışlardır.

Felekoğlu ve Güllü (2006), yaptıkları çalışmalarında klinker kalitesinin belirlenmesinde optik mikroskop inceleme ve görüntü işleme teknikleri kullanmışlar. İstatistiksel açıdan anlamlı örneklemeyle klinker kesitinde alansal faz ve porozite dağılımı belirlenmeye çalışmışlar ve sonuç olarak kullanılan yöntemin klinker faz ve porozite dağılımının tespitinde üreticiye sağladığı avantaj ve dezavantajlar ortaya koymuşlardır. Ayrıca yöntemin geliştirilmesine yönelik öneriler sunmuşlardır.

Head ve Buenfeld (2006), yapmış oldukları çalışmalarında sertleşmiş betonun grayscale geri saçılmış elektron görüntüleri için kompleks (multi-faz) doğal agrega partiküllerinin ara yüzey gözenek dağılımı ölçmek için bir yöntem sunmuşlardır.

Öncü vd. (2006), yapmış oldukları çalışmalarında beton numuneleri üzerinde görüntü işleme tekniği yardımıyla gözeneklik durumunu araştırmışlar, katkılı ve katkısız numunelerin sonuçları göz önüne alındığında, katkı maddesi kullanılarak üretilen betonlarda gözenekliğin daha düşük seyrettiğini belirtmişlerdir.

Sinha ve Fieguth (2006 a), yaptıkları çalışmalarında borulardaki çatlakları tespit etmek için istatistiksel bir filtre geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri filtre sayesinde çatlak algılama parametrelerinin etkilerini incelemişler ve çeşitli boru görüntülerinde sonuçlar sunmuşlardır.

Sinha ve Fieguth (2006 b), çalışmalarında parçalı gömülü boru görüntülerinin özelliklerinin ayıklanması ile kusurların sınıflandırılması için yapay sinir ağları ve bulanık mantık kavramları birleştiren yeni bir nöro-bulanık sınıflandırıcı önermişlerdir. K-NN karşılaştırmalı değerlendirme, bulanık K-NN, geleneksel geri yayılım ağı ve önerilen nöro-bulanık projeksiyon ağı sınıflandırıcılar gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri nöro-bulanık sınıflandırıcı, uyguladıkları ve test ettikleri beş sinir yöntemi arasında, sınıflandırma doğrulukları ile gerçek beton boru görüntülerde %90 civarında iyi bir performans sergilediğini belirtmişlerdir.

Sinha ve Fieguth (2006 c), yaptıkları çalışmalarında taranan yeraltı boru görüntülerinin otomatik analizi için sağlam ve verimli bir görüntü bölütleme algoritması sunmuşlardır. Algoritma bir dizi morfolojik işlemler izleyerek görüntü üzerinde ön işlemler uygulayarak yeraltı borularındaki boru çatlakları, delikler, birleşme yerleri, yan yüzeylerdeki ve çökmüş yüzeylerdeki hataların sınıflandırılmasında kullanmışlardır. Önerdikleri yöntemi, Kuzey Amerika'da büyük şehirlerdeki gömülü beton kanalizasyon borularından elde edilmiş beş yüz adet taranmış görüntü üzerinde test etmişler ve tamamen otomatik hale getirilebileceği önerisinde bulunmuşlardır.

Chang ve Lien (2007), yaptıkları çalışmalarında beton içindeki çelik çubukları tarafından oluşturulan genleşme gerilmelerinin farklı korozyon ve çatlak aşamalarını tahmin etmek ve karşılaştırmak için sayısal bir model kullanmışlardır. Uzun vadeli izlemede dijital görüntü işleme uygulamasının fizibilitesi çelik çubuk korozyonu ve genleşme gerilmesi ölçüsünü tutarlı sonuçlarla doğrulamışlardır.

Fang ve Labi (2007), yapmış oldukları çalışmalarında Kendi Kendine Yerleşen Beton'un (KKYB) kararlılığını (statik ayrışma direncini) Sertleşmiş Görsel Stabilitate

Endeksi (SGSE) açısından değerlendirmişlerdir. Geleneksel SGCE'den ziyade çalışmalarında geliştirdikleri ve otomatik KKYB'un kararlılığını değerlendirmek için bir metodoloji uygulamışlardır. Bunu birkaç adımda gerçekleştirmişlerdir. Beton numunelerinin görüntülerini ikili görüntülere çevirmişler, çimento hamurunu, agrega boyutlarını, harç tabakası kalınlığını tespit etmişler ve SGCE'yi türetmek için istatistiksel analiz kullanmışlardır. Algoritmalar ve her faz için geliştirilen standart kodlama dilleri kullanılarak uygulamışlardır. Yeni yöntemin doğruluğunu kontrol gözlemleri kullanılarak kontrol etmişler ve statik segregasyon dayanıklılık açısından KKYB'nın kararlılığını güvenilir bir değerlendirme sağladığını bulmuşlardır.

Nambiar ve Ramamurthy (2007), yaptıkları çalışmalarında köpük betonun yapısındaki hava boşluğu miktarının, beton mukavemetine ve yoğunluğuna etki eden parametreleri incelemişlerdir. Bu parametreleri geliştirmek için optik mikroskoba bağlı bir kamera ile görüntü analizi yapan bir program kullanmışlardır. Hava boşluklarının hacmi, büyüklüğü ve hava boşlukları arasındaki mesafenin mukavemet ve yoğunluğa etkisi olduğunu tespit etmişlerdir.

Özen (2007), çalışmasında agrega şekil parametreleri ve beton basınç dayanımı arasındaki ilişkileri dijital görüntü işleme ve analizi metotları kullanılarak incelemiştir. Elde ettiği dijital görüntülerden, basınç dayanımı ile olan ilişkilerinin incelenmesi amacıyla birçok agrega şekil parametresi hesaplamıştır. Elde ettiği sonuçlara göre, agrega tipi ve basınç dayanımı arasında güçlü bir korelasyon görülmesine karşın, agrega şekil parametreleri ve basınç dayanımı arasında zayıf korelasyonlar bulmuştur. Çalışmasında agrega şekil parametreleri ve beton dayanımı arasındaki ilişkilerin agregaların numune kesit yüzeyi içerisindeki dağılımlarının yaratacağı etkilerin de göz önüne alınarak tekrar incelenmesini önermektedir.

Park vd. (2007), yapmış oldukları çalışmalarında cilalanmış yüzeyli beton numunelerindeki hava boşluklarını ayırt etmek için görüntüyü işleyebilmek için tam otomatik bir görüntü analiz sistemi için etkili bir algoritma hazırlamışlardır. Önerilen algoritma agrega ve çimento hamurundan hava boşluklarını ayırt etmek için matematiksel morfoloji ve renkli görüntü işlemeyi benimsemektedir. Deneysel

sonuçlar önerilen algoritmanın tam otomatik görüntü analizi sistemi için uygulanabilir olduğunu göstermiştir.

Santos vd. (2007), çalışmalarında substrat yüzey pürüzlülüğü miktarının arayüz yapışma gücü ile arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Farklı pürüzlendirme teknikleri kullanarak örnek substrate yüzeyler hazırlamışlardır. Substrate yüzey pürüzlülük profillerini görüntü işlemeyle elde etmişlerdir. Çeşitli pürüzlülük parametrelerini bu profillere göre değerlendirmişler ve uygun yapışma gücü ile ilişkilendirmişlerdir.

Yu vd. (2007), çalışmalarında beton yapılar da güvenlik değerlendirmesinde çatlakların ölçümü ve kontrolü için objektif olarak veri alabilmek için bir sistem önermişlerdir. Önerdikleri sistem mobil bir robot sistemi ve bir çatlak tespit sisteminden oluşmaktadır. Mobil sistem duvar üzerinde hareket ettirilerek bir CCD kamera sayesinde veriler elde etmişlerdir. Çatlak tespit sistemi sayesinde görüntüyü işleyerek elde edilen görüntülerden çatlakları tespit etmişlerdir. Doğru atlak tanısını sağlamak için, geometrik ve çatlak desenine görüntü işleyerek rutin olarak bakmışlardır. Önerilen sistemin laboratuvar ve arazi deneyleri için uygun olduğunu görmüşlerdir.

Isa vd. (2008), yapmış oldukları çalışmalarında yapay sinir ağı kullanarak agrega partikülleri için akıllı bir sınıflandırma sistemi uygulamışlardır. Görüntü analizi ile elde edilen alan ve evre özelliklerini yapay sinir ağları için giriş verisi olarak kullanmışlardır.

Onat (2008), çalışmasında betonun kırılmadan önceki potansiyel davranışının görüntü işleme tekniklerini kullanarak (matlab programında hazırlamış olduğu yazılımla) incelemiştir. 50x10x10 cm. boyutunda dikdörtgen prizma seklinde lifli beton numuneleri hazırlamış ve daha sonra bu beton numunelerinin 28 günlük krden sonra üç noktalı eğilme deneyine tabi tutmuştur. Yüke karşılık gelen deplasman miktarlarını bir komparator yardımıyla lmştur. Ayrıca deneye tabi tutulan numuneleri yüksek znrlkl 10.3 MP CMOS diğital kamerası ile seri çekim yaparak görüntüler elde etmiştir. Bu görüntüleri Matlab programında kodlanan

yazılımla işlemiş ve ortaya çıkan deplasman miktarlarını aynı anda elde edilen komparator değerleri ile karşılaştırmıştır.

Ozturk ve Baradan (2008), çalışmalarında görüntü analiz sonuçları ile çimento harçlarının gözenek yapısı ve basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkiye belirlemek için matematiksel modeller geliştirmişlerdir. Gözenek yapısı ve basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Akçay vd (2009), çalışmalarında karma çelik lif donatılı kendiliğinden yerleşen betonlarda (KÇLDKYB) lif dağılımı incelemişlerdir. Kullandıkları liflerin beton içindeki yönelmeleri ve dağılımları görüntü analizi ile incelemişlerdir. Kullandıkları kimyasal katkı yardımıyla liflerin beton içinde herhangi bir bölgede kümelenmediğini görüntü analizleriyle belirlemişlerdir.

Chang vd. (2009), yaptıkları çalışmalarında üniform tek eksenli basınca maruz bırakılan ön gerilimli beton numune üzerindeki kalıcı gerilmeleri belirlemek için ayrıık dijital görüntü işleme ile fotoelastik kaplama ve delik delme sisteminden oluşan kombine bir sistem geliştirmişlerdir. Uygulanan gerilmenin büyüklüğünü hesaplamışlar ve beton numuneye başlangıçta uygulanan gerilme değerleri ile karşılaştırmışlardır.

Huon vd. (2009), çalışmalarında kızılötesi tomografi ve dijital görüntü korelasyonunu yarı-statik yükler altında harç, beton ve yüksek performanslı beton numunelerin mekanik davranışını analiz etmek için kullanmışlardır.

Kabir vd. (2009), çalışmalarında bir akustik izleyici kullanarak bir beton barajın dijital sondaj deliği görüntülerinden hasar tahmin etmedeki etkinliği değerlendirmek için çeşitli kenar algılama algoritmalarının yanı sıra istatistiksel tabanlı dönüşüm metotları kullanmışlardır. İstatistiksel tabanlı yaklaşımın akustik imgelerden hasar tespiti için en etkin yöntem olduğunu bulmuşlardır. Dikey çatlaklar, yatay çatlaklar, boşluklar, leke ve alt yapı hasarı gibi hasarları, görüntülerden hasar ölçmek için bir kümeleme tekniği kullanmışlardır.

Kılınçarslan vd. (2009), yapmış oldukları çalışmalarında değişik yoğunlukta betonlar üretmiş ve bu betonların röntgen filmlerini çekmişlerdir. Elde ettikleri görüntüleri görüntü işleme teknikleri kullanarak işlemişlerdir. Üretilen betonların kütleli zayıflatma katsayılarını teorik olarak hesaplamışlar ve görüntü işleme ile elde ettikleri sonuçlar ile karşılaştırmışlardır.

Lopez vd. (2009), çalışmalarında yüksek performanslı hafif betonda büzölme birim şekil değıştirmesi, sünme ve elastik doğasını incelemek için görüntü analizi ve birim şekil değıştirme haritalaması kullanmışlardır. Birim şekil değıştirme haritalaması ile düzgün olmayan deformasyonların mikro yapısal özellikleri ile ilgili olduğunu göstermişlerdir.

Özerkan (2009), çalışmasında Amerikan ve Avrupa standartlarını kullanarak betonun hava boşluğu parametrelerini belirlemek amacı ile beton yüzeyinin görüntü analizine dayandırılarak bir yazılım geliştirmiştir. Donma-çözülmenin farklı oranlarda uçucu kül ve hava sürükleyici katkı içeren kendiliğinden yerleşen beton üzerindeki etkisini değerlendirmek amacıyla kendiliğinden yerleşen betonlar üretmiştir. Araştırmasının sonucunda, hava sürükleyici katkı ilave edilmesinin akışkanlığı arttırdığı ve uçucu kül miktarı artışının hava sürükleyici etkisini azalttığı sonucuna ulaşmıştır. Diğer taraftan, görüntü analizi sırasında, yüzey hazırlama prosedürünün görüntü analizinin kalitesin üzerinde çok önemli etkisi olduğu gözlemlenmiştir.

Akkurt vd. (2010), yapmış oldukları çalışmalarında malzemelerin radyasyon koruyucu özelliklerinin test etmek için alternatif bir yöntem öne sürmüşlerdir. Üç farklı beton ve kurşunun röntgen film görüntülerinden kütle zayıflatma katsayısını tahmin etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları Xcom'u kullanarak elde edilen hesaplama ile karşılaştırmışlardır.

Chang vd. (2010), yapmış oldukları çalışmalarında dijital görüntü işleme yardımıyla korozyon sonucu meydana gelen ilk çatlama ve kısmi çatlama aşamalarında ölçülen genleşme gerilme dağılımını incelemişlerdir. Tahminler, deneysel tahminler ve

sayısal sonuçların karşılaştırılması sonucunda kullandıkları yöntemin doğru olduğunu görmüşlerdir.

Sinecen ve Makinacı (2010), çalışmalarında agregaların temel şekil özelliklerini kullanılarak yapay sinir ağları yardımıyla sınıflandırma çalışması yapmışlardır. Görüntü işleme ve yapay sinir ağlarının agrega özelliklerinin tespiti ve ayrımı için etkili yöntemler olduğunu ve agrega ocaklarındaki otomasyon sistemlerinin bu tarz yaklaşımlar ile verim, maliyet ve zaman faktörlerini etkileyeceğini belirtmişlerdir.

Zhu ve Brilakis (2010), çalışmalarında makine öğrenme tekniklerini kullanarak beton malzeme bölgelerinin saptanması için yeni bir yöntem sunmuşlardır. Her bir şantiye görüntüsünü ilk görüntü segmentasyonu ile bölgeye ayırmışlardır. Daha sonra, her bölgenin görsel özelliklerini hesaplamışlar ve ön eğitilmiş sınıflandırıcı ile sınıflandırmışlardır. Manuel sınıflandırma ile kullandıkları yöntemi karşılatırmışlar ve yönetimin geçerli olduğunu görmüşlerdir.

Barbosa vd. (2011) yapmış oldukları çalışmalarında, görüntü işleme tekniği kullanarak hafif agregaların beton içerisindeki segregasyonunu incelemişlerdir. Ayrıca, beton içerisindeki agrega dağılımına göre betonların sınıflandırılması için bir indeks önermişlerdir. Beton örnekleri üzerinde yapılan homojenlik testlerinin agrega dağılımının değerlendirilmesinde uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Chen vd. (2011) çalışmalarında makro led ışık kaynağı ile DSLR bir fotoğraf makinesi kullanarak hafif ve orta düzeyde çatlamış 11 adet beton yüzeyinden görüntüler almışlardır. Beton yüzeyleri açılı ve dik şekilde aydınlatmışlardır. Gri seviye eş-oluşum matrisi özelliklerinden dokusal özellikler belirlemişlerdir. Yapay sinir ağı sınıflandırıcısı ile COTS dijital görüntüleme kullanarak hızlı bir şekilde beton çatlaklarını değerlendirmişler ve % 94 oranında yüksek bir ilişki bulmuşlardır.

Çomak vd. (2011), çalışmalarında görüntü işleme tekniklerinin inşaat teknolojisinde kullanım potansiyeli araştırılmışlardır. Görüntü işleme tekniklerini kuramsal temelleriyle tanımlanmışlar ve inşaat mühendisliği alanında, özellikle beton

teknolojisi araştırmalarında kullanımı üzerine yurtiçi ve yurtdışında yapılan bilimsel çalışmalarla geniş ve güncel bir literatür taraması yapmışlardır.

Fujita ve Hamamoto (2011) yaptıkları çalışmalarında, beton yüzey görüntülerinden otomatik olarak çatlak tespiti yapan bir yöntem önermişler ve önerdikleri yöntemin doğruluğunu 60 tane gerçek beton yüzeyi görüntü kullanarak değerlendirmişlerdir.

İsa vd. (2011), yapmış oldukları çalışmalarında gerçek zamanlı yapay görme, akıllı sınıflandırma ve veri tabanı sisteminden oluşan NeuralAgg olarak adlandırdıkları akıllı gerçek zamanlı bir sınıflandırma sistemi geliştirmişlerdir.

Kang vd .(2011) çalışmalarında fiberlerin dağılım, yerleştirme yönleri özellikleri ile birlikte elik lif takviyeli yüksek dayanımlı betonların eğilme mukavemeti üzerine etkisini araştırmak için kendi geliştirdikleri görüntü işleme tekniklerini kullanmışlardır. Kullandıkları görüntü işleme tekniği ile fiber dağılım katsayısı bularak fiber dağılım özelliğini değerlendirmişlerdir.

Nishikawa vd. (2012), yaptığı çalışmasında genetik programlama kullanarak beton yapıların yüzey görüntülerinden çatlakları tespit edebilmek için yeni bir otomatik görüntü işleme yöntemi sunmuştur.

Barbosa vd. (2012), çalışmalarında bir görüntü işleme tekniği aracılığıyla sertleşmiş betonlardaki agregaların tanecik boyutu dağılımı değerlendirmek için bir araç sunmuşlardır.

Başyiğit vd. (2012 a), yapmış oldukları çalışmalarında görüntü işleme yöntemi kullanarak elde ettiği sonuçlar ile üretmiş oldukları betonların basınç dayanımları arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Kullanmış oldukları görüntü işleme tekniği ile beton içerisindeki agrega ve imento matrisi yüzdelerinin elde edile bildiği sonucuna varmışlardır. Elde ettikleri değerleri kullanarak betonların basınç dayanımlarını yüksek bir oranda tespit edebilmişlerdir.

Başığit vd. (2012 b), çalışmalarında görüntü işleme tekniği kullanılarak farklı beton sınıflarının basınç dayanımlarını tahmin etmeye çalışmışlardır. Bir görüntü işleme yazılımı geliştirmişler ve açık kaynak kodlu olan ImageJ görüntü işleme programı ile de elde edilen sonuçları karşılaştırmışlardır. Geliştirdikleri yazılımın beton basınç dayanımı tahmininde kullanılabileceği sonucuna varmışlardır.

Valença vd. (2012) yapmış oldukları çalışmalarında, otomatik olarak beton çatlaklarını karakterize etmek amacıyla dijital görüntü işleme yöntemi kullanarak MCRACK isminde yenilikçi bir yöntem geliştirmişlerdir. Yöntemin avantajlarını incelemek için geleneksel yöntemlerle karşılaştırmışlardır.

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

Bilindiği gibi karışım içerisindeki çimento miktarı arttıkça beton basınç dayanımı da artmaktadır, bununla birlikte çimento miktarının artması sonucunda beton görüntülerindeki gri renk değerlerinin artması beklenmektedir. Bu savdan yola çıkarak hazırlanan beton numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri yapılmış ve benzer karışıma sahip beton numuneler üzerinde görüntü işleme yöntemleri kullanılmıştır.

Görüntü işleme yöntemi kullanarak elde edilen sonuçlar ile hem beton basınç dayanımları arasındaki ilişkiler irdelenmiş hem de tahribatlı ve tahribatsız deney yöntemlerine yardımcı bir yöntem olarak görüntü işlemenin kullanılıp kullanılmayacağı tespit edilmeye çalışılmıştır. Ayrıca görüntü işleme tekniği ile beton içerisindeki agrega ve çimento matrisi yüzdelerini elde edilmeye çalışılmıştır.

3.1. Agrega

Çalışmada Isparta Gümüşgün Kasabası sınırları içerisinde yer alan kırma taş tesisinden elde edilen kırma taş agregası kullanılmıştır. Kırmataş tesisinden 0-2 mm, 2-4 mm, 4-18 mm ve 8-16 mm olmak üzere dört ayrı grupta $D_{max}=16$ olacak şekilde beton dökmeye uygun vaziyette temin edilmiştir.

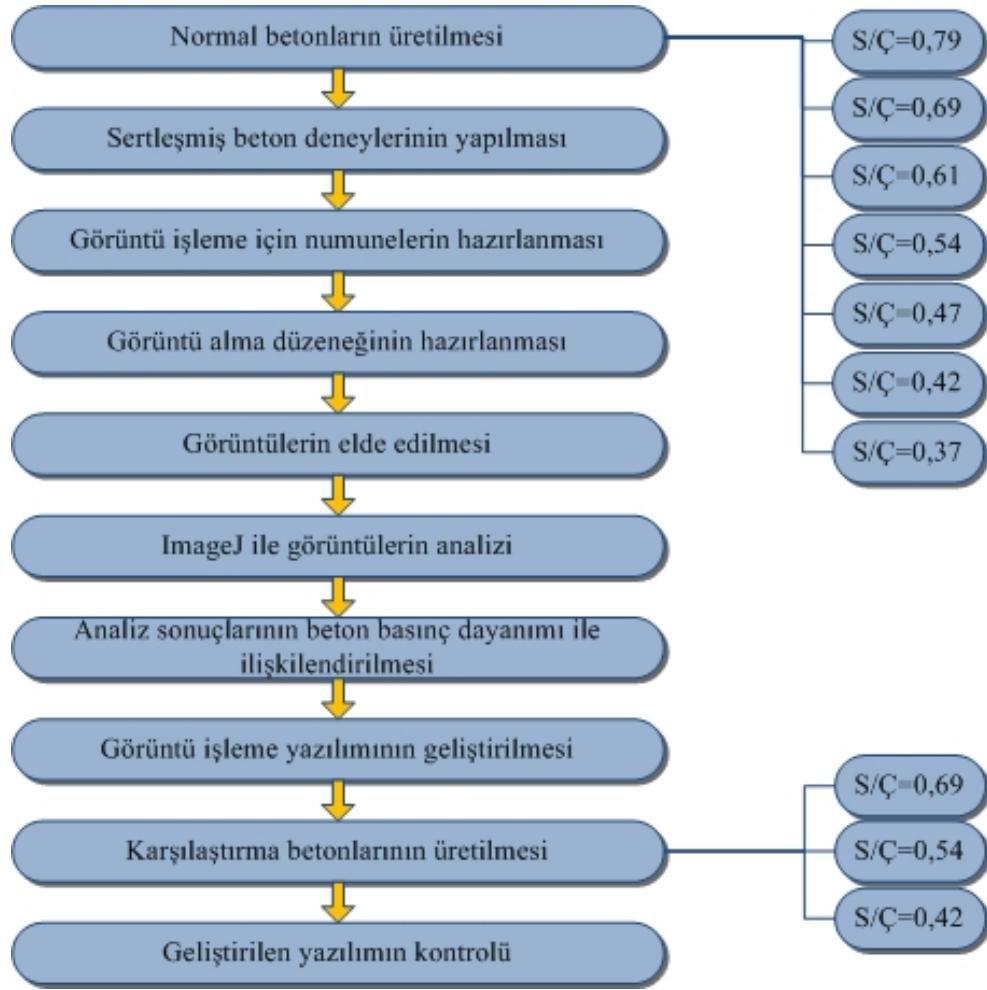
3.2. Çimento

Beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak CEM I 42,5 R tipi çimento kullanılmıştır.

3.3. Su

Yapılan bu deneysel çalışmada Düzce Belediyesi şehir şebekesinden elde edilen içme suyu kullanılmıştır.

Çalışma Şekil 3.1' deki akış şemasına göre yapılmıştır.



Şekil 3.1. Çalışma akış şeması

3.4. Normal Betonların Üretilmesi

S/Ç oranı, 0,79 - 0,37 arasında olmak üzere 7 farklı oran kullanılarak betonlar üretilmiştir. Hazırlanan taze betonlar, 100x100x100 mm boyutlarındaki küp kalıplara titreşim tablasında vibrasyon uygulanarak dökülmüştür. TS 802 (TSE, 2009) 'de belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınarak 1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak beton bileşenlerinin miktarları Denklem 3.1' e göre hesaplanmıştır.

$$\frac{\zeta}{p_{\zeta}} + \frac{p}{p_p} + \frac{k}{p_k} + W_s + \frac{W_a}{p_a} + 10xA = 1000 dm^3 \quad (3.1)$$

Burada;

ζ : Karışıma girecek çimentonun kütlesi (kg),

p : Karışım da çimentoya ilâve olarak kullanılacak mineral katkı (puzolan) miktarı (kg),

k : Karışım da kullanılacak kimyasal katkı miktarı (kg),

p_{ζ} : Çimentonun yoğunluğu (kg/dm³),

p_p : Mineral katkı (puzolan) malzemenin yoğunluğu (kg/dm³),

p_k : Kimyasal katkının yoğunluğu (kg/dm³),

W_s : Karışıma girecek suyun hacmi (dm³),

W_a : Karışıma girecek agreganın miktarı (kg),

p_a : Agreganın ortalama özgül kütlesi (g/cm³) veya (kg/dm³),

A : Betondaki toplam hava miktarı (%)

Beton karışım hesabına göre her seri için 1 m³ betonda bulunan malzeme miktarları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. 1 m³ betonda bulunan teorik malzeme miktarları

Kod	Su		S/Ç	Çimento		Agrega 0-2 mm		Agrega 2-4 mm		Agrega 4-8 mm		Agrega 8-16 mm		Hava
	kg/m ³	%		kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	kg/m ³	%	
N1	222	22,2	0,79	281,0	9,1	550,1	19,9	183,4	6,6	540,1	19,9	540,1	19,9	2,3
N2 K1	222	22,2	0,69	321,7	10,4	539,2	19,5	179,7	6,5	529,4	19,5	529,4	19,5	2,3
N3	222	22,2	0,61	363,9	11,7	527,9	19,1	176,0	6,4	518,4	19,1	518,4	19,1	2,3
N4 K2	222	22,2	0,54	411,1	13,3	515,3	18,7	171,8	6,2	506,0	18,7	506,0	18,7	2,3
N5	222	22,2	0,47	472,3	15,2	499,0	18,1	166,3	6,0	489,9	18,1	489,9	18,1	2,3
N6 K2	222	22,2	0,42	528,6	17,1	484,0	17,5	161,3	5,8	475,2	17,5	475,2	17,5	2,3
N7	222	22,2	0,37	600,0	19,4	464,9	16,8	155,0	5,6	456,5	16,8	456,5	16,8	2,3

Her seri beton için dörder adet küp beton numunesi üretilmiş bunun üçer adedi 28 günlük basınç dayanımı, bir adedi ise kesit görüntülerinin alınabilmesi için kullanılmışlardır. Üretilen betonlar standartlara uygun olarak üretilmiş olup, numuneler deneylerin yapılacağı güne kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Üretilen betonlar Şekil 3.2’ de görülmektedir.



Şekil 3.2. Üretilen betonların görüntüsü

3.5. Sertleşmiş Beton Deneylerinin Yapılması

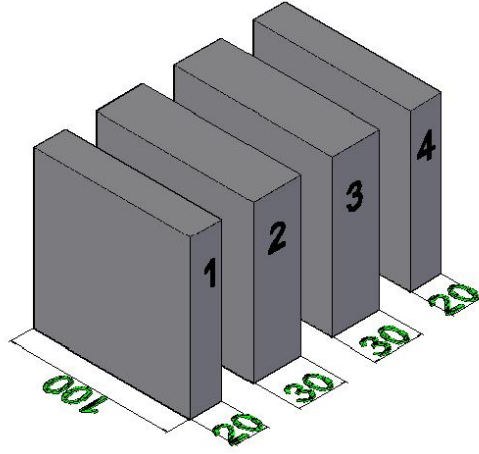
Sertleşmiş betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla Çizelge 3.2’ de belirtilen deneyler ilgili standartlara göre yapılmıştır.

Çizelge 3.2. Sertleşmiş betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılan deneyler

Deney İsmi	Standardı
Tek Eksenli Basınç Dayanımı	TS EN 12390-3 (TSE, 2003)
Ultrases Geçiş Hızı	ASTM C 597 (ASTM, 1998)
Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini	TS EN 12390-7 (TSE, 2010).
Beton Yüzey Sertliği ile Basınç Dayanımı	TS EN 13791(TSE, 2010)

3.6. Görüntü İşleme İçin Numunelerin Hazırlanması

100x100x100 mm boyutlarındaki beton numuneleri Şekil 3.3’de verilmiş ölçülerde markalama işlemi yapılmıştır. Markalama yapılmış numuneler karot baş kesme makinesinde sulu kesim yapılarak parçalara ayrılmıştır (Şekil 3.4). Bu sayede her numunedan 4 adet parça elde edilmiştir. 1 ve 4 nolu parçaların kesim yüzeyinden birer, 2 ve 3 nolu parçaların yüzeylerinden ise ikişer yüzeyi olmak üzere toplamında 6 yüzey elde edilmiştir. Kesim işlemi beton döküm yönüne dik doğrultuda yapılmıştır.



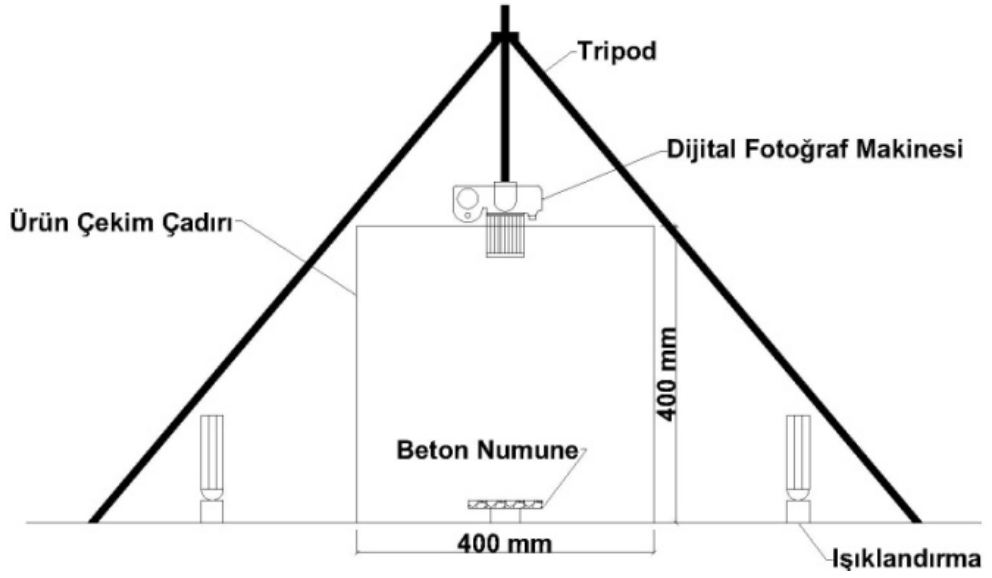
Şekil 3.3. Beton numunelerinin kesim ölçüleri (ölçüler mm'dir)



Şekil 3.4. Karot baş kesme makinesi

3.7. Görüntü Alma Düzenəğinin Hazırlanması

Kesit yüzeylerinin dijital görüntülerini elde etmek için tripod, CanonEOS450D Dijital fotoğraf makinesi, ürün çekim çadırı ve ışıklardan oluşan aşağıdaki sistem oluşturulmuştur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Dijital görüntü alabilmek için oluşturulan düzenek

3.8. Görüntülerin Elde Edilmesi

Kesilen beton yüzeyleri Şekil 3.5’de görülen düzenek yardımıyla, 12.2 megapiksel çözünürlükteki dijital kamera sayesinde görüntüleri elde edilmiştir. Su içinden çıkarılan numunelerin yüzeyi kurutulduktan sonra 4272x2848 piksel boyutunda RGB renk modunda jpg uzantılı görüntüleri alınmıştır. Beton numuneler üzerinde yapılan çekimlerin tümü, örnek yüzeyden aynı yükseklikte ve aynı ışık ortamında yapılmıştır. Elde edilen görüntüler bilgisayar ortamına aktarılmış olup beton serilerine göre adlandırılarak bilgisayar ortamında saklanmıştır.

3.9. ImageJ Programının Genel Özellikleri

ImageJ, Macintosh için NIH Image tarafından geliştirilmiş herkesin kullanımına açık Java tabanlı görüntü işleme yazılımıdır. Yazılım üzerinde Java 1.1 veya üzeri Java Sanal Makinesi bulunduran herhangi bir bilgisayarda bir applet veya bir uygulama olarak çalıştırılabilir. Uygulama dağıtımları Windows, Mac OS, Mac OS X ve Linux işletim sistemleri için mevcuttur (Edizer, 2006).

Yazılım 8, 16 ve 32 bitlik imajları görüntüleme, düzenleme, analiz, işleme, kayıt etme ve yazdırma işlemlerini yapabilir. TIFF, GIF, JPEG, BMP, DICOM, FITS ve ham resim formatlarını okuyabilir. Tek bir pencerede birçok görüntüyü barındıran yığın imajları destekler. Eş zamanlı çalışmayı destekler, bu sayede imaj okuma gibi yoğun zaman harcayan işlemler paralel olarak yürütülebilir. Yazılım kullanıcı tanımlı, alan ve piksel değerleri istatistiklerini hesaplayabilir; uzaklıkları ve açıları ölçebilir. Yoğunluk histogramları ve çizgi profil planları yaratabilir. Günümüzde standart olarak kullanılan kontrast, keskinlik, yumuşatma, kenar belirleme ve medyan filtreleme fonksiyonlarını destekler (Edizer, 2006).

Ölçeklendirme, döndürme gibi geometrik dönüşümleri yapabilir. İmajlar 32:1'e 1:32'e kadar yakınlştırılabilir. Herhangi bir büyütme faktöründe tüm analiz ve işleme fonksiyonları kullanılabilir. Yazılım kullanılan hafıza ile limitli olarak sınırsız sayıda imajı eşzamanlı olarak destekler (Edizer, 2006).

Gerçek dünya boyut ölçümleri yapabilmek için uzamsal kalibrasyon mevcuttur. Ayrıca yoğunluk ve gri derece kalibrasyonu da mevcuttur. IMAGEJ Java eklentileri ile geliştirilmeye yönelik olarak açık mimari yapıda dizayn edilmiştir. IMAGEJ içinde bulunan editör ve Java derleyicisi kullanılarak kişisel edinti, analiz ve işleme eklentileri geliştirilebilir. Kullanıcı tarafından yazılan bu eklentiler görüntü işleme ve analiz problemlerini çözülebilir kılmaktadır (Edizer, 2006).

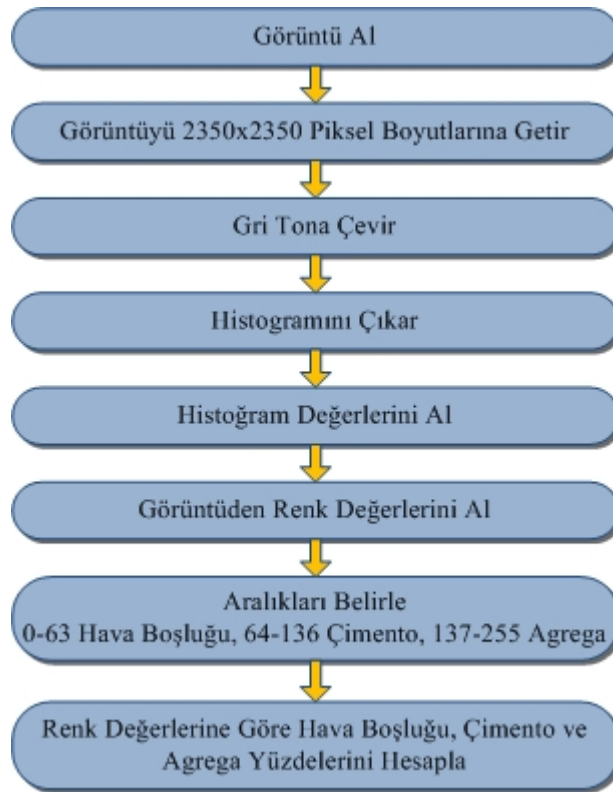
IMAGEJ bir Mac OS X sistemi editörü ve Java derleyicisi ile BBEdit editörü ve Ant yapı aracı ile geliştirilmiştir. Kaynak kodu serbest bir şekilde elde edilebilir. Program Wayne Rasband (wayne@codon.nih.gov), Research Services Branch, National Institute of Mental Health, Bethesda, Maryland, USA tarafından yazılmıştır (Edizer, 2006).

Görüntü işleme işlemleri internet üzerinden ücretsiz olarak elde edilebilen ve açık kaynak kodlu olan IMAGEJ bilgisayar yazılımı ve eklentileri kullanılmak suretiyle yapılmıştır. IMAGEJ yazılımı Java programlama dili ile yazılmış, herkesin erişebileceği ve programlama kodları üzerinde değişiklikler yapabileceği bir

yazılımdır. Ücretsiz olarak sunulan yazılım özellikle mikro-biyoloji ve uzaktan görüntüleme sistemleri içinde kullanılmaktadır. <http://rsb.info.nih.gov/ij/> internet sitesi üzerinden yazılımın yeni sürümleri ve güncel bilgileri elde edilebilir (Edizer, 2006).

3.10. ImageJ Programı Kullanılarak Beton Görüntülerinin İşlenmesi

Bilgisayara kaydedilen görüntüler IMAGEJ Versiyon 1.45s yazılımı bünyesinde ilgili yöntem ve hesaplarla değerlendirilmiştir. Özellikle ImageJ programı mikro-biyoloji ve uzaktan görüntülenme sistemleri için kullanılmaktadır. Ancak bu program tek başına beton basınç dayanımı tahmin edebilecek bir algoritmaya sahip değildir. Bu nedenle çalışmanın bu bölümünde ImageJ programından elde edilen görüntülerin histogram değerlerinden faydalanılmış ve beton basınç dayanımı tahmini için ekstra hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bu aşamaların işlem basamakları ve uygulanan analizler Şekil 3.6’ da verilmiştir.

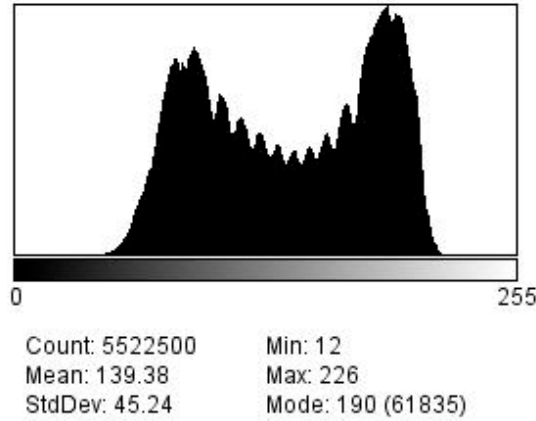


Şekil 3.6. Şematik olarak görüntü işleme basamakları

Elde edilen kesit görüntüleri ön işleme tabi tutularak, açık kaynak kodlu olan ImageJ programı sayesinde görüntü boyutları 2350x2350 piksel boyutlarına getirilmiştir.

Görüntüler ilk önce RGB renk modundan 8 bit'lik gri tonlara dönüştürülmüştür. Gri seviyeli görüntüler farklı gri ton değerlerinden ($G=\{0,1,2,\dots,255\}$) oluşur. Bunun anlamı şudur: Bir görüntüde 256 tane farklı ton değeri bulunur. Burada 256 gri değer bir byte olarak tanımlanır (1 Byte=8 Bit ve $2^8=256$). 0 değeri kural olarak siyah renge, 255 değeri ise beyaza karşılık gelir. Bu değerler arasında ise gri tonlar oluşur.

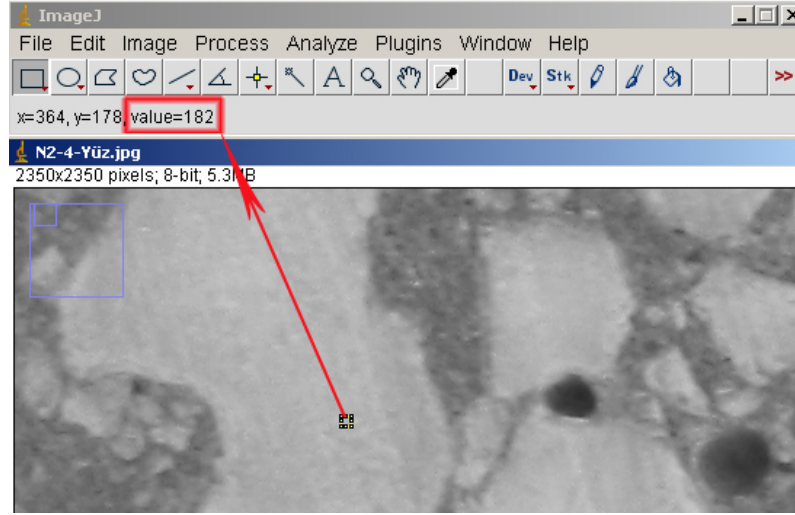
Gri tona çevrilmiş görüntülerin daha sonra görüntü üzerindeki piksellerin değerlerinin grafiksel ifadesi olan histogramları çıkarılmıştır. Görüntü histogramı, görüntünün her bir noktasındaki piksellerin tespiti ile bu piksellerin sayısının ne olduğunu göstermektedir. Bu sayede histogram üzerinden görüntü ile ilgili çeşitli bilgilerin çıkartılması sağlanmaktadır (Öncü, 2006). Şekil 3.7'de N7 beton serisine ait bir histogram değeri verilmiştir.



Şekil 3.7. N7 serisine ait betondan elde edilen histogram

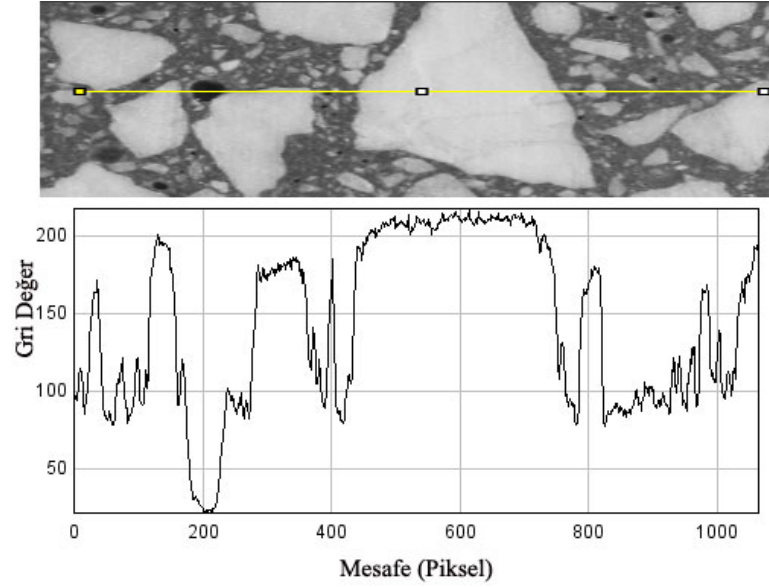
Histogram sayesinde renk değerlerinin dağılımı elde edilmiş olup hangi renk değerinde kaç adet olduğu tespit edilmiştir. ImageJ sayesinde seçilen herhangi bir renk değeri Şekil 3.8'de görülmektedir. Bu sayede agregaların renk değeri, çimento

matrisinin renk değeri ve hava boşluğunun renk değerlerinin aldığı değerler elde edilmiştir.



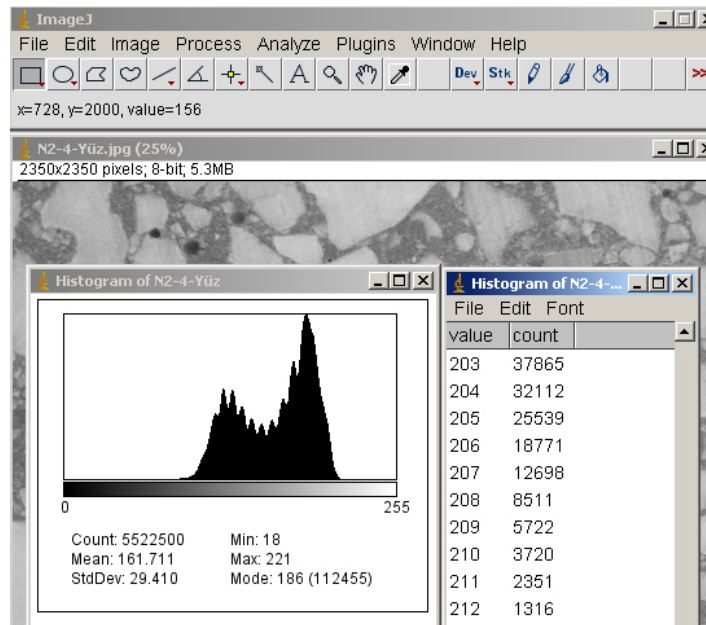
Şekil 3.8. Renk değerlerinin elde edilmesi

Her ne kadar ImageJ programı ile 1 piksellik alanların değerleri tek tek belirlense de çimento, agrega ve hava boşluğu için gri ton değerleri tespit edilmesi zaruridir. Bu nedenle görüntüler üzerinden rastgele olacak şekilde 1 piksel kalınlığındaki bir çizgi boyunca her bir piksele düşen gri ton değerleri belirlenmiş ve Şekil 3.9’da görüldüğü gibi sınır değerler hava boşluğu, çimento matrisi ve agregaya ait sınır değerler tespit edilmiştir.



Şekil 3.9. 1 piksel kalınlığındaki çizgi boyunca her bir piksele düşen gri ton değeri

Görüntüler 2350x2350 piksel boyutunda olduğundan 2350 satır 2350 sütundan oluşan bir matristen oluştuğuna göre toplamında 5522500 piksellik bir görüntü elde edilmiş olur. Histogramları elde edilmiş görüntüler sayesinde 0 ile 255 arasındaki renk değerlerinin kaçar adet olduğu ImageJ programı sayesinde tespit edilmiştir (Şekil 3.10)



Şekil 3.10. Histogramdan renk değerlerinin adetinin bulunması

Çimento miktarı ve çeşidi, agregâ kökeni, kullanılan kimyasal veya mineral katkıları ve boya pigmenti kullanımı gibi beton rengini etkileyen çeşitli faktörler bulunmaktadır. Piyasada bulunan çimentolar gerek çimento üretim tekniklerinden gerekse çimento ham maddesinden kaynaklanan nedenlerle farklı renklerde olabilmektedir. Agregalar ise, agreganın kökenine, içerdikleri minerallere ve maden oksitlere bağlı olarak açık veya koyu renkte olabilmektedirler. Bu çalışmada eşik değerler çimento ve agreganın almış olduğu gri değerlere göre belirlenmiştir. Bu eşik değerinin betonu oluşturan malzemelere (agrega tipi ve kökeni, çimento türü, kimyasal katkıları) bağlı olarak değişebilir olduğu unutulmamalıdır.

3.11. Analiz Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımı İle İlişkilendirilmesi

Görüntü işleme yöntemiyle elde edilen sonuçlar ile üretilen betonların basınç dayanımları arasındaki ilişkiler bu bölümde irdelenmiştir. Elde edilen bulgulara göre regrasyon tekniği sayesinde çimento matrisi, agregâ, hava boşluğu gibi parametreler tek başına ya da bir arada değerlendirilmiş lineer ve nonlineer denklem takımları ile beton basınç dayanımları tahmin edilmeye çalışılmıştır.

3.12. Görüntü İşleme Yazılımının Geliştirilmesi

Görüntü işleme yöntemi ile beton basınç dayanımı arasında elde edilen ilişkilerden yararlanılarak C# programlama dilinde, Visual Studio 2010 programı kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Geliştirilen yazılım sayesinde, beton kesit yüzeyinden elde edilen görüntülerden agregâ, çimento matrisi ve hava boşluğu yüzdeleri tespit edebilmekte ve bu verilere göre beton basınç dayanımı tahmin edilmektedir. Geliştirilen yazılım, daha sonra kontrol betonları dökülerek, elde edilen kesit görüntüleri sayesinde program test edilmiştir.

3.13. Geliştirilen Yazılımın Test Edilmesi

Hazırlanan yazılımın performansı iki aşamalı olarak test edilmiştir. Birinci aşamada ImageJ ile hazırlanan yazılımın sonuçları karşılaştırılmıştır. Yazılımın test edilmesi amacıyla ayrıca üç seri beton dökülmüş ve bu betonların deneysel basınç dayanımları ile yazılım sayesinde elde edilen tahmini basınç dayanım sonuçları karşılaştırılmıştır. S/Ç oranı 0.69, 0.54 ve 0.42 olmak üzere 3 farklı S/Ç oranı kullanılarak betonlar üretilmiştir. Hazırlanan taze betonlar, 150x150x150 mm boyutlarındaki kalıplara vibrasyon tablasında vibrasyon uygulanarak dökülmüştür. TS 802 (TSE, 2009)'de belirtilen karışım suyu ve hava miktarları alınarak 1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak beton bileşenlerinin miktarları (bkz.) Denklem 3.1'e göre hesaplanmıştır. Beton karışım hesabına göre her seri için 1 m³ betonda bulunan malzeme miktarları N2, N4 ve N6 serisindeki betonlarla aynıdır (Bkz Çizelge 3.1). Betonlar K1, K2 ve K3 olarak kodlanmıştır.

Her seri beton için dörder adet küp beton numunesi üretilmiş bunun üçer adedi 28 günlük basınç dayanımı, birer adedi ise kesit görüntülerinin alınabilmesi için kullanılmışlardır. Üretilen betonlar standartlara uygun olarak üretilmiş olup, numuneler deneylerin yapılacağı güne kadar kür havuzunda bekletilmiştir. Üretilen karşılaştırma betonları üzerinde betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla (bkz) Çizelge 3.2'de belirtilen deneyler ilgili standartlarına göre yapılmıştır.

150x150x150 mm boyutlarındaki beton numuneler 30 mm aralıklarla markalanmış ve karot baş kesme makinesinde sulu kesim yapılarak 5 parçaya ayrılmıştır. 1 ve 5 nolu parçaların kesim yüzeyinden birer, 2, 3 ve 4 nolu parçaların ikişer yüzeyi olmak üzere toplamda 8 yüzey elde edilmiştir. Kesim işlemi beton döküm yönüne dik doğrultuda yapılmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Agregalara Ait Sonuçlar

Beton üretiminde kullanılan agregaların özellikleri Çizelge 4.1’de gösterilmiştir (TSE, 2009).

Çizelge 4.1. Beton üretiminde kullanılan agregaların özellikleri

Özellikler (TS 706 EN 12620+A1)	0/4 mm Kategorisi	5,6/11,2 mm Kategorisi	5,6/22,4 mm Kategorisi
Tane Sınıfı	G _F 85	G _C 85/20	G _C 85/20
Çok İnce Malzeme Muhtevası	f ₁₆	f ₄	f ₄
Asitte Çözülebilir Sülfat Muhtevası	AS _{0,2}	AS _{0,2}	AS _{0,2}
Yassılık İndeksi Kategorisi	-	FL ₂₀	FL ₂₀
Parçalanmaya Karşı Direnç Kategorisi	-	LA ₃₀	LA ₃₀
Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnç	-	MS ₁₈	MS ₁₈

Beton üretiminde kullanılan agreganın yeterlilik belgesi Ek1’de verilmiştir.

4.2. Çimentoya Ait Sonuçlar

Beton üretiminde bağlayıcı madde olarak CEM I 42,5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. CEM I 42,5 R Çimentosuna ait fiziksel ve mekanik özellikler

Bileşenler	CEM I 42,5 R
SiO ₂ (S)	20,52
Al ₂ O ₃	4,33
Fe ₂ O ₃	3,78
CaO (C)	64,77
MgO (M)	1,26

Çizelge 4.2 (devam)

SO ₃		2,30
Cl ⁻		0,0078
Na ₂ O		0,23
K ₂ O		0,54
Kızdırma kaybı		1,50
Serbest kireç		1,19
Çözünmeyen kalıntı		0,55
Blaine inceliği, cm ² /g		3444
Özgül ağırlık, g/cm ³		3,16
Kıvam (su/çimento, %)		27,1
90 µm elek bakiye, %		0,3
45 µm elek bakiye, %		12,7
Priz süresi, dakika	Başlangıç	185
	Bitiş	236
Basınç dayanımı (MPa)	2 gün	26,4
	7 gün	44,8
	28 gün	60,5

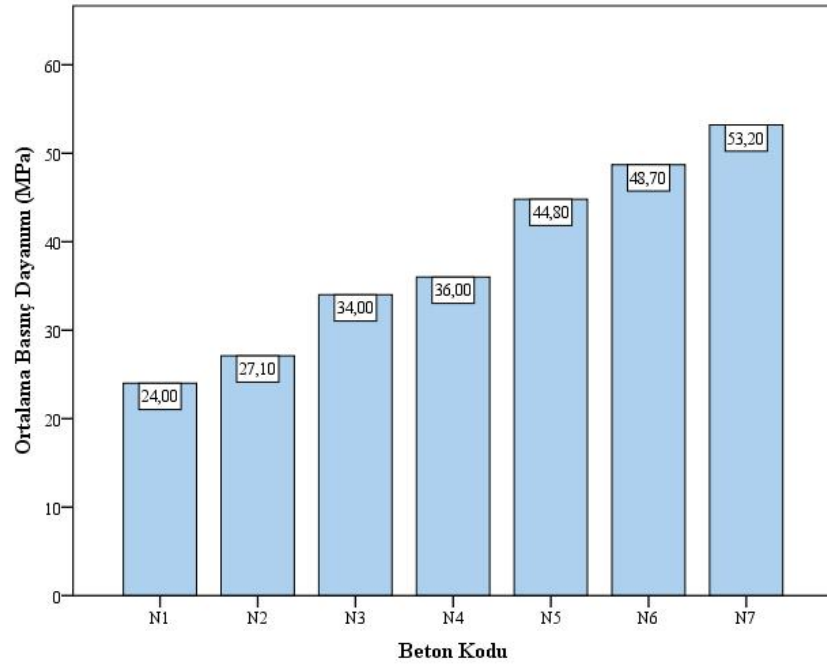
4.3. Betonlara Ait Sonuçlar

N serisi betonlara ait deney sonuçları Çizelge 4.3’ de verilmiştir.

Çizelge 4.3. N serisine ait sertleşmiş beton deneyleri sonuçları

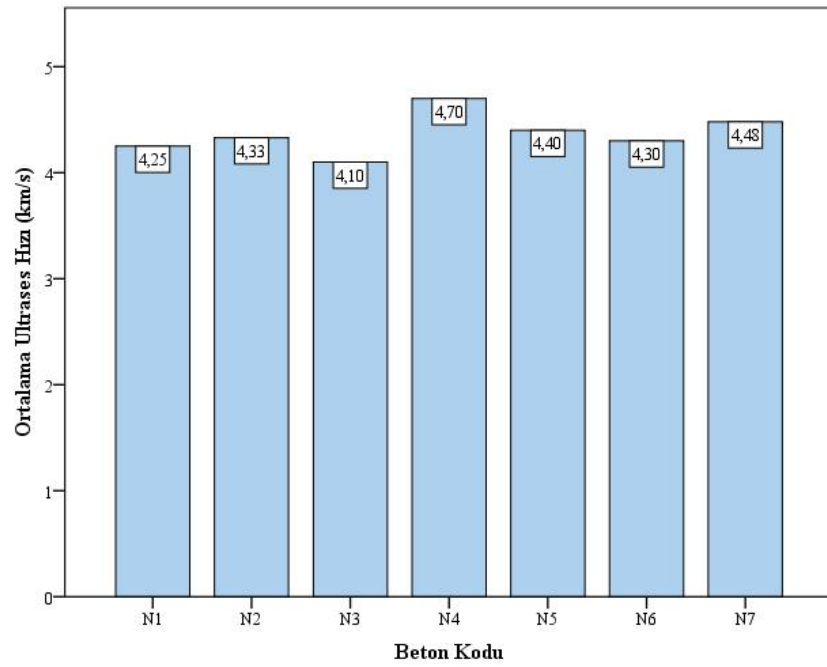
Beton Kodları	S/Ç	Basınç Dayanımı (MPa)	Ort. Ultra ses hızı (km/s)	Gör. Özgül ağırlığı (kg/dm ³)	Su emme (%)	Ort. Schmidt sertlikleri	Porozite (%)
N1	0,79	24,0	4,25	2,57	5,18	15,53	11,75
N2	0,69	27,1	4,33	2,57	5,29	17,55	11,95
N3	0,61	34,0	4,10	2,56	4,58	19,55	10,31
N4	0,54	36,0	4,70	2,53	4,38	19,80	9,96
N5	0,47	44,8	4,40	2,52	4,04	20,73	9,24
N6	0,42	48,7	4,30	2,52	4,00	22,78	9,14
N7	0,37	53,2	4,48	2,51	3,49	24,63	8,04

Şekil 4.1’de N serisine ait betonların 28 günlük ortalama basınç değerleri görülmektedir. Şekil 4.1 incelediğinde, S/Ç oranı azaldıkça betonların basınç dayanımının arttığı gözlenmektedir.



Şekil 4.1. N serisi betonların 28 günlük ortalama beton basınç dayanımları

Şekil 4.2 'de betonlara ait ultrases geçiş süresi deney sonuçları görülmektedir.



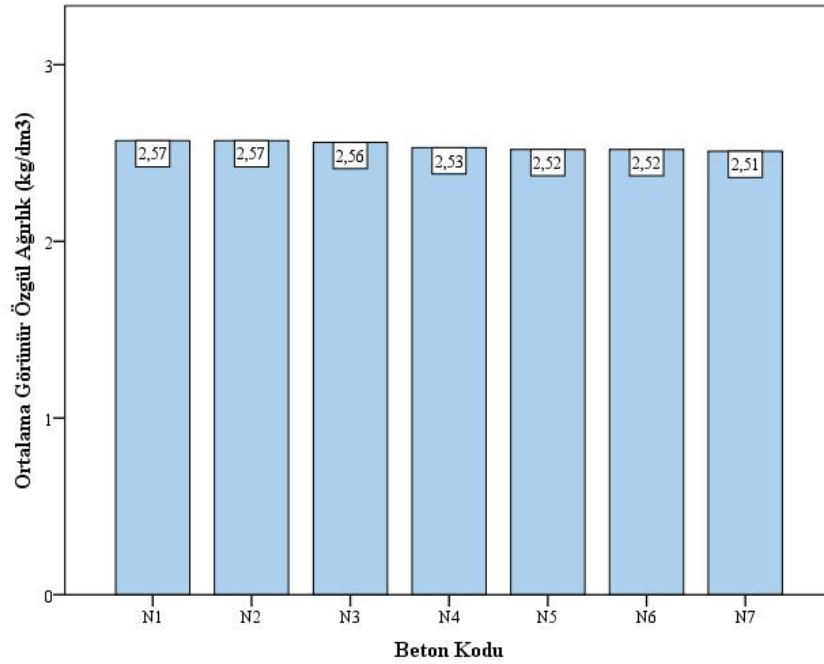
Şekil 4.2. N serisi betonların ortalama ultrases geçiş süresi değerleri

Şekil 4.2 incelendiğinde N4 kodlu betonun kalitesi mükemmel, diğer betonların kalitesi ise iyi olduğu görülmektedir. Çizelge 4.4’de ses hızı ile beton kalitesini tahmin edilmesinde kriterler verilmiştir (Şimşek, 2010).

Çizelge 4.4. Ses hızı ile beton kalitesinin tahmin edilmesi (Şimşek, 2010)

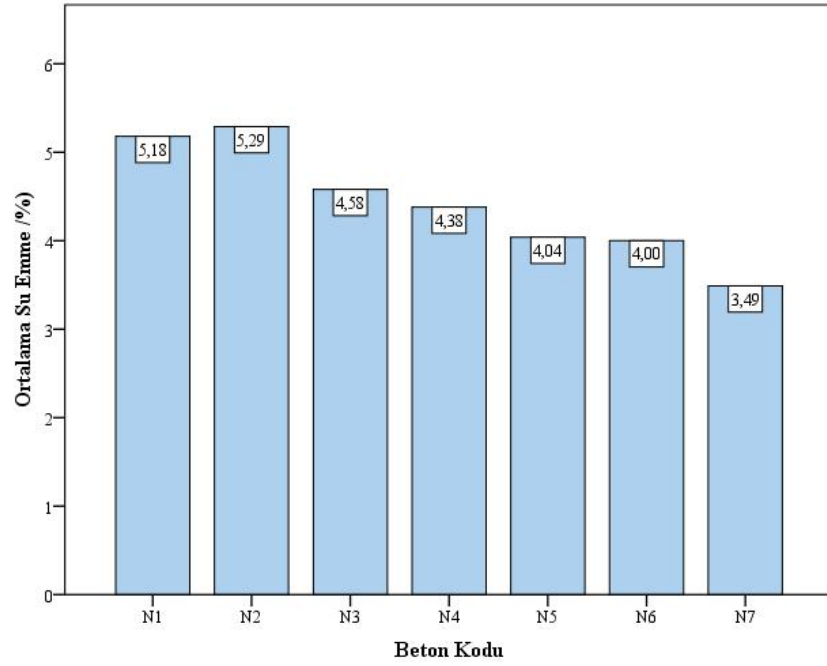
Ses hızı (V) km/s	Beton Kalitesi
>4,5	Mükemmel
3,5-4,5	İyi
3,0-3,5	Şüpheli
2,0-3,0	zayıf
<2,0	Çok Zayıf

Beton serilerine ait ortalama görünür özgül ağırlıkları Şekil 4.3’de verilmiştir. Şekil 4.3’ e göre beton serilerine göre görünür özgül ağırlıklarının çok fazla değişiklik göstermediği gözlenmiştir.



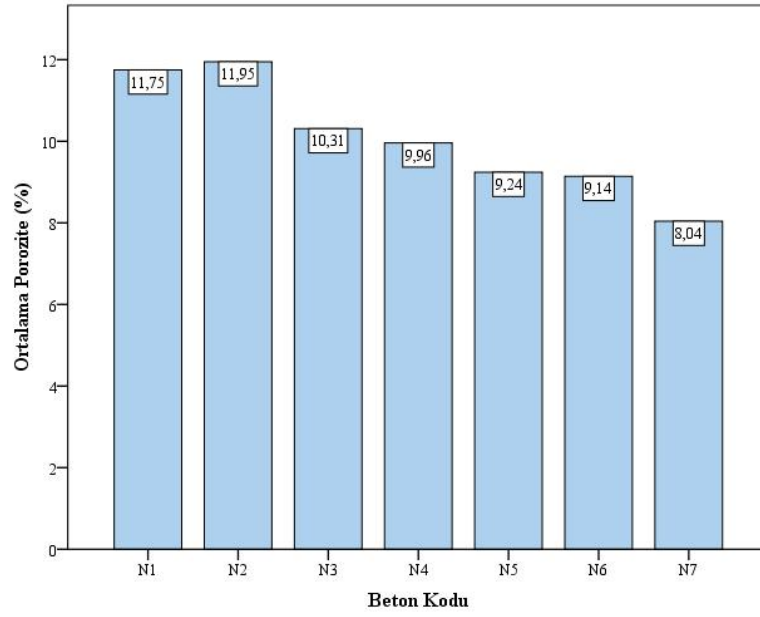
Şekil 4.3. N serisi betonların ortalama görünür özgül ağırlıkları

Betonların su emme oranları incelendiğinden, en yüksek değerin % 5,29 ile N2 serisi betona ait olduğu, en düşük değeri ise % 3,49 ile N7’ye ait olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.4). Agrega S/Ç oranı azaldıkça su emme değerlerinin düştüğü gözlenmiştir.



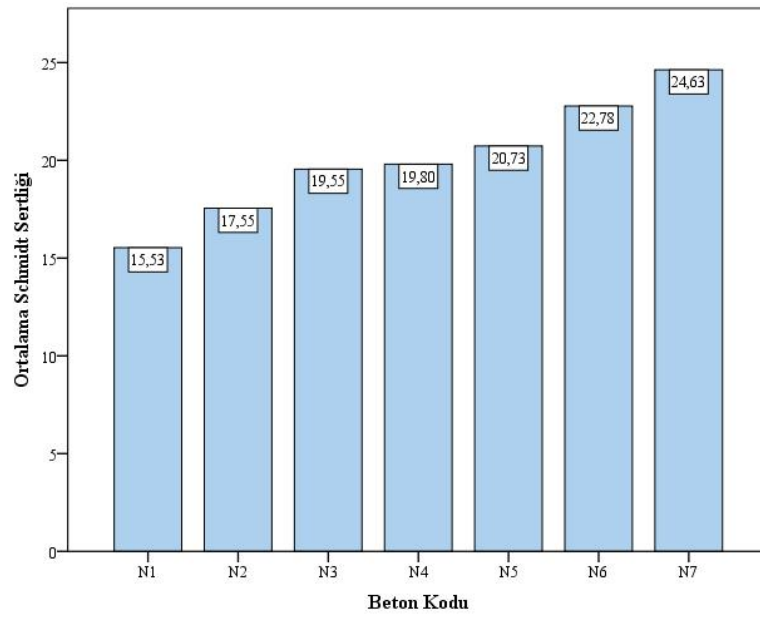
Şekil 4.4. N serisi betonların ortalama su emme değerleri

Betonların emdikleri su miktarı porozite kadar, hem betondaki hem de agregalardaki gözeneklerin durumuna da bağlıdır. Başka bir ifadeyle gözenekler yarı açıksa veya tamamen kapalıysa beton daha az su emecektir. Eğer beton içerisindeki veya agregalardaki gözenekler açıksa, porozite oranı kadar su emme yeteneklerine sahip olabileceklerdir (Uygunoğlu, 2008). Porozite değerleri incelendiğinde, N serisi betonlarının porozite değerleri %11,75 ile %8,04 arasında değişirken, aynı seri betonların su emme oranları %5,18 ile %3,49 oranları arasında değerler almıştır (Şekil 4.4, Şekil 4.5). Görüldüğü gibi su emme oranları görünen porozitelerin yaklaşık yarısı kadardır. Bu serilerdeki gözeneklerin yaklaşık %50'sinin yarı açık veya tamamen kapalı gözeneklerden oluştuğu sonucuna varılabilir.



Şekil 4.5. N serisi betonların porozite değerleri

Yüzey sertliği değerlerine bakıldığında en düşük değerin 15,53 ile N1 serisine ait olduğu, en yüksek değerinin ise 24, 63 ile N7 serisi betonuna ait olduğu gözlenmiştir (Şekil 4.6). Şekil 4.6 incelendiğinde, beton basınç dayanımı arttıkça, yüzey sertliği okuma değerlerinin de arttığı gözlenmiştir.



Şekil 4.6. N serisi betonların yüzey sertliği değerleri

4.4. Görüntü İşleme Sonuçları

Daha önce ImageJ programı kullanarak tespit edilen agrega, çimento matrisi ve hava boşluğu sınır değerlerine göre 7 farklı N serisi beton numunesinden ve her seride g 6 kesit yüzeyin ortalamasından elde edilen renk okuma değerleri Çizelge 4.5’de ve bu değerlere ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 4.6’ da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Görüntü işleme sonucu elde edilmiş sonuçlar

Analiz Sonuçları	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7
Piksel Adeti	5522500,00	5522500,00	5522500,00	5522500,00	5522500,00	5522500,00	5522500,00
Hava	10393,60	13334,83	17458,50	22096,50	32463,67	58348,00	66702,83
Çim. Mat.	1563569,20	1744982,33	1851404,50	1988650,33	2282136,33	2554882,00	2681564,00
Agrega	3948537,20	3764182,83	3653637,00	3511753,17	3207900,00	2900915,17	2782588,00

Çizelge 4.6. Tanımlayıcı istatistikler

		Standart		Standart		95% Güven Aralığı			
	N	Ortalama	Sapma	Hata	Alt Limit	Üst Limit	Minimum	Maksimum	
Hava Boşluğu (%)	N1	6	0,1882	0,07583	0,03096	0,1086	0,2678	0,13	0,33
	N2	6	0,2415	0,09048	0,03694	0,1465	0,3364	0,13	0,37
	N3	6	0,3161	0,12582	0,05137	0,1841	0,4482	0,08	0,45
	N4	6	0,4001	0,27014	0,11028	0,1166	0,6836	0,13	0,71
	N5	6	0,5878	0,18572	0,07582	0,3929	0,7827	0,38	0,82
	N6	6	1,0566	0,38704	0,15801	0,6504	10,4627	0,55	10,68
	N7	6	1,2078	0,84571	0,34526	0,3203	20,0954	0,68	20,92
	Total	42	0,5712	0,51695	0,07977	0,4101	0,7323	0,08	20,92
Çimento Matrisi (%)	N1	6	28,3127	1,20496	0,49192	27,0482	29,5772	27,03	30,52
	N2	6	31,5977	1,07829	0,44021	30,4661	32,7293	30,63	33,09
	N3	6	33,5248	3,74785	1,53005	29,5916	37,4579	28,82	38,42
	N4	6	36,0100	3,90500	1,59421	31,9119	40,1080	29,61	40,25
	N5	6	41,3243	2,19101	0,89448	39,0250	43,6237	37,38	43,44
	N6	6	46,2631	1,04374	0,42610	45,1678	47,3585	44,25	47,01
	N7	6	48,5571	1,56619	0,63939	46,9135	50,2007	46,45	51,00
	Total	42	37,9414	7,48778	1,15539	35,6080	40,2747	27,03	51,00
Agrega Miktarı (%)	N1	6	71,4991	1,25760	,51341	70,1793	72,8189	69,15	72,75
	N2	6	68,1608	1,08514	,44301	67,0221	69,2996	66,73	69,23

Çizelge 4.6 (devam)

N3	6	66,1591	3,80854	1,55483	62,1623	70,1559	61,29	71,09
N4	6	63,5899	4,04597	1,65176	59,3439	67,8359	59,19	70,26
N5	6	58,0878	2,08180	,84989	55,9031	60,2725	55,95	61,83
N6	6	52,5290	1,40032	,57168	51,0595	53,9986	50,54	54,81
N7	6	50,3864	1,53056	,62485	48,7802	51,9926	47,84	51,87
Total	42	61,4875	7,85182	1,21156	59,0407	63,9343	47,84	72,75

Çizelge 4.6 incelendiğinde ortalamaları açısından en düşük hava boşluğu yüzdesinin N1 kodlu betondan, en yüksek hava boşluğu yüzdesinin ise N7 kodlu betonda elde edildiği gözlenmiştir. Çimento matrisi yüzdeleri incelendiğinde, ortalamaları açısından en düşük değerin N1 kodlu betondan, en yüksek değerin ise N7 kodlu betondan elde edildiği gözlenmiştir. Agrega yüzdeleri incelendiğinde ise, en düşük değerin N7 kodlu betondan, en yüksek değerin ise N1 kodlu betondan elde edildiği gözlenmiştir.

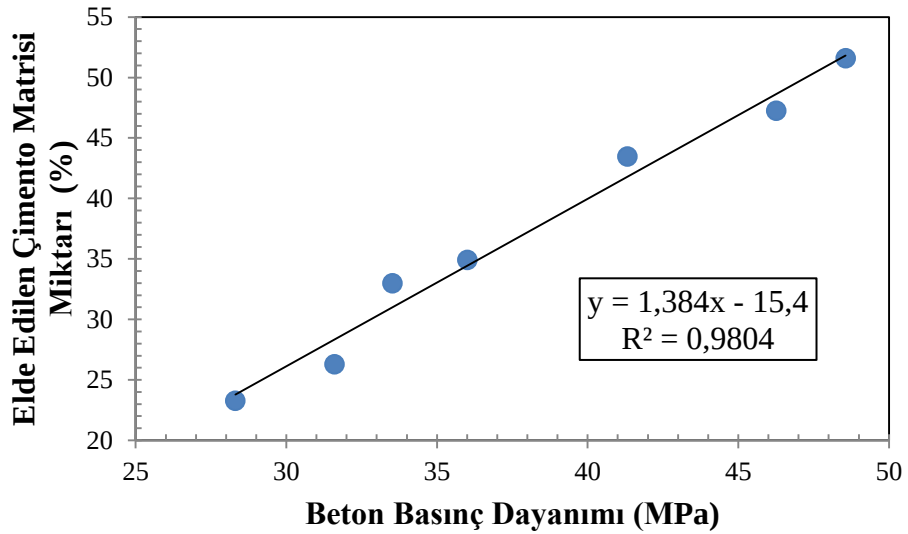
Çizelge 4.6 incelendiğinde gerek hava boşluğu, gerek çimento metrisi yüzdesi, gerekse agrega yüzdelерinin standart sapma değерlerinin oldukça düşük olduğu gözlenmiştir. Bu durum beton döküm yüzeyine dik yönde alınan beton kesitlerinden elde edilen görüntü değерlerinin bir birine oldukça yakın olduğu anlamına gelmektedir. Yani alınan her kesitin ortalama değерden çok farklı olmadığı ve analizlerde tek başına kullanılabileceğini göstermektedir.

Beton basınç dayanımının belirlenmede en çok kullanılan numune boyutları 15×15×15 cm’lik küp ve ϕ 15×30 cm’lik silindir numunelerdir. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen N serisi betonların ortalama basınç dayanımları L’Hermite göre 10 cm³’lük dayanımların 15 cm³ dayanımlara dönüştürülmüş ve Çizelge 4.7’de verilen değерler kullanılmıştır (Erdoğan, 2007).

Çizelge 4.7. Beton basınç dayanımının 10 cm³ küp numuneden 15 cm³ küp numuneye dönüşümü

Beton Kodu	S/Ç	Ortalama Basınç Dayanımları N/mm ² (10×10×10 cm Küp)	L'Hermite $\sigma_{15} = 0,97 (\sigma_{10})$ Ort. Basınç Dayanımları N/mm ² (10×10×10 cm Küp Numuneden 15×15×15 cm Küp'e Dönüşüm)
N1	0,79	24,0	23,28
N2	0,69	27,1	26,29
N3	0,61	34,0	32,98
N4	0,54	36,0	34,92
N5	0,47	44,8	43,46
N6	0,42	48,7	47,24
N7	0,37	53,2	51,60

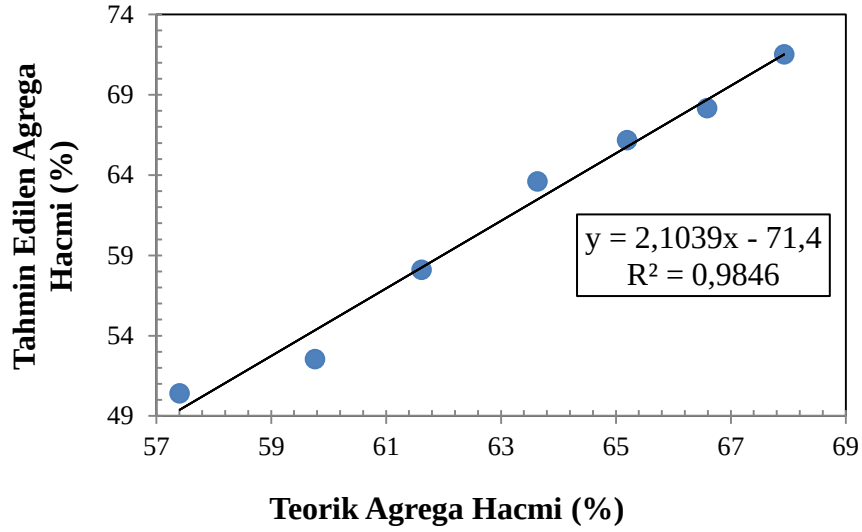
Şekil 4.7'de görüntü işleme yöntemiyle elde edilen çimento matrisi yüzdeleri ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 4.7 incelendiğinde görüntü işleme yöntemiyle elde edilen çimento matrisi yüzdelерinin artması ile beton basınç dayanımlarının da arttığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.7. Görüntü işleme ile elde edilen çimento matrisi yüzdesi ile N serisi betonların basınç dayanımı arasındaki ilişki

Ayrıca karışım oranlarında kullanılan teorik ve görüntü işleme yöntemiyle tahmin edilen agrega hacimleri arasındaki ilişki Şekil 4.8'deki serpilme grafiği ile verilmiştir. Görüntü işleme teknikleri sayesinde elde edilen agrega hacmi değerleri

ile karışım dizaynında teorik olarak verilen agregâ hacimleri arasında iyi bir ilişki olduğu Şekil 4.8’de açıkça görülmektedir.



Şekil 4.8. Teorik olarak hesaplanan agregâ hacmi ile görüntü işleme yöntemi ile elde edilen agregâ hacmi arasındaki ilişki

4.5. Görüntü İşleme Sonuçlarının Beton Basınç Dayanımı İle İlişkilendirilmesi

Daha önceden de belirtildiği üzere beton basınç dayanımı ile çimento dozajı arasında yüksek bir ilişki mevcuttur. Bu nedenle görüntü işleme tekniği ile elde edilen çimento matrisi yüzdesi ve deneysel basınç dayanımı arasında Denklem 4.1’de verilen lineer regresyon formülü yardımıyla betonların basınç dayanımları tahmin edilmiştir.

$$y = a * x_1 + b \quad (4.1)$$

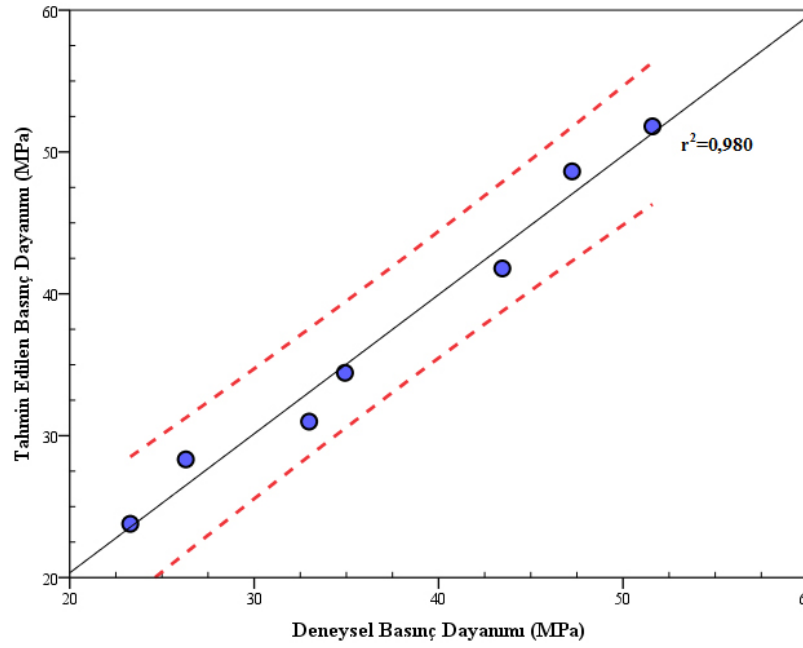
Burada,

y: Beton basınç dayanımı (MPa),

x_1 : Görüntü işleme sonucu elde edilen çimento matrisi yüzdesi,

a, b: Fonksiyon parametreleridir.

Lineer regresyon analizi sonucunda elde edilen tahmini basınç dayanımları ile deneysel basınç dayanımları Şekil 4.9'daki serpilme grafiği ile karşılaştırılmıştır. Şekil 4.9 incelendiğinde görüntü işleme yöntemiyle elde edilen basınç dayanımı değerleri ile deneysel beton basınç dayanımları arasında yüksek bir ilişki ($r^2=0,980$) olduğu gözlenmiştir.



Şekil 4.9. Tahmini ve deneysel beton basınç dayanımları arasındaki ilişki (%95 güven aralığında)

Sadece çimento matrisi yüzdesi kullanılarak beton basınç dayanımını tahmin eden lineer regresyon analizine ek olarak görüntü işleme sonucu elde edilen, hava boşluğu, agrega ve çimento matrisi yüzdeleri ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişkiler araştırılmış ve bu parametreler arasındaki ilişki non-lineer regresyon analizi ile belirlenmeye çalışılmıştır. Non-lineer regresyon analizinde aşağıdaki formül kullanılmıştır (Denklem 4.2).

$$y = \frac{(x_2)^c}{(x_1)^d} - (x_3)^e \quad (4.2)$$

Burada,

y: Beton basınç dayanımı (MPa),

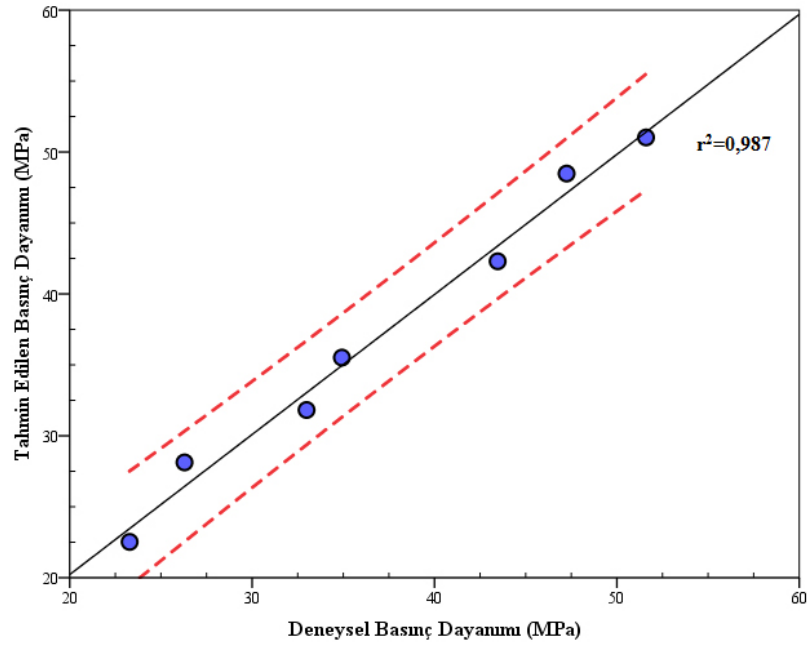
x_1 : Görüntü işleme sonucu elde edilen çimento matrisi yüzdesi,

x_2 : Görüntü işleme sonucu elde edilen agrega yüzdesi,

x_3 : Görüntü işleme sonucu elde edilen hava boşluğu yüzdesi,

c, d, e: Fonksiyon parametreleridir.

Şekil 4.10'da non-lineer regresyon analizi sonucu elde edilen tahmini basınç dayanımı ile deneysel basınç dayanımı arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 4.10. Tahmini beton basınç dayanımı ile beton basınç dayanımı arasındaki ilişki (%95 güven aralığında)

Yapılan lineer ve non-lineer regresyon analizleri sonucunda elde edilen fonksiyon parametreleri Çizelge 4.8’de verilmiştir.

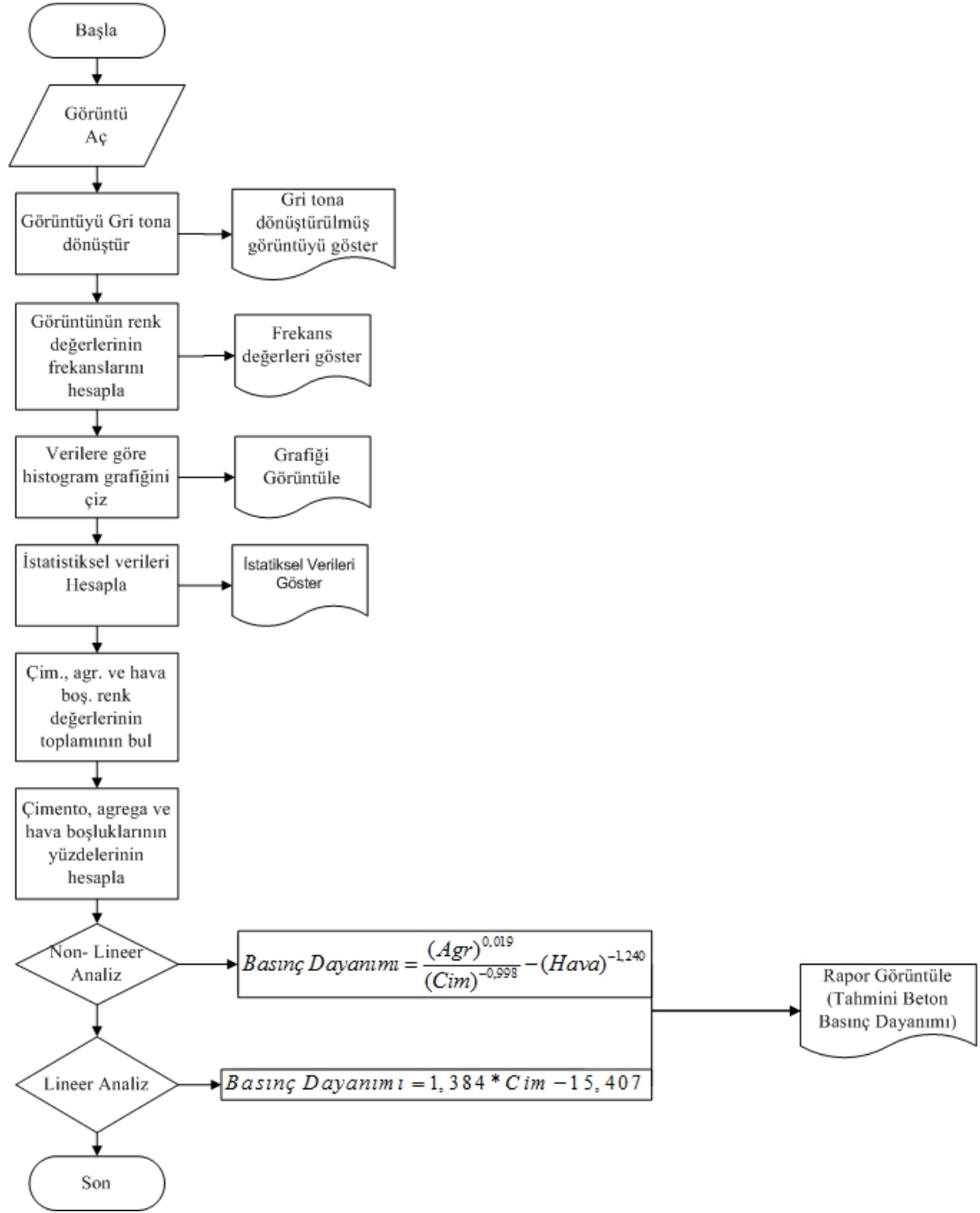
Çizelge 4.8. Fonksiyon parametreleri

Fonksiyon Parametreleri	Doğrusal Olmayan Regresyon Analizi	Doğrusal Regresyon Analizi
a	-	1,384
b	-	-15,407
c	0,019	-
d	-0,998	-
e	-1,240	-
R²	0,987	0,980

Yapılan doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon analizleri sonucunda görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen renk değerlerinin yüzdelерinin kullanılması ile deneysel basınç dayanımlarının yüksek bir ilişki düzeyinde tahmin edilebildiği gözlenmiştir. Bkz. Denklem 4.1 ve Denklem 4.2 kullanılarak tahmin edilen basınç dayanımları ile deneysel basınç dayanımları arasında sırasıyla 0,980 ve 0,987 determinasyon katsayıları elde edilmiştir.

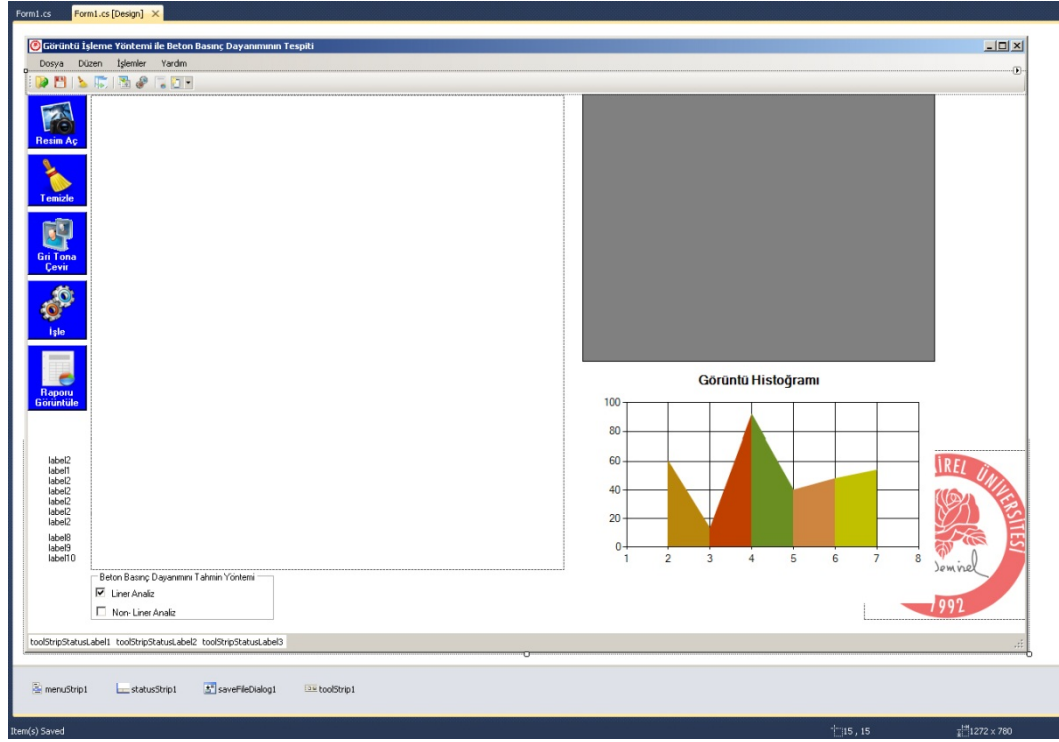
4.6. Görüntü İşleme Yazılımının Geliştirilmesi

Pratikte beton görüntüleri kullanarak basınç dayanımı tahmin eden herhangi bir yazılım bulunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada elde edilen deneysel veriler ve regresyon analiz sonuçları kullanılarak, beton kesit görüntülerinden beton basınç dayanımı tespit edebilmek amacıyla Visual Studio.NET 2010 programı kullanılarak C# programlama dilinde bir yazılım geliştirilmiştir. Görüntü işleme yöntemi ile beton basınç dayanımının tespiti için geliştirilen yazılımın akış şeması Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Programın akış şeması

Geliştirilen yazılımın Visual Studio.Net 2010'daki tasarım ekranı Şekil 4.12'de görülmektedir. Form1 üzerine Çizelge 4.9'deki kontroller eklenmiştir.



Şekil 4.12. Geliştirilen yazılımın Visual Studio.Net 2010 programındaki tasarım ekranı

Çizelge 4.9 Form1 üzerine eklenen kontroller

Kontrol Adı	Türü	Kontrol Adı	Türü	Kontrol Adı	Türü
btn_resimAc	Button	Label3	Label	GroupBox1	GroupBox
btnGraysale	Button	Label4	Label	checkBox1	CheckBox
btnIsle	Button	Label5	Label	checkBox2	CheckBox
btnKaydet	Button	Label6	Label	pictureBox	PictureBox
btnRenkliHisteg	Button	Label7	Label	dataGridView1	DataGridView
btnTemizle	Button	Label8	Label	menuStrip1	MenuStrip
button2	Button	Label9	Label	statusStrip1	StatusStrip
Label1	Label	Label10	Label	Chart1	Chart
Label2	Label				

4.6.1. Görüntü aç

Kayıtlı olan beton kesit resimlerinin seçilerek form üzerindeki PictureBox nesnesinde görüntüleyebilmek için Resim Aç butonu kullanılmaktadır. Resmi görüntüleyebilmek için gerekli kodlar aşağıda verilmiştir (Şekil 4.13). Resim Aç butonu tıklandıktan sonra resim seçilme ve resmin görüntülenme işlemi Şekil 4.14’de görüntülenmektedir.

```

private void btn_resimAc_Click(object sender, EventArgs e)
{
    btn_resimAc.Enabled = false;
    btnGrayscale.Enabled = true;
    OpenFileDialog openFileDialog = new OpenFileDialog();
    openFileDialog.InitialDirectory = System.Environment.GetFolderPath(Environment.SpecialFolder.Desktop);
    openFileDialog.Filter = "Bitmap Dosyaları (*.bmp)|*.bmp|Jpeg Dosyaları (*.jpg)|*.jpg";
    openFileDialog.FilterIndex = 2;
    openFileDialog.RestoreDirectory = true;
    if (DialogResult.OK==openFileDialog.ShowDialog())
    {
        resim = (Bitmap)Bitmap.FromFile(openFileDialog.FileName, false);
        pictureBox.Image = resim;

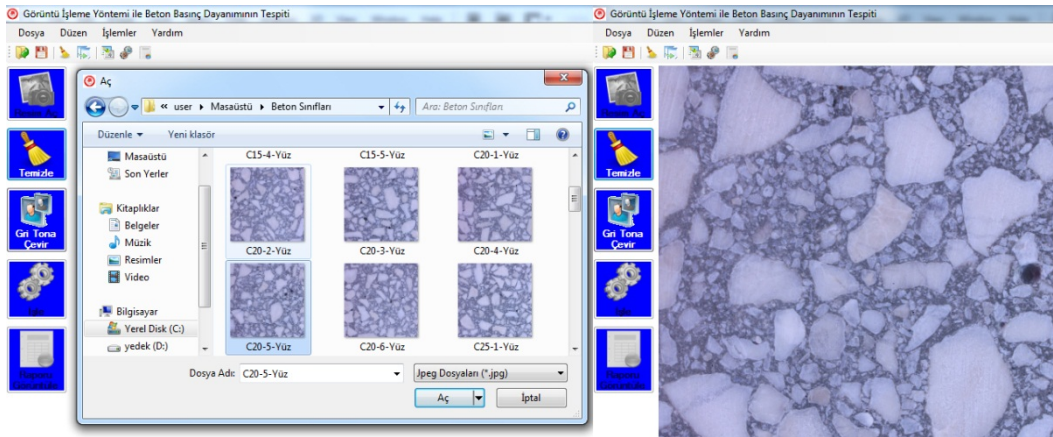
        float genislik = pictureBox.Image.PhysicalDimension.Width;
        float yukseklik = pictureBox.Image.PhysicalDimension.Height;
        string piksel_sayi = pictureBox.Image.PixelFormat.ToString();

        toolStripStatusLabel1.Text = ("Genişlik:") + genislik.ToString() + (" Yükseklik:") + yukseklik.ToString() + ("
Resim Formatı:") + piksel_sayi.ToString();

        toolStripStatusLabel2.Text = "";
        toolStripStatusLabel3.Text = "Resim Konumu: " + openFileDialog.FileName.ToString();
    }
}

```

Şekil 4.13. Beton kesit görüntülerini açmak için yazılan kod bloğu



Şekil 4.14. Beton görüntüsünün bilgisayardan seçilmesi ve görüntülenmesi

Açılan görüntünün özellikleri (genişlik, yükseklik, resim formatı) statusStrip 'te (durum çubuğu) görülmektedir (Şekil 4.15).

Genişlik:2350 Yükseklik:2350 Resim Formatı:Format24bppRgb Resim Konumu: C:\Users\user\Desktop\Beton Sınıfları\C20-5-Yüz.jpg

Şekil 4.15. Resim özellikleri ve dosya konumu

4.6.2. Resmi gri tona dönüştürme

Renkli sayısal bir resmi gri tonlu resme çevirebilmek için RGB renk modelinde belirtilen gri-tonlu renk değerlerinin orijinal resimdeki piksellerin her bir renk kanalındaki sahip oldukları renk değerlerinin yerine, resmin özelliklerini değiştirmeden konulması ile elde edilmektedir. Gri tonlu bir resimde 256 tane farklı ton değeri bulunur. 0 değeri kural olarak siyah renge, 255 değeri ise beyaza karşılık gelir. Bu değerler arasında ise gri tonlar oluşur. RGB renk modelindeki renkli resmi gri tona dönüştürme işlemi için Denklem 4.3'deki formül kullanılmıştır (Gonzalez, 2002).

$$I_{\text{gray}} = 0,299R + 0,587G + 0,114B \quad (4.3)$$

Burada,

$I_{\text{grey}}(p)$ = Her pikseldeki gri renk değeri,

R = Her pikseldeki kırmızı renk değeri

G = Her pikseldeki yeşil renk değeri

B = Her pikseldeki mavi renk değeri

RGB renk modelindeki renkli resmi gri tona dönüştürebilmek için gerekli kodlar Şekil 4.16'da verilmiştir.

```

public static Bitmap grayscaleyaDonustur(Bitmap original)
{
    Bitmap newBitmap = new Bitmap(original.Width, original.Height);
    for (int i = 0; i < original.Width; i++)
    {
        for (int j = 0; j < original.Height; j++)
        {
            Color originalColor = original.GetPixel(i, j);

            // int grayScale = (int)(((originalColor.R) + (originalColor.G) +
            (originalColor.B))/3);
            int grayScale = (int)((originalColor.R*0.299) + (originalColor.G*0.587) +
            (originalColor.B*0.114));

            Color newColor = Color.FromArgb(grayScale, grayScale, grayScale);
            newBitmap.SetPixel(i, j, newColor);
        }
    }
    return newBitmap;
}

```

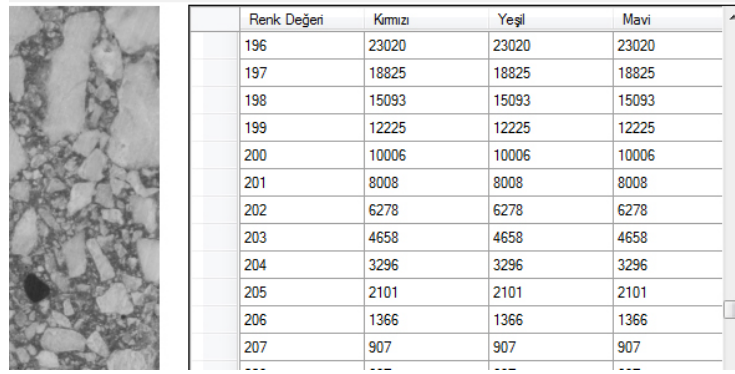
Şekil 4.16. Gri tona dönüştürebilmek için gerekli kod bloğu

4.6.3. Gri tona dönüştürülmüş resmin renk değerlerinin frekanslarını bulma

Sayısal resim bir matrise benzetilebilir. Resmin en küçük elemanına piksel adı verilir. Resmi $M \times N$ boyutunda matris olarak düşünürsek her bir pikselin değeri bir dizinin koordinatlarının i ve j ' inci terimi olarak ifade edilebilir. Gri tonlu resimlerde her eleman 0 ile 255 arasında değerler alır. Böylece resimdeki her bir pikselin renk değerleri elde edilebilir.

Histogram, belli bir veri kümesindeki elemanların frekanslarıdır. Histogram, çizimi yapılırken şu yöntem izlenir. Resim gri olarak tanımlandıktan sonra intensity (RGB değerlerinin ortalamasıdır) değeri hesaplanır. Her intensity değeri için bir kutu ayrılır ve sayma işlemine geçilir. Resim taranırken alınan gri değere ait kutunun değeri bir arttırılır. Tarama bittiğinde elimizde 0-255 veri aralığında değerler ve bu değerleri tutan bir histogram dizisi bulunur. Kutu değerleri bize veri kümesi elemanlarının frekanslarını verir.

Gri Tona Çevir butonuna tıklandığında PictureBox'taki renkli resim gri tonlu resme dönüştürülür ve histogram değerleri DataGridView Nesnesinde görüntülenir (Şekil 4.17). Histogram değerlerinin DataGridView nesnesinde görüntülenebilmesi için gerekli kodlar Şekil 4.18'de görüntülenmektedir.



Şekil 4.17. Gri tona döndürülmüş resim ve DataGridView nesnesinde histogram değerlerinin görüntülenmesi

```
private void btnGrayscale_Click(object sender, EventArgs e)
{
    pictureBox1.Hide();
    tiklandi = 1;
    btnIsle.Enabled = true;
    if (pictureBox.Image != null)
    {
        pictureBox.Image = grayscaleyaDonustur(new Bitmap(pictureBox.Image));

        dataGridView1.ColumnCount = 4;
        dataGridView1.Columns[0].Name = "Renk Değeri";
        dataGridView1.Columns[1].Name = "Kırmızı";
        dataGridView1.Columns[2].Name = "Yeşil";
        dataGridView1.Columns[3].Name = "Mavi";

        dataGridView1.Rows.Add(256);

        Image img = pictureBox.Image;
        Bitmap bmp = new Bitmap(img);
        int[] kirmizi = new int[256];
        int[] yesil = new int[256];
        int[] mavi = new int[256];
        for (int i = 0; i < bmp.Width; i++)
        {
            for (int j = 0; j < bmp.Height; j++)
            {
                Color renk = bmp.GetPixel(i, j);
                kirmizi[renk.R]++;
                yesil[renk.G]++;
                mavi[renk.B]++;
            }
        }
        for (int deger = 0; deger < 256; deger++)
        {
            dataGridView1.Rows[deger].Cells[0].Value = deger.ToString();
            dataGridView1.Rows[deger].Cells[1].Value = kirmizi[deger].ToString();
            dataGridView1.Rows[deger].Cells[2].Value = yesil[deger].ToString();
            dataGridView1.Rows[deger].Cells[3].Value = mavi[deger].ToString();
        }
    }
}
```

Şekil 4.18. Histogram değerlerinin DataGridView nesnesinde görüntülenebilmesi için gerekli kod bloğu

4.6.4. Elde Edilen değerlere göre histogram grafiğinin izdirilmesi

Elde edilen histogram değerlerine göre histogram grafiği Chart kontrolü sayesinde çizdirilmiştir. Grafiğin izdirilebilmesi için gerekli kodlar şekil 4.19’de görülmektedir. Histogram grafiğinin çizdirilmiş hali şekil 4.20’da görülmektedir.

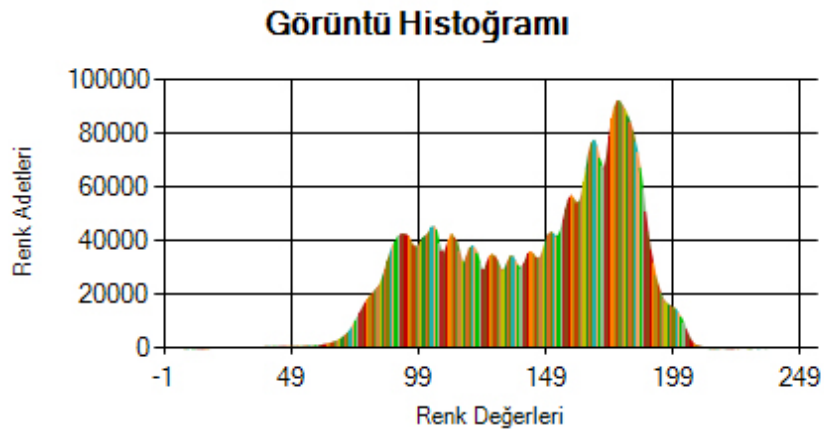
```
int[] xEkseni = new int[256];
int[] yEkseni = new int[256];
for (int i = 0; i < 256; i++)
{
    xEkseni[i] = i;
    yEkseni[i] = kirmizi[i];
}

chart1.Series[0].Points.DataBindXY(xEkseni, yEkseni);

chart1.ChartAreas["ChartArea1"].CursorX.Interval = 10;
chart1.ChartAreas["ChartArea1"].CursorY.Interval = 500;
chart1.ChartAreas["ChartArea1"].AxisY.IsStartedFromZero =true; // Y eksenini için
chart1.ChartAreas["ChartArea1"].AxisX.IsStartedFromZero = true; // X eksenini için

dataGridView1.Visible = true;
chart1.Visible = true;
chart1.ChartAreas["ChartArea1"].AxisX.Title = "Renk Değerleri";
chart1.ChartAreas["ChartArea1"].AxisY.Title = "Renk Adetleri";
```

şekil 4.19. Histogram grafiğini çizdiren kod bloğu



şekil 4.20. Histogram grafiği

4.6.5. İstatistiksel verilerin elde edilmesi (mod, median, standart sapma, en büyük değer en küçük değer, toplam eleman sayısı)

Elde edilen histogram değerlerine göre mod, median, standart sapma, toplam eleman sayısı, en büyük ve en küçük değer hesaplanmıştır (Şekil 4.21, Şekil 4.22, Şekil 4.23, Şekil 4.24, Şekil 4.25).

```
// Dizideki en çok tekrarlanan değer|
int enCokTekrarlanan = renkDegerleri[0];
for (int i = 0; i < renkDegerleri.Length; i++)
{
    if (enCokTekrarlanan < renkDegerleri[i])
    {
        enCokTekrarlanan = Convert.ToInt32( renkDegerleri[i].ToString());
        label3.Text= i.ToString()+" (" + enCokTekrarlanan.ToString()+")";
    }
}
```

Şekil 4.21. Histogramda en çok tekrarlananın (mod) bulunmasında kullanılan kod bloğu

```
//Median Ortalama Değerin bulunması

int carpim = 0;
int frekansToplam = 0;
double median=0;
double kumulatif = 0;
double standarSapma = 0;

for (int i = 0; i < renkDegerleri.Length; i++)
{
    carpim += i * renkDegerleri[i];
    frekansToplam += Convert.ToInt32(renkDegerleri[i].ToString());
}

median = Convert.ToDouble (carpim) / Convert.ToDouble (frekansToplam);
label4.Text = median.ToString("0.00");
label5.Text = frekansToplam.ToString();
```

Şekil 4.22. Histogramda medyanı hesaplayan kod bloğu

```

//standart sapma

for (int i = 0; i < renkDegerleri.Length; i++)
{
    kumulatif += Math.Pow((median - i), 2)*renkDegerleri[i];
}

standarSapma = Math.Pow((kumulatif / frekansToplam-1), 0.5);
label7.Text = "Çarpım:" + carpim.ToString()+" frekans toplamı:" + frekansToplam.ToString(
+ " kümülatif toplam:" + kumulatif.ToString();
label6.Text = standarSapma.ToString("0.00");

```

Şekil 4.23. Histogramda standart sapmayı hesaplayan kod bloğu

```

// Başlangıçtan itibaren sıfırdan farklı ilk değeri alan en küçük değer

for (int i = 0; i < renkDegerleri.Length; i++)
{
    if (renkDegerleri[i]!=0)
    {
        label1.Text = i.ToString();
        break;
    }
}

```

Şekil 4.24. Histogramda en küçük renk değerini hesaplayan kod bloğu

```

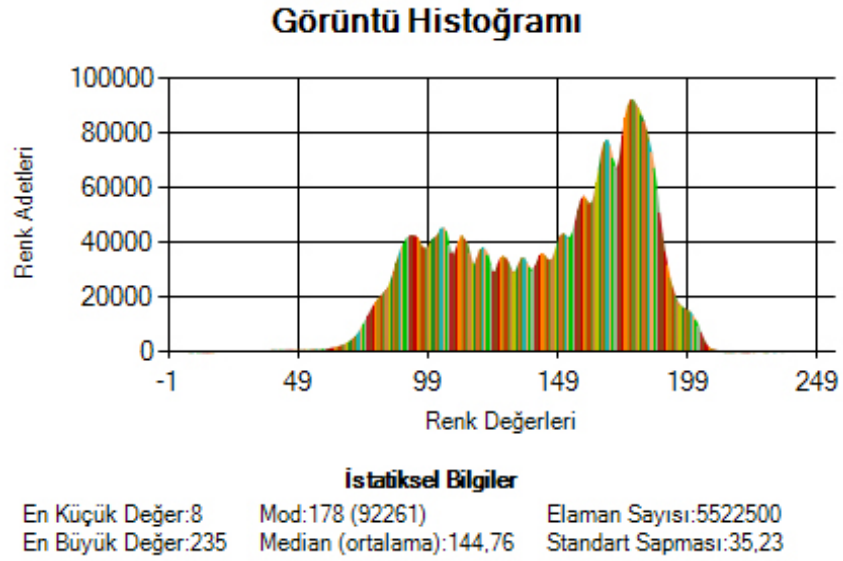
// Sondan itibaren sıfırdan farklı değer alan en büyük değer

for (int i = 255; i >= 0; i--)
{
    if (renkDegerleri[i]!=0)
    {
        label2.Text = i.ToString();
        break;
    }
}

```

Şekil 4.25. Histogramda en büyük renk değerini hesaplayan kod bloğu

İstatistiksel sonuçların ekranda yazdırılmış hali Şekil 4.26’de görülmektedir.



Şekil 4.26. Gri tona çevrilmiş resmin histogramı ve istatistiki bilgiler

4.6.6. Belirlenen aralıkta çimento, agrega ve hava boşlukları renk değerlerinin toplamının bulunması

Resimlerden agrega, çimento ve hava boşluklarının almış olduğu farklı renk değerleri belirlenmiştir. Buna göre resim 3 kısıma ayrılmış olup, 1. Kısım agrega, 2. Kısım çimento ve 3. Kısım hava boşluğudur. Belirlenen aralığa göre agrega, çimento ve hava boşluğunun renk değerlerinin toplamı bulunmuştur (Şekil 4.27).

```

private void btnIsle_Click(object sender, EventArgs e)
{
    if (pictureBox.Image != null)
    {
        tiklandi = 2;

        MessageBox.Show("İşlem resim boyutuna göre biraz uzun sürebilir. Lütfen işlem bitinceye kadar bekleyiniz", "Uyarı", MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
        btnRapor.Enabled = true;

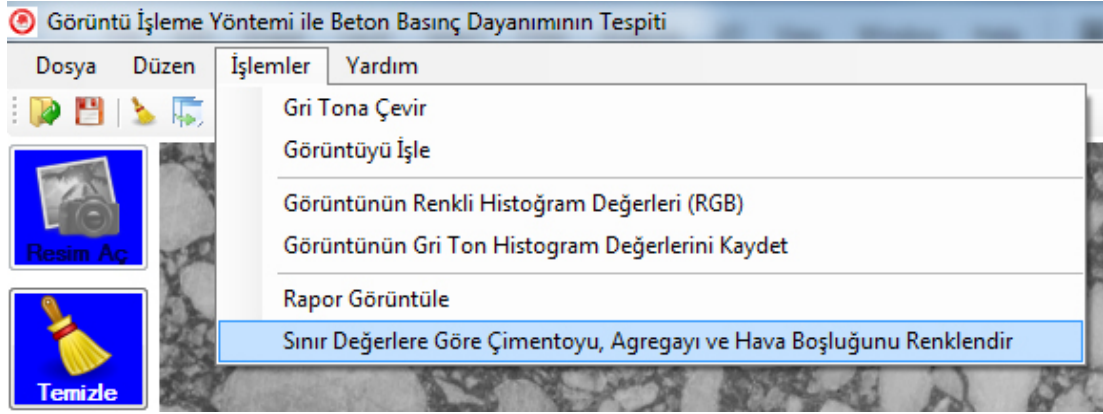
        try
        {
            int[] renkDegerleri = new int[256];
            for (int i = 0; i < 256; i++)
            {
                renkDegerleri[i] = Convert.ToInt32(dataGridView1.Rows[i].Cells
[1].Value.ToString());
            }
            int havaBoslugu = 0, cimento = 0, agrega = 0, toplam = 0;

            for (int k = 0; k < renkDegerleri.Length; k++)
            {
                if (k < 64)
                {
                    havaBoslugu += renkDegerleri[k];
                }
                if (63 < k & k < 137)
                {
                    cimento += renkDegerleri[k];
                }
                if (136 < k & k < 256)
                {
                    agrega += renkDegerleri[k];
                }
                toplam += renkDegerleri[k];
            }
            label8.Text = "Hava boşluğu toplam:" + havaBoslugu.ToString() + " çimento
toplam:" + cimento.ToString() + " agraga toplam:" + agrega.ToString();
        }
        catch { }
    }
}

```

Şekil 4.27. Belirlenen aralıklara göre agrega, çimento ve hava boşluğunun renk değerlerinin toplamalarını bulan kod bloğu

Yapılan işlemin uygunluğunu test etmek amacıyla gri tona çevrilmiş resimdeki her piksel, agrega turkuaz, hava boşluğu siyah ve çimento ise pembe olacak şekilde yeni bir görüntü oluşturulmuştur. Bu işlem, işlemler menüsünden Sınır Değerlere Göre Çimentoyu, Agregayı ve Hava Boşluğunu Renklendir butonuna tıklayarak yapılabilmektedir (Şekil 4.28). Renklendirme işlemini yapan kod bloğu Şekil 4.29' ve verilmiştir.



Şekil 4.28. Gri tona çevrilmiş resmin belirlenen aralıkta renklere göre yeniden oluşturulması

```
Image img = pictureBox.Image;
Bitmap bmp = new Bitmap(img);
for (int i = 0; i < bmp.Width; i++)
{
    for (int j = 0; j < bmp.Height; j++)
    {
        // label11.Text = bmp.GetPixel(200, 200).

        Color renk = bmp.GetPixel(i, j);
        int renkDegeri = renk.R;

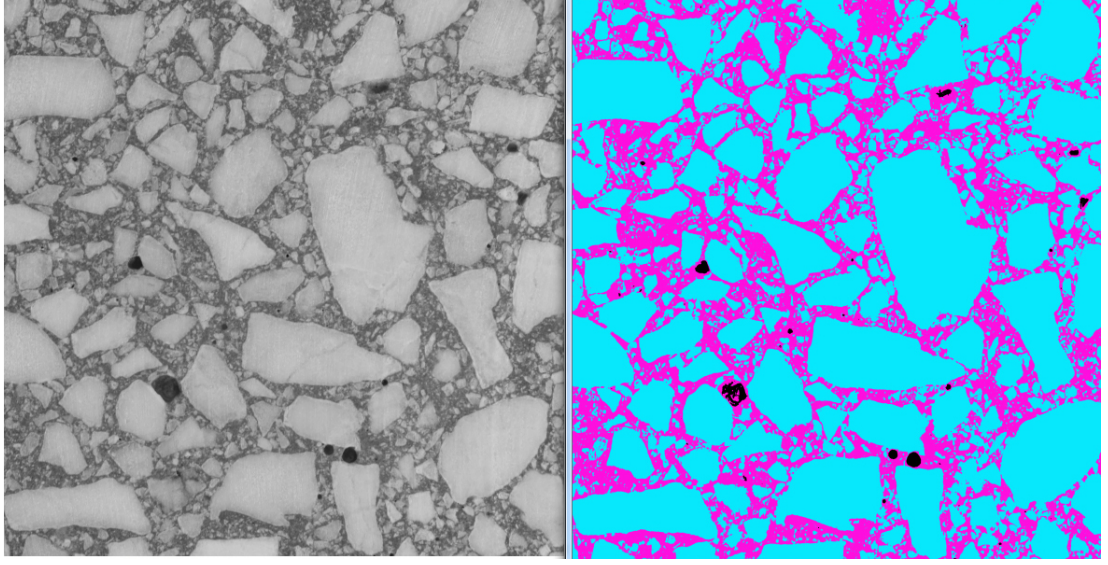
        if (renkDegeri < 64)
        {
            bmp.SetPixel(i, j, Color.FromArgb(0, 0, 0));
        }
        else if (63 < renkDegeri & renkDegeri < 137)
        {
            bmp.SetPixel(i, j, Color.FromArgb(254, 15, 223));
        }
        else
        {
            bmp.SetPixel(i, j, Color.FromArgb(8, 232, 252));
        }
    }
}

Resim_Goster formResimGoster = new Resim_Goster();
formResimGoster.Show();
// formResimGoster.

formResimGoster.pictureBox1.Image = bmp;
// pictureBox.Image = bmp;
```

Şekil 4.29. Renklendirme işlemini yapan kod bloğu

Şekil 4.30'da bir beton yüzeyinden çekilmiş ve gri tona çevrilmiş gerçek görüntü (solda) ve renklendirilmiş yeni görüntü (sağda) görülmektedir.



Şekil 4.30. Gri tona çevrilmiş resim ve belirlenen aralıkta renklere göre yeniden oluşturulması

Şekil 4.30 incelediğinde belirlenen aralığın doğru bir seçim olduğu rahatlıkla görülebilmektedir.

4.6.7. Çimento, agrega ve hava boşluklarının yüzdelерinin hesaplanması

Elde edilen verilere göre çimento, agrega ve hava boşluğu yüzdeleri Şekil 4.31'deki koda göre hesaplanmıştır.

```
double hbYuzde = 0, cimYuzde = 0, agrYuzde = 0, betonDayanimiLiner = 0,
betonDayanimiNonLiner = 0;

hbYuzde = Convert.ToDouble(havaBoslugu) / Convert.ToDouble(toplam) * 100;
cimYuzde = Convert.ToDouble(cimento) / Convert.ToDouble(toplam) * 100;
agrYuzde = Convert.ToDouble(agrega) / Convert.ToDouble(toplam) * 100;

label8.Text += " Hava Yüzdesi:%" + hbYuzde.ToString("0.00") + " çimento
yüzdesi:%" + cimYuzde.ToString("0.00") + " agrega yüzdesi:%" + agrYuzde.ToString("0.00");
```

Şekil 4.31. Çimento, agrega ve hava boşluklarının yüzdelерini hesaplayan kod bloğu

4.6.8. Beton basınç dayanımı için kullanılacak tahmin yönteminin seçimi ve sonuçlarının raporlanması

Lineer ve non-lineer denklemler Şekil 4.32'deki gibi seçim kutularının işaretlenmesiyle seçilerek beton basınç dayanımı için tahmin yöntemi belirlenir. Böylece ilgili regresyon denklemlerine (bkz. Denklem 4.1, Denklem 4.2) uygun olarak basınç dayanımları tahmin edilmiş olur. İşle butonuna tıklandığında ise tahmini beton basınç dayanımı raporlanmaktadır (Şekil 4.33).



Şekil 4.32. Beton basınç dayanımı tahmin yöntemi



GÖRÜNTÜ İŞLEME İLE BETON BASINÇ DAYANIMININ TESPİTİ

10.08.2012

Görüntü İşleme Sonuçları

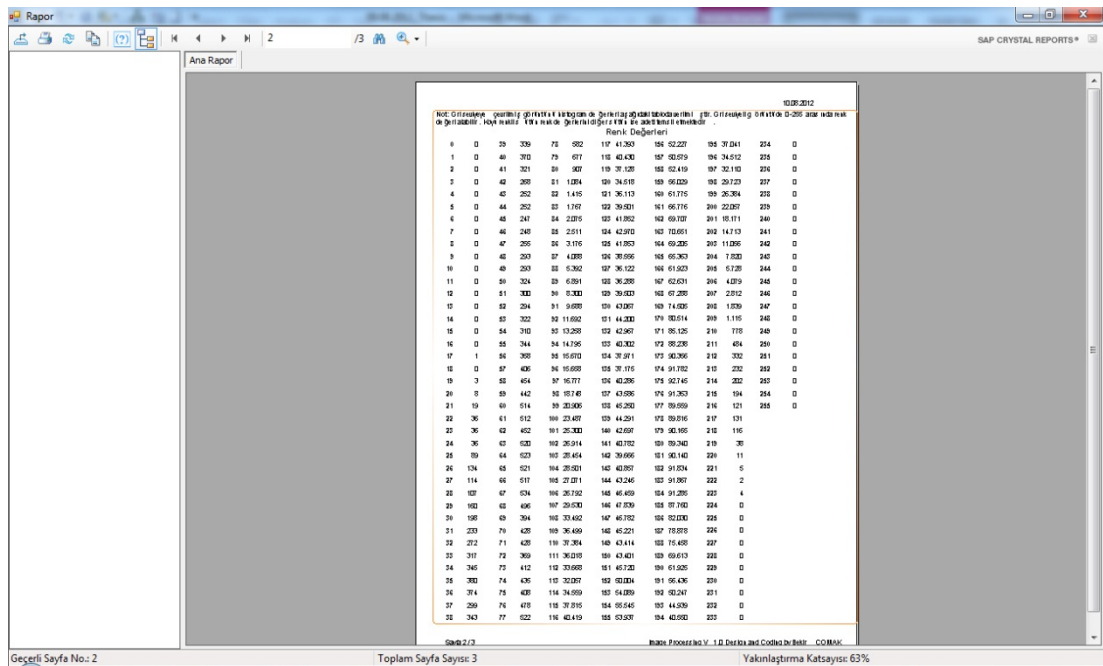
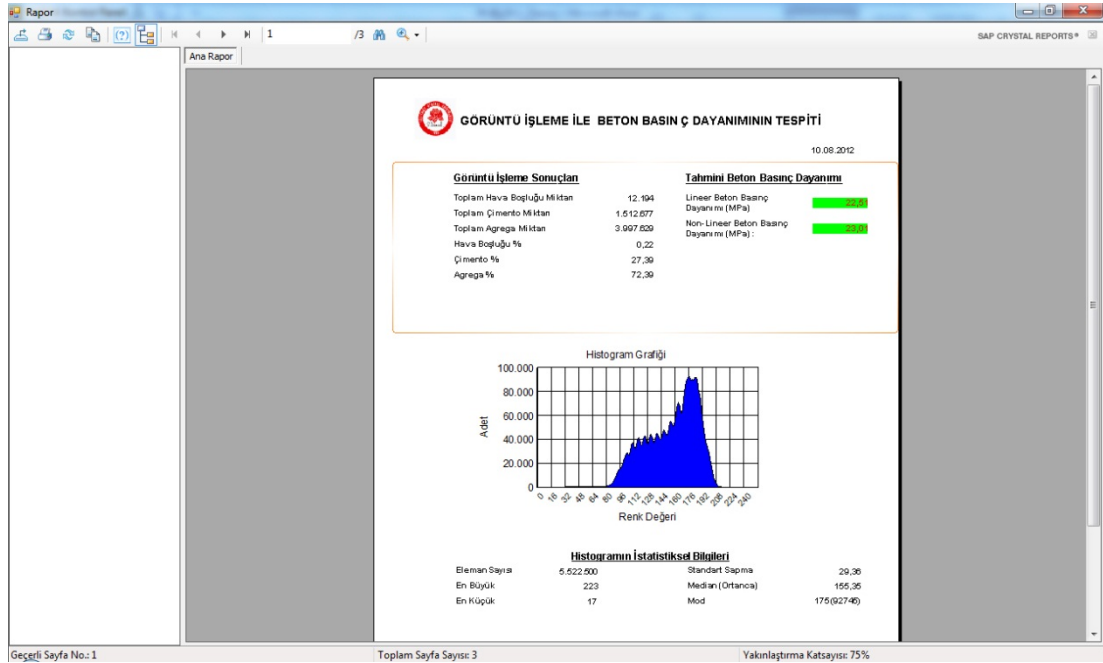
Toplam Hava Boşluğu Miktarı	12.194
Toplam Çimento Miktarı	1.512.677
Toplam Agrega Miktarı	3.997.629
Hava Boşluğu %	0,22
Çimento %	27,39
Agrega %	72,39

Tahmini Beton Basınç Dayanımı

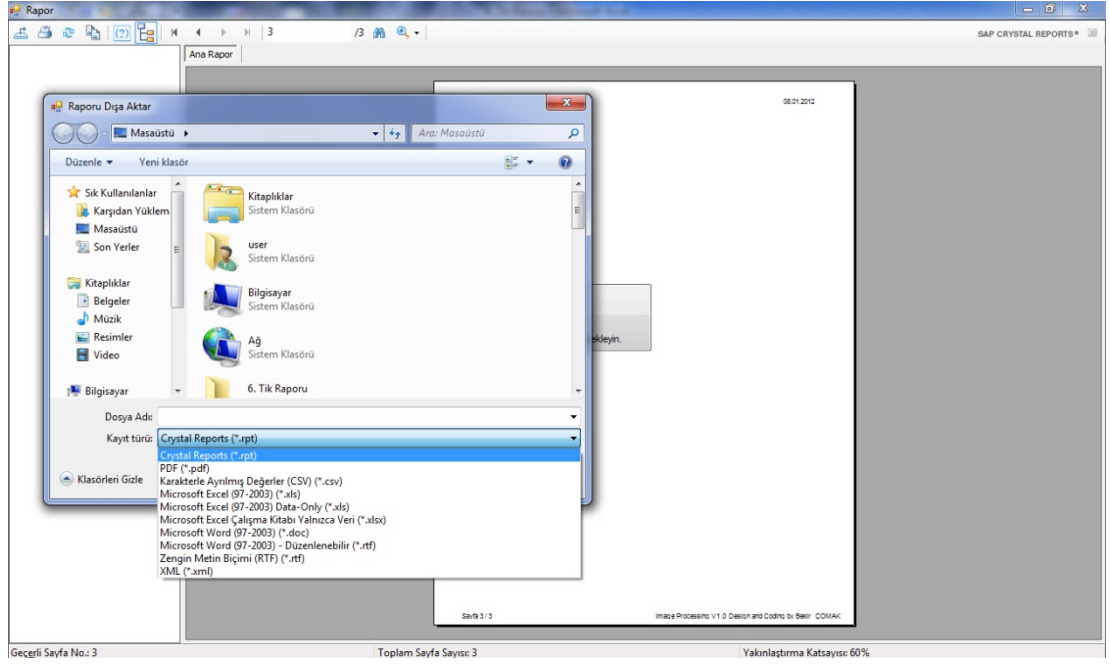
Lineer Beton Basınç Dayanımı (MPa)	22,51
Non-Linear Beton Basınç Dayanımı (MPa) :	23,01

Şekil 4.33. Tahmin edilen beton basınç dayanım sonuçları

Raporu Görüntüle butonuna tıklandığında Rapor formu açılmaktadır. Rapor formunda CrystalReportViewer kontrolü vardır. CrystalReportViewer kontrolü raporların görüntülenmesi için kullanılmaktadır. Bir rapor dosyasının içerisine 4 ayrı alt rapor dosyası oluşturularak raporlama gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan rapor Şekil 4.34 ve Şekil 4.35'de görülmektedir.

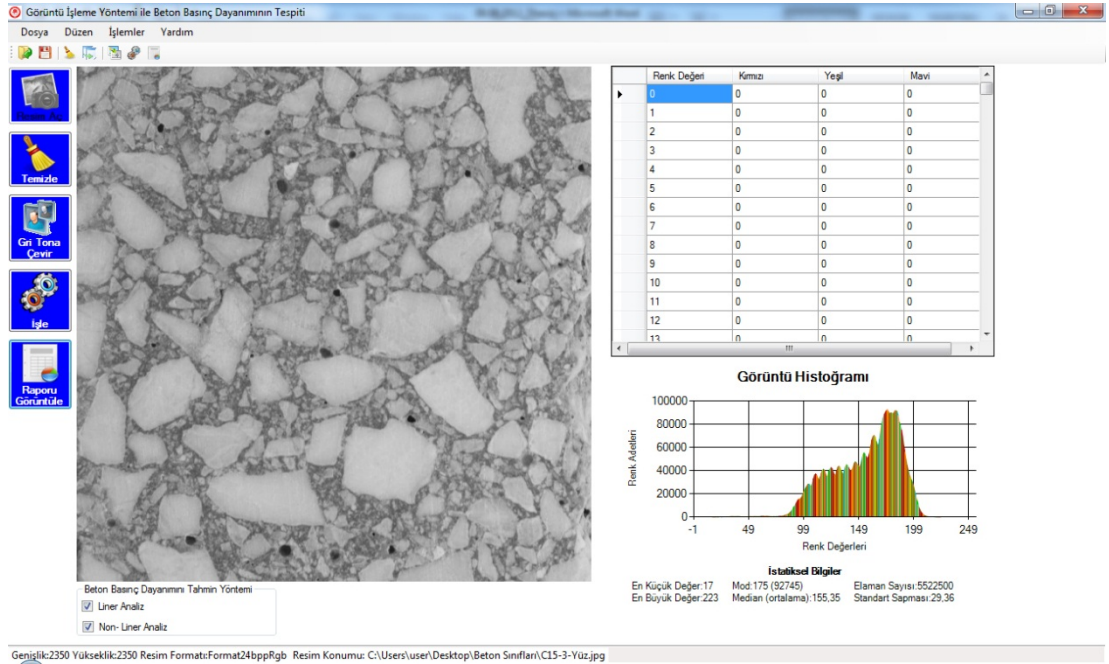


Eğer istenirse rapor değişik formatlarda kayıt edilebilmektedir (Şekil 4.36).



Şekil 4.36. İstenilen formatta kaydedilebilmesi

İşlem basamaklarına göre işlemlerin yapılmış son hali Şekil 4.37’de verilmiştir. Raporu görüntüle butonuna tıklandığında yukardaki raporlama açılacaktır (bkz. Şekil 4.33, bkz. Şekil 4.34, bkz. Şekil 4.35).

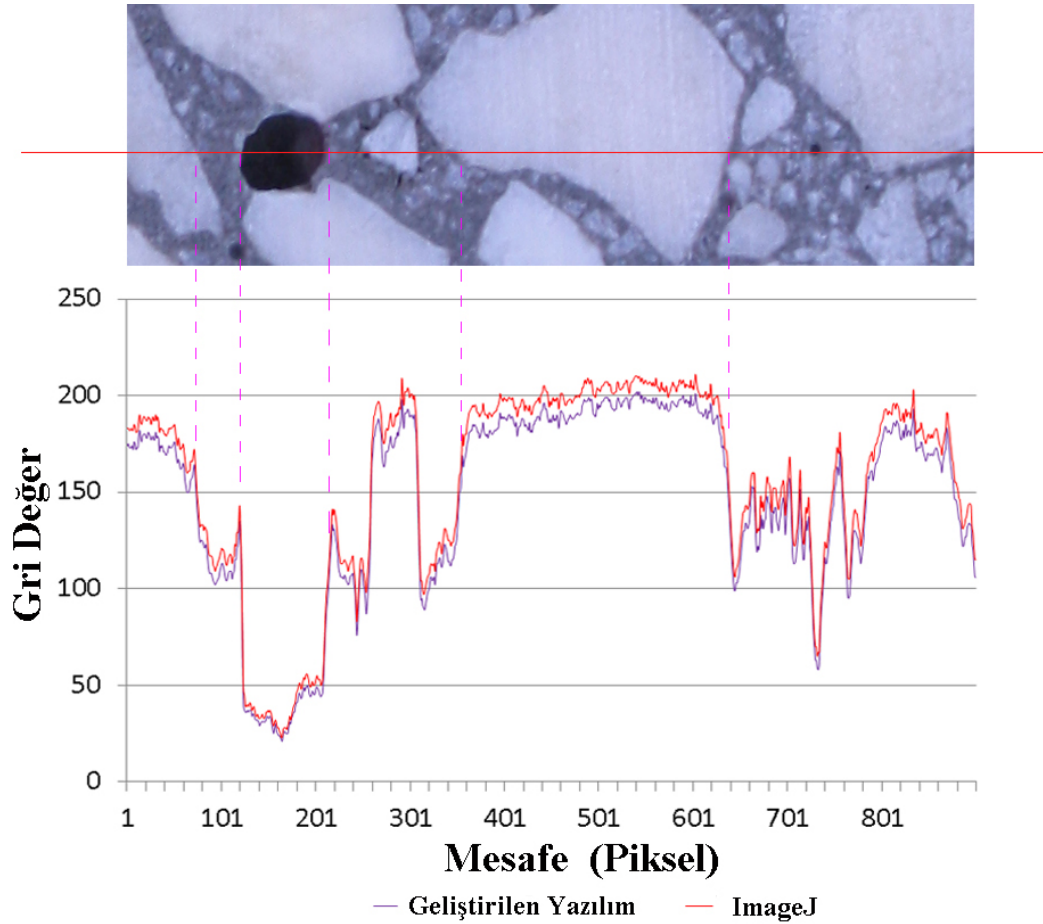


Şekil 4.37. İşlem basamaklarına göre işlemlerin yapılmış son hali

4.7. Geliştirilen Yazılım ve ImageJ Program Çıktılarının Karşılaştırılması

Renkli görüntülerin gri tonlu görüntülere dönüştürülmesinde ImageJ ve bu çalışmada geliştirilen yazılımın gri tonda elde ettiği renk değerleri arasında çok büyük olmamakla birlikte farklılıklar söz konusudur. Bu nedenle bu çalışmanın bu bölümünde hem ImageJ hem de geliştirilen yazılım sayesinde tahmin edilen beton basınç dayanımları bir biriyle karşılaştırılmıştır.

Şekil 4.38’de bir beton yüzeyinden elde edilen ve 1 piksel kalınlığındaki hat üzerinden elde edilmiş gri renk değerleri hem ImageJ hem de geliştirilen yazılım için tek bir grafik üzerinde temsil edilmiştir.



Şekil 4.38. ImageJ ve geliştirilen yazılımın elde etmiş olduğu gri renk değerlerinin örtüşme grafiği

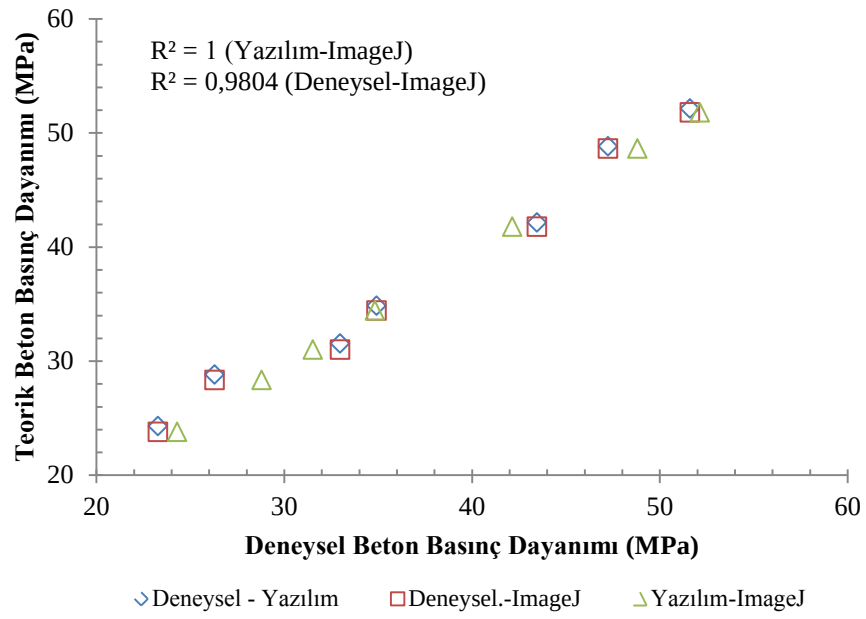
Şekil 4.38'den açıkça görüleceği üzere geliştirilen yazılım ile ImageJ programının elde etmiş olduğu gri renk tonları bir birinden farklı olmakla birbiriyle yüksek derece de uyum içerisindedir.

7 farklı beton serisinin her birinin 6 farklı yüzeyinden elde edilen ve hem ImageJ hem de geliştirilen yazılım sayesinde işlenen beton yüzey görüntülerinden türetilmiş hava boşluğu, çimento matrisi ve agrega ortalama yüzde değerleri Çizelge 4.10'da verilmiştir.

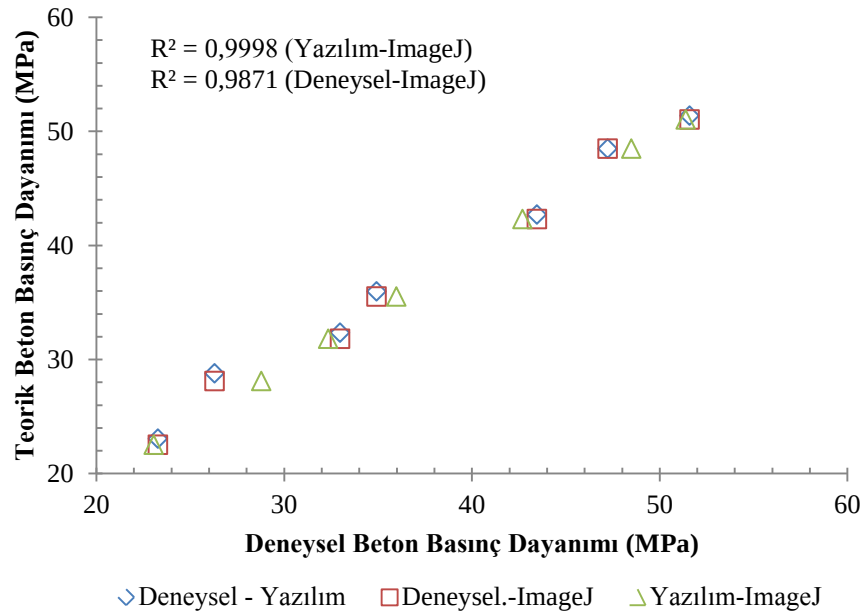
Çizelge 4.10. ImageJ ve geliştirilen yazılım tarafından elde edilen görüntü işleme analiz sonuçları

Beton Kodu	İmageJ			Geliştirilen Yazılım		
	Hava Boşluğu %	Çimento Matrisi %	Agrega %	Hava Boşluğu %	Çimento Matrisi %	Agrega %
N1	0,19	28,31	71,5	0,19	28,69	71,12
N2	0,24	31,60	68,16	0,25	31,94	67,82
N3	0,32	33,52	66,16	0,32	33,91	65,77
N4	0,40	36,01	63,59	0,41	36,30	63,29
N5	0,59	41,32	58,09	0,60	41,58	57,83
N6	1,06	46,26	52,53	0,89	46,40	52,71
N7	1,21	48,56	50,39	1,23	48,80	49,97

Çizelge 4.10'da verilen hava boşluğu, çimento matrisi ve agrega yüzdeleri kullanılarak ve Çizelge 4.8'deki parametrelere göre elde edilen tahmini basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılmış hali Şekil 4.39 ve Şekil 4.40'da gösterilmiştir.



Şekil 4.39. Tahmini sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Lineer)



Şekil 4.40. Tahmini sonuçlar ile deneysel sonuçların karşılaştırılması (Lineer olmayan)

Şekil 4.39 ve Şekil 4.40 incelendiğinde geliştirilen yazılımın ImageJ programı ile uyum içerisinde olduğu, ayrıca lineer ve lineer olmayan denklem takımlarının

kullanılarak elde edilen tahmin beton basınç dayanımlarının deneysel sonuçlarla yüksek bir ilişkiye sahip olduğu gözlenmektedir.

4.8. Karşılaştırma Betonlarına Ait Sonuçlar

Karşılaştırma betonlarına ait deney sonuçları Çizelge 4.11’ de verilmiştir. Çizelge 4.11 incelendiğinde değerlerin beklendiği gibi olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.11. K serisine ait sertleşmiş beton deneyleri sonuçları

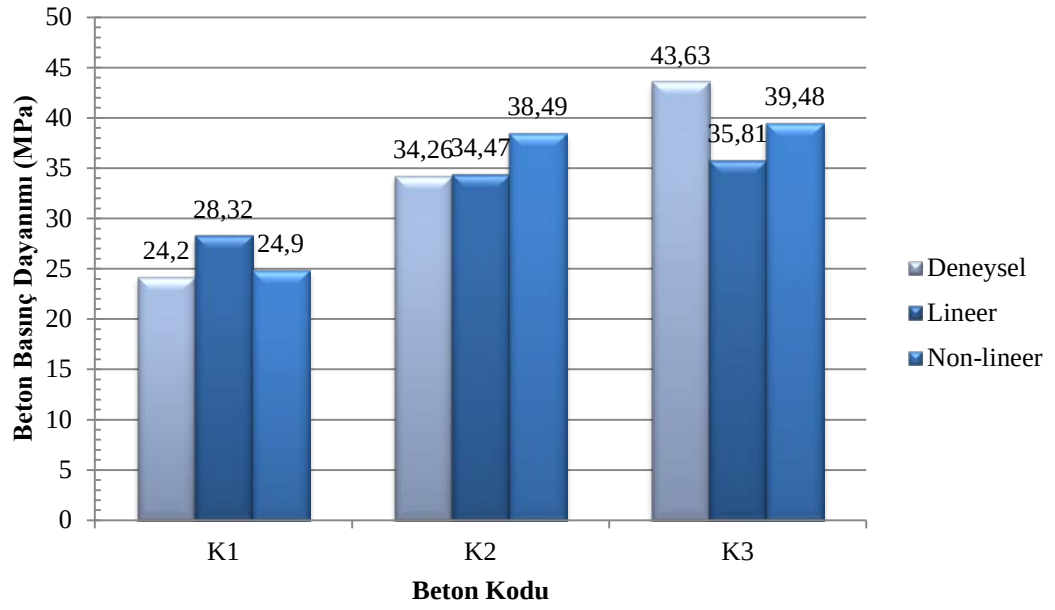
Beton Kodları	S/Ç	Basınç Dayanımı (MPa)	Ort. Ultra ses hızı (km/s)	Gör. Özgül ağırlığı (kg/dm ³)	Su emme (%)	Ort. Schmidt sertlikleri	Porozite (%)
K1	0,69	24,20	4,31	2,55	5,24	20,52	11,79
K2	0,54	34,26	4,50	2,52	4,28	22,94	9,75
K3	0,42	43,63	4,61	2,50	3,42	27,81	7,87

4.9. Geliştirilen Yazılımın Kontrolü

Geliştirilen yazılımı test etmek amacıyla normal betonlardan farklı zaman da dökülmüş 15×15×15 cm boyutlarındaki küp numunelerin görüntüleri geliştirilen yazılımla işlenerek dayanım tahmini yapılmıştır. Karşılaştırma betonlarından elde edilen görüntüler geliştirilen yazılım sayesinde işlenerek beton basınç dayanımları tahmin edilerek gerçek deney sonuçları ile karşılaştırılmıştır (Çizelge 4.12, Şekil 4.41).

Çizelge 4.12. Geliştirilen yazılım sayesinde tahmin edilen sonuçlar

K1				K2				K3			
Parça	Yüzey No	Dayanım Tahmini (Mpa)		Parça	Yüzey No	Dayanım Tahmini (Mpa)		Parça	Yüzey No	Dayanım Tahmini (Mpa)	
		Lineer	Non Lineer			Lineer	Non Lineer			Lineer	Non Lineer
1	1	26,58	19,36	1	1	36,67	40,14	1	1	46,27	47,46
2	2	30,82	27,48	2	2	35,99	39,6	2	2	40,04	42,72
	3	24,7	23,65		3	37,58	40,84		3	36,49	40,04
3	4	30,95	27,05	3	4	35,36	39,18	3	4	33,19	37,47
	5	29,5	22,39		5	41,05	43,53		5	42,01	44,24
4	6	29,77	26,71	4	6	35,29	39,17	4	6	37,78	41,00
	7	25,03	25,08		7	28,84	34,21		7	23,56	30,07
5	8	29,22	27,47	5	8	24,95	31,21	5	8	27,17	32,87
Tahmin Ort.		28,32	24,90	Tahmin Ort.		34,47	38,49	Tahmin Ort.		35,81	39,48
Deneysel		24,20	24,20	Deneysel		34,26	34,26	Deneysel		43,63	43,63
Fark		% 15	% 3	Fark		% 1	% 11	Fark		% 22	% 11



Şekil 4.41. Tahmini ve deneysel veri sonuçlarının karşılaştırılması

Çizelge 4.12’ de açıkça görüldüğü gibi geliştirilen yazılımın beton basınç dayanımı tahmininde kullanılabileceği görülmüştür. Geliştirilen yazılımın beton dayanımına bağlı olarak %78 - %99 arasında doğru tahmin sonuçları verdiği gözlenmiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, farklı beton sınıflarının görüntü işleme tekniği kullanılarak basınç dayanımlarını belirleyebilmek amacıyla S/Ç oranı 0.79, 0.69, 0.61, 0.54, 0.47, 0.42 ve 0.37 olacak şekilde 7 farklı beton numunesi elde edilmiştir. Elde edilen numuneler üzerinde sertleşmiş beton deneyleri ve görüntü işleme teknikleri kullanılarak analizler gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları ImageJ ve C# programlama dilinde geliştirilen bir yazılım ile işlenmiştir. Geliştirilen yazılım öncelikle ImageJ programı ile karşılaştırılmış, daha sonra 0.69, 0.54 ve 0.42 S/Ç oranına sahip 3 farklı beton numunesi üzerinde test edilmiştir.

Deneysel sonuçlar ve görüntü işleme yönteminden elde edilen veriler değerlendirildiğinde;

- Çimento içeriği arttıkça ve S/Ç oranı azaldıkça beton basınç dayanımının arttığı,
- Çimento içeriği arttıkça betonun su emme değerlerinin azaldığı,
- Beton görünen yoğunluklarının birbirlerine çok yakın olduğu,
- Çimento içeriği arttıkça görüntülerde gri değerlerin arttığı,
- S/Ç oranı arttıkça betonun porozite değerlerinin azaldığı,
- Ortalama Ultrases geçiş hızı değerlerinde ayırt edici bir farklılığın olmadığı,
- Schmidt yüzey sertliği değerlerinin çimento dozajı ile paralel olarak arttığı,
- Görüntü işleme yöntemiyle elde edilmiş çimento matrisi yüzdesi arttıkça, beton basınç dayanımının arttığı,

-Görüntü işleme sonucuyla elde edilmiş çimento matrisi, agrega ve hava boşluğu yüzdeleri kullanılarak, beton basınç dayanımının tahmin edilebildiği,

- Geliştirilen yazılımın %78-%99 oranında doğru tahminlerde bulunduğu

- Beton karışım hesabında kullanılan teorik agrega hacmi miktarı ile görüntü işleme yöntemiyle elde edilen agrega hacmi değerleri arasında yüksek bir ilişkinin bulunduğu ($R^2=0,9846$) gözlenmiştir.

Sonuç olarak kullanılan görüntü işleme tekniği ile beton içerisindeki agrega ve çimento matrisi oranlarının elde edilebildiği ve bu değerler kullanılarak beton basınç dayanımlarının $R^2=0,980$ düzeyinde yüksek bir ilişki ile tahmin edilebildiği sonucuna varılmıştır. Ayrıca agrega, çimento matrisi ve hava boşluğu yüzdeleri kullanarak yapılan doğrusal olmayan regresyon analizi sonucunda $R^2=0,987$ düzeyinde yüksek bir ilişki ile beton dayanımın tahmin edilebileceği sonucuna varılmıştır. Bu değerlerin farkının çok değişmediği, yüzeye yakın bir bölümden yapıya fazla bir zarar vermeden alınacak görüntü ile de bu yöntemin kullanılabilir olduğu açıktır.

Görüntü işleme yönteminin beton içerisinde kullanılan agrega ve çimento miktarlarının yerinde belirlenmesinde tahribatlı ve tahribatsız yöntemler ile birlikte beton yaşı, saklama sıcaklığı ve bağıl nemi de göz önüne alınarak kullanılabileceği anlaşılmaktadır.

Görüntülerin elde edilmesinde ışık şiddetinin ne kadar önemli olduğu, kullanılan fotoğraf makinesinin çekim modları arasında bile görüntülerdeki renk değerlerinin değiştiği, fotoğraf makinesinin yüksekliği aynı olmasına rağmen yapılan optik büyütmenin sonuçları değiştirdiği gözlenmiştir.

Kullanılacak agrega kökeni, türü, çimento tipi ve miktarı, kullanılacak mineral ve kimyasal katkılara göre beton renginin değişiklik gösterebileceği unutulmamalıdır. Aralıklar belirlenirken bu sayılan parametrelere göre değişiklik olabileceği göz önünde bulundurulmalıdır.

Bu çalışmada geliştirilen yazılım 8 ve 16 bitlik resimleri işleyebilmekte, bmp ve jpeg uzantılı dosyaları açabilmekte, başka bir yazılıma veya işlem basamağına ihtiyaç duymadan beton basınç dayanımı tahmin edebilmekte, gri tona çevrilmiş orijinal görüntüleri renklendirip tekrar çizebilmekte ve tüm sonuçları bir rapor dosyası halinde kullanıcıya sunabilmektedir. Raporlar istenildiği takdirde farklı formatlarda yeniden kaydedilebilmektedir.

Öneriler,

- Farklı tip çimento, farklı agrega kökeni, kimyasal ve mineral katkıları kullanılarak ve örnek sayısı artırılarak çalışma devam ettirilebilir niteliktedir. Daha fazla deney örneğinde çalışılarak abaklar hazırlanabilir.

- Geliştirilen yazılım, öneriler ışığında yapılacak düzenlemelerle birlikte daha esnek ve kullanıcının çimento matrisi, agrega ve hava boşluğu sınır değerlerini kendinin belirleyebileceği bir yapıya getirilerek kullanımı kolaylaştırılabilir. Hatta yapay sinir ağları, genetik algoritma, bulanık mantık vb. yapay zeka uygulamaları yazılıma entegre edilerek programın çimento, agrega ve hava boşluğunu otomatik olarak seçip tanımlaması ve anlık olarak aralıkları belirleyerek daha güçlü ve geçerli bir yapıya sahip olması sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- 724 Magaza, 2012. Karot Uçları. Erişim Tarihi: 12.08.2012. http://www.724magaza.com/moduleS/Çatalog/products/pr_01_30304_max.jpg.
- Abdel-Qader, I., Pashaie-Rad, S., Abudayyeh, O., Yehia, S., 2006. PCA-Based Algorithm for Unsupervised Bridge Crack Detection. Advances in Engineering Software, 37, 771–778.
- Akçay, B., Taşdemir, M. A., Şenel, Ç., Arslan, G. E., 2009. Karma Çelik Lif Donatılı Kendiliğinden Yerleşen Betonlarda Lif Dağılımının İncelenmesi. Uluslararası Katılımlı Yapılarda Kimyasal Katkılar 3. Sempozyumu, 2-3 Nisan, Ankara, 43-52.
- Akkın, T., 2011. Karot Hakkında. İMO, İstanbul Şubesi, Haber Bülteni, 198(112), 13-20.
- Akkurt, I., Comak, B., Kilincarslan, S., Basyigit, C., 2010. Image Processing Technique (IPT) to Determine Radiation Shielding. Digital Signal Processing, 20, 1592–1596.
- Akman M. S., Güner, A., 1980. The Application of Combined Non-Destructive testing with Schmidt Rebound Number and Pulse Velocity to Concretes Subjected to Elevated Temperatures. Paper presented at the Meeting of the RILEM Committee 43 CND on non-Destructive Testing of Concrete, Rumania (Sinaia), 12.
- Akman, M. S., Güner A., 1984. The Applicability of Sonreb Method on Damaged Concrete. Materials and Structures, 99, 195-200.
- Akpınar Beton, 2012. Mineral Katkılar. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://www.akpinarbeton.com/tr/hazir-beton/hazir-beton-icerigi-ve-teknolojisi/katkilar/mineral-katkilar/>.
- Alibaba, 2012. Ultrasonic Pulse Velocity Test Equipment The Pundit 6. Erişim Tarihi: 12.08.2012. http://i01.i.aliimg.com/photo/v0/225220645/ULTRASONIC_PULSE_VELOCITY_TEST_EQUIPMENT_The_PUNDIT.jpg.
- Anonim. 2012. 2011Yılı Hazır Beton İstatistikleri. Türkiye Hazır Beton Birliği, 6s, İstanbul.
- Anonymous. 2002. Guidebook On Non-Destructive Testing Of Concrete Structures. International Atomic Energy Agency, 231 p, VIENNA.

- Anonymous.1995. Erudite MKII Resonant Frequency Test System, Operating Manuel. C.N.S. Electronics, 67p.
- Arioğlu, E., Arioğlu N., 2005. Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi. Evrim Yayınevi, 258s, İstanbul.
- Arıöz, Ö., 2004. Beton Dayanımının Standart, Tahribatlı, Yarı Tahribatlı ve Tahribatsız Yöntemlerle Belirlenmesi. Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 233s, Eskişehir.
- Aslantaş, A., 2006. Bir Ağaç Kesitindeki Yıllık Halkaların Görüntü İşleme Yöntemi ile İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 49s, Isparta.
- Astm C 597 -02, 2002. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete. ASTM, USA.
- ASTM C 597-97, 1998. Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete, ASTM, Easton, MD, USA.
- Aydoğan T., 2008. Sinir Sistemi Görüntülenmesinde Farklı Görüntü Kayıtlarının Çıkarılması. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Isparta.
- Barbosa, F.S., Farage, M.C.R., Beaucour, A.-L., Ortola S., Evaluation of aggregate gradation in lightweight concrete via image processing, Construction and Building Materials, 29, (2012), 7–11.
- Barbosa,, F.S., Beaucour, A.-L., Farage, M.C.R., Ortola S., 2011. Image Processing Applied to the Analysis of Segregation in Lightweight Aggregate Concretes, Construction and Building Materials, 25, 3375–3381.
- Başka, M.A., 2006. Betonun Basınç Dayanımının Belirlenmesi ve Değerlendirilmesi. Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 94s, Erzurum.
- Başığit, C., Kılınçarslan, Ş., Çomak, B., 2012 a. Assessment of Concrete Compressive Strength by Image Processing Technique, SDU, Journal of Natural and Applied Sciences, 16(1), 82-88.
- Başığit. C., Çomak, B. and Kılınçarslan, Ş., 2012b . A New Approach to Compressive Strength Assessment of Concrete: Image Processing Technique, 2nd International Advances in Applied Physics & Materials Science Congress, APMAS-2012, April 26-29, Antalya, 276.
- Bayram, B., 2012 Sayısal Görüntü İşleme. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://www.yildiz.edu.tr/~bayram/sgi/saygi.htm>.

- Bedirhanoğlu, İ., 2011. Yapı Malzemesi, Beton Tasarımı. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://www.dicle.edu.tr/a/idrisb/webtr/Yapi%20Mlz/YM-5-Beton.pdf>.
- Bungey, J. H., Millard S. G., Grantham M. G., 2006. Testing of Concrete in Structures. Taylor & Francis e-Library, 339p, London and New York.
- Bungey, J.H, Soutsos, M.N., 2001. Reliability of Partially-Destructive Tests to Assess the Strength of Concrete on Site. Construction and Building Materials, 15, 81-92.
- Castleman, K. R., 1996. Digital Image Processing. Prentice Hall Inc., 666p., USA.
- Center Ltd. Şti., 2012. Karot Makinaları. Erişim Tarihi: 12.08.2012. http://www.centerltd.com.tr/stok_resim/b_DCM%202-350%20C%204004.jpg.
- Chang, C. W., Lien, H. S., Lin, C. H., 2010. Determination of the Stress Intensity Factors Due to Corrosion Cracking in Ferroconcrete by Digital Image Processing Reflection Photoelasticity. Corrosion Science, 52, 1570–1575.
- Chang, C., Chen, P. H., Lien, H. S., 2009. Evaluation of Residual Stress In Pre-Stressed Concrete Material by Digital Image Processing Photoelastic Coating and Hole Drilling Method. Measurement, 42, 552–558.
- Chang, C.W., Lien, H.S., 2007. Expansion Stress Analysis of Ferroconcrete Corrosion by Digital Reflection Photoelasticity. NDT&E International, 40, 309–314.
- Chen, Z., Derakhshani, R. R., Halmen, C., Kevern, J. T., 2011. A Texture-Based Method for Classifying Cracked Concrete Surfaces from Digital Images Using Neural Networks. Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, 2632-3637, California, USA.
- Çomak B., Beycioğlu A., Başyigit C., Kılınçarslan Ş., 2011. Beton Teknolojisinde Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanımı. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), May 16-18, Elazığ, 220-227.
- DIN 1048-1, 1991. Testing Concrete; Testing of Fresh Concrete. Deutsches Institut für Normung.
- Edizer E., 2006. Sayısal Görüntü İşleme Yöntemi ile Tane Boyut Dağılımı Analizi. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 235s, Adana.
- Erdal M., Şimşek O., Aruntaş H. Y. (2003). Betonun Kalite Kontrolünde İleri Teknoloji Kullanımı. 3RD International Advanced Technologies Symposium, 18-20 August, Ankara, 342-352.

- Erdal, M., 2002. Beton Basınç Dayanımının Bazı Tahribatsız Test Yöntemleriyle Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 83s, Ankara.
- Erdoğan, T.Y., 2007. Beton. ODTU Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 757 s., Ankara.
- Ergün, A, Kürklü, G., 2005. Mevcut Betonarme Yapılarda Beton Dayanımının Belirlenmesi. Kocaeli Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, 817-826.
- Fang, C., Labi, S., 2007. Evaluating the Static Segregation Resistance of Hardened Self- Consolidating Concrete Using Image Processing Technology. Transportation Research Record 2020, 1-9.
- Felekoğlu, B. ve Güllü, D., 2006. Klinker İncelemelerinde Optik Mikroskop ve Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanılması. İMO Teknik Dergi, 247, 3761 - 3770.
- Fernandes B.T., Silva, I., Gaydecki, P.A., 2000. Vector Extraction from Digital Images of Steel Bars Produced by An Inductive Scanning System Using A Differential Gradient Method Combined with A Modified Hough Transform. NDT&E International, 33, 69–75.
- Filiz, M. H. 2006. Beton Karot Dayanımları ile Standart Silindir Dayanımları Arasındaki İlişkinin Kür Koşullarına Bağlı Olarak Belirlenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 73s, Trabzon.
- Flood, I., Kartam N., 1998. Artificial Neural Networks for Civil Engineers: Advanced Features and Applications. American Society of Civil Engineers, 277 p., USA.
- Fujita, Y., Hamamoto, Y., 2011. A Robust Automatic Crack Detection Method From Noisy Concrete Surfaces. Machine Vision and Applications, 22, 245–254.
- Gaydecki, P., Silva, I., Fernandes, B.T., Yu, Z.Z., 2000. A Portable Inductive Scanning System for Imaging Steel-Reinforcing Bars Embedded Within Concrete. Sensors and Actuators, 84, 25–32.
- Gonzalez, R.C., Woods, R.E., 2002. Digital Image Processing. Prentice-Hall, International Inc., 973 p., New Jersey.
- Göçeri E., 2006. Visual C# 2005 Kullanılarak Çok Boyutlu Görüntüler için Jpeg2000 Standardını Destekleyen Görüntü işleme Uygulaması. Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 66 s, Denizli.
- Gönen D., Gümüştekin Ş., ve Oral A., 2006. Mozaik Dizme Otomasyonu için Görüntü Algılama ile Mermer Yüzey Kalitesinin Değerlendirilmesi. TİMAK-

Tasarım İmalat Analiz Kongresi, Timak Bildiri Kitabı, 26-28 Nisan, Balıkesir, 529-537.

Güler M., Sözen Ş., ve Özen M., 2007. Görüntü Yöntemlerinin Beton Mikro Yapısının ve Çelik Birleşimlerin Deformasyon Davranışlarının Belirlenmesinde Uygulanması. TÜBİTAK, Proje No:105M085, Proje, 185 s, Ankara.

Güner A., Akkan S., Ergönül S., 1989. Yuvarlak Doğal Agregalı Betonlarda Sonreb Uygulaması. I. Ulusal Beton Kongresi, 24-26 Mayıs, İstanbul, 365-378.

Güner, M. S., Yüksel A., 2008. Yapı Bilgisi Teknolojisi I-II. Aktif Yayınevi, 449 s. İstanbul.

Head, M. K., Buenfeld, N. R., 2006. Measurement of Aggregate Interfacial Porosity in Complex, Multi-Phase Aggregate Concrete: Binary Mask Production Using Backscattered Electron and Energy Dispersive X-Ray Images. Cement and Concrete Research, 36, 337 – 345.

Huon, V., Cousin, B., Wattrisse, B., Maisonneuve, O., 2009. Investigating the Thermo-Mechanical Behaviour of Cementitious Materials Using Image Processing Techniques. Cement and Concrete Research, 39, 529–536.

Isa, N. A. M., Al-Batah, M. S., Zamli, K. Z., Azizli, K. A., Joret, A., Noor, N. R. M., 2008. Suitable Features Selection for the Hmlp And Mlp Networks to Identify The Shape of Aggregate. Construction and Building Materials, 22, 402–410.

Isa, N. A. M., Sani, Z. M., Al-Batah, M. S., 2011. Automated İntelligent Real-Time System for Aggregate Classification. International Journal of Mineral Processing, 100, 41–50.

Jähne, B., 2002. Digital Image Processing. Springer, 585p., Germany.

Kabir, S., Rivard, P., He, D., Thivierge, P., 2009. Damage Assessment for Concrete Structure Using Image Processing Techniques on Acoustic Borehole Imagery. Construction and Building Materials, 23, 3166–3174.

Kadiroğlu, İ., Erbakan, G., 2004. Farklı Kür Koşulları Altındaki Betonarme Yapı Elemanlarının Basınç Dayanımı Tespitinde, Standart Numuneler ve Farklı Boyutlardaki Karot Numuneleri Arasındaki İlişkiler. İMO, İzmir Şubesi, Haber Bülteni, 19(118), 53-62.

Kamanlı, M., Balık F. S., 2003. Çimento Teknolojisi. Atlas Yayın Dağıtım, Yayın No:24, 117s, İstanbul.

Kang, S. T., Lee, B. Y., Kim, J.-K., Kim, Y. Y., 2011. The Effect of Fibre Distribution Characteristics on The Flexural Strength of Steel Fibre-

Reinforced Ultra High Strength Concrete. Construction and Building Materials, 25, 2450–2457.

Kensains, 2012. Pullout Test Apparatus. Erişim Tarihi: 12.08.2012. http://www.kensains.com.my/images/img_ndt_pta.jpg.

Kılınçarslan, Ş., Başığit, C., Çomak, B., Akkurt, İ. 2009. Determination of Concrete Properties With Image Processing. 5th International Advanced Technologies Symposium, May 13-15, Karabük.

Koschan, A. Abidi, M., 2008. Digital Color Image Processing. John Wiley & Sons, Inc., 375 p., USA.

Lab Cement, 2012. Hydrated Cement Paste. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://www.cementlab.com/cement-art.htm>.

Lange D. A., Jennings, H. M., Shah, S. P., 1994. Image Analysis Techniques For Characterization of Pore Structure of Cement - Based Materials. Cement and Concrete Research, 24(5), 841-853.

Lopez, M., Kahn, L. F., Kurtis, K. E., 2009. Characterization of Elastic and Time-Dependent Deformations in High Performance Lightweight Concrete by Image Analysis. Cement and Concrete Research, 39, 610–619.

Malhotra, V.M., Carino, N.J., 2004. Handbook on Nondestructive Testing Of Concrete. CRC Press LLC, 365p, USA.

Mehta, P. K., Monteiro, P. J. M., 2006. Concrete Microstructure, Properties and Materials. McGraw-Hill Companies Inc., 659p, USA.

Mindess, S., Young, J. F., Darwin D., 2003. Concrete. Pearson Education, Inc., 644 p., USA.

Mora, C.F., Kwan, A.K.H., 2000. Sphericity, Shape Factor and Convexity Measurement of Coarse Aggregate for Concrete Using Digital Image Processing. Cement and Concrete Research, 30, 351-358.

Nagatakia, S., Gokce A., Saeki T., Hisada M., 2004. Assessment of Recycling Process Induced Damage Sensitivity of Recycled Concrete Aggregates. Cement and Concrete Research, 34, 965–971.

Nambiar, E. K. K., Ramamurthy, K., 2007. Air-void Characterisation of Foam Concrete. Cement and Concrete Research, 37, 221–230.

Neville, A. M., 1991. Properties of Concrete. Longman Scientific & Technical, 779p, New York.

- Nishikawa, T., Yoshida, J., Sugiyama, T., Fujino, Y., 2012. Concrete Crack Detection by Multiple Sequential Image Filtering. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 27, 29-47.
- Ntu, 2012. Non Destructive Test Equipment, Break-off Tester. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://www3.ntu.edu.sg/home/cchtui/breakoff.jpg>.
- Onat M., 2008. Dijital Görüntü İşleme Yöntemleriyle Lifli Beton Numunelerindeki Çatlakların Tespit Edilmesi. Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 41s, Elazığ.
- Ozturk A. U., Baradan B., 2008. A Comparison Study of Porosity and Compressive Strength Mathematical Models with Image Analysis. Computational Materials Science, 43, 974-979.
- Öncü, M. E., Karakaş, A. S., Kavak, M.T., 2006. Production of High Performance Concrete Using Admixtures. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences, 2, 76-82.
- Özen, M., 2007. Investigation of Relationship Between Aggregate Shape Parameters and Concrete Strength Using Imaging Techniques. Middle East Technical University The Graduate School of Natural And Applied Sciences, Master Thesis, 152p, Ankara.
- Özerkan, N. G., 2009. Evaluation of Air Void Parameters of Fly Ash Incorporated Self Consolidating Concrete by Image Processing. Middle East Technical University The Graduate School of Natural And Applied Sciences, , Doctorate Thesis, 131p, Ankara.
- Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M. 1999. Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği, 128s, İstanbul.
- Park, S-H., Kim, H-K., Morales, A., Ko, S.-J., 2007. Air-void Analysis System of Polished Concrete Using Image Processing. Journal of Applied Computer Science, 15(2), 19-25.
- Postacıoğlu, B., 1987. Beton- Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, Cilt 2, 404s, İstanbul.
- Pratt, W. K., 2007. Digital Image Processing. John Wiley & Sons, Inc., 782p, USA.
- Qualitest, 2012. Windsor HP Probe - ASTM C-803. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://www.worldoftest.com/img/products/WinsorProbetool.jpg>.
- Quick, S., Gaydecki, P., Fernades, B., Miller, G., 2002. Multiple Layer Separation and Visualisation of Inductively Scanned Images of Reinforcing Bars in Concrete Using a Polynomial-Based Separation Algorithm. NDT&E International, 35, 233-240.

- Robins, P., Austin, S., Chandler, J., Jones, P., 2001. Flexural Strain and Crack Width Measurement of Steel- Fibre- Reinforced Concrete By Optical Grid and Electrical Gauge Methods. *Cement and Concrete Research*, 31, 719-729.
- Rousan, T. M. A., 2004. Characterization of Aggregate Shape Properties Using a Computer Automated System. Texas A&M University, Civil Engineering, Doctor of Philosophy, 211p, Texas.
- Santos, P. M.D., Júlio, E.N.B.S., Silva, V. D., 2007. Correlation Between Concrete-To-Concrete Bond Strength and the Roughness of the Substrate Surface. *Construction and Building Materials*, 21, 1688–1695.
- Schutter, G. De, 2002. Advanced Monitoring of Cracked Structures Using Video Microscope and Automated Image Analysis. *NDT&E International*, 35, 209-212.
- Sinecen, M., ve Makinacı M., 2010. Agregaların Temel Şekil Özellikleri Kullanılarak Yapay Sinir Ağları Yardımıyla Sınıflandırılması. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 149-153.
- Sinha, S. K., Fieguth, P. W., 2006. Automated Detection of Cracks in Buried Concrete Pipe Images”, *Automation in Construction*, 15, 58 – 72.
- Sinha, S. K., Fieguth, P. W., 2006. Neuro-Fuzzy Network For The Classification Of Buried Pipe Defects. *Automation in Construction*, 15, 73 – 83.
- Sinha, S. K., Fieguth, P. W., 2006. Segmentation of Buried Concrete Pipe Images. *Automation in Construction*, 15, 47 – 57.
- Soroushian, P., Elzafraney, M., 2005. Morphological Operations, Planar Mathematical Formulations and Stereological Interpretations for Automated Image Analysis of Concrete Microstructure. *Cement & Concrete Composites*, 27, 823–833.
- Soroushian, P., Elzafraney, M., 2005. Morphological Operations, Planar Mathematical Formulations and Stereological Interpretations for Automated Image Analysis of Concrete Microstructure. *Cement & Concrete Composites*, 27, 823–833.
- Spyrou, S., Davison, J.B., 2001. Displacement Measurement in Studies Of Steel T-stub Connections. *Journal of Constructional Steel Research*, 57, 647–659.
- Şimşek, O., 2010. Beton Bileşenleri ve Beton Deneyleri. Seçkin Yayıncılık, 384s, Ankara.
- Tankut, T. , Ersoy, E., 1989. Beton Dayanımının Yapı Güvenliğine Etkisi. 1. Ulusal Beton Kongresi, 24-26 Ekim, İstanbul, 38-52.

THBB (Türkiye Hazır Beton Birliği) 2012. Karışım Suyu. Erişim Tarihi:11.08.2012.
<http://www.thbb.org/Content.aspx?ID=26>.

Topçu, İ. B., 2008. Yapı Malzemeleri ve Beton. Uğur Ofset, 550 s., Eskişehir.

Topçu, İ. B., Karakurt, C., 2002. Farklı Çimentolar ile Üretilen Betonlarda Olgunluk Kavramı. ECAS 2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, 14 Ekim, Ankara, 477- 484.

TS 706 EN 12620, 2009. Beton Agregaları. TSE, Ankara.

TS EN 1008, 2003. Beton - Karma Suyu - Numune Alma, Deneyler Ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları.TSE, Ankara.

TS EN 12390-1, 2002. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikler. TSE, Ankara.

TS EN 12390-2, 2010. Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması. TSE, Ankara.

TS EN 12390-3, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 12390-4, 2002. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 4: Basınç Dayanımı - Deney Makinelerinin Özellikleri. TSE, Ankara.

TS EN 12390-7, 2010. Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 12504-1, 2011. Beton - Yapıda beton deneyleri - Bölüm 1: Karot Numuneler - Karot Alma, Muayene ve Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 12504-2, 2004. Yapılarda beton deneyleri - Bölüm 2: Tahribatsız Deneyler - Geri Sıçrama Değerinin Tayini, TSE, Ankara.

TS EN 12504-4, 2004. Beton deneyleri - Bölüm 4: Ultrases Geçiş Hızının Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 13791, 2010. Basınç Dayanımının Yapılar ve Ön Dökümlü Beton Bileşenlerde Yerinde Tayini. TSE, Ankara.

TS EN 197-1, 2002. Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TSE, Ankara.

TS EN 206-1, 2002. Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk. TSE, Ankara.

- Turgut, P., 2011. Tahribatlı ve Tahribatsız Yapı Muayene Yöntemleri. Erişim Tarihi: 12.08.2012. <http://eng.harran.edu.tr/~pturgut/ndd1.pdf>.
- Uğurlu, A., 1999. Agregat - Çimento Hamuru Bağlı Üzerine. 2.Ulusal Kırmataş Sempozyumu'99, 3-4 Haziran, 213-228, İstanbul.
- Uygunoğlu, T., 2008. Hafif Agregalı Kendiliğinden Yerleşen Betonların Özellikleri, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 155s, Isparta.
- Valença, J., Dias-da-Costa, D., Júlio, E.N.B.S., 2012. Characterisation of Concrete Cracking During Laboratorial Tests Using Image Processing. Construction and Building Materials, 28, 607–615.
- Vikipedi, 2012. Görüntü. Erişim Tarihi: 10.02.2012. <http://tr.wikipedia.org/wiki/G%C3%B6r%C3%BCnt%C3%BC>
- Vikipedia, 2012. RGB Renk Uzayı. Erişim Tarihi: 12.08.2012. http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/0/03/RGB_farbwuerfel.jpg/600px-RGB_farbwuerfel.jpg.
- Yaman K., Sarucan A., Atak M., Aktürk N., 2001. Dinamik Çizelgeleme İçin Görüntü İşleme ve Arıma Modelleri Yardımıyla Veri Hazırlama. Gazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Der., 16(1), 19-40.
- Yapı Test, 2012. Mineral Katkılar. Erişim Tarihi: 12.08.2012. http://www.yapitest.net/index.php?option=com_content&view=article&id=39&Itemid=37.
- Yazıcı, H., 2003. Beton ve Çelikte Kalite Kontrol Süreçleri. Deprem Sempozyumu, 18 Ekim, Uşak, 61-68.
- Yılmaz, A., 2007. Kamera Kullanılarak Görüntü İşleme Yoluyla Gerçek Zamanlı Güvenlik Uygulaması. Haliç Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s, İstanbul.
- Yu, S-N., Jang, J-H., Han, C.-S., 2007. Auto Inspection System Using a Mobile Robot for Detecting Concrete Cracks in A Tunnel. Automation in Construction, 16, 255–261.
- Yüksel, İ., 2003. Bileşik Yıkıntısız Yöntemle Yerinde Beton Dayanımının Tahmini. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 9(2), 231-235.
- Zhu, Z., Brilakis, I., 2010. Parameter Optimization for Automated Concrete Detection in Image Data. Automation in Construction, 19, 944–953.

EKLER

EK A. Çalışmada Kullanılan Agreganın Fiziksel ve Mekanik Özellikleri


TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
TURKISH STANDARDS INSTITUTION

CERTIFICATE OF FACTORY PRODUCTION CONTROL
1783 - CPD – 0054

In compliance the Directive 89/106/EEC of the Council of European Communities of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to the construction products (Construction Products Directive - CPD), amended by the Directive 93/68/EEC of the Council of European Communities of 22 July 1993, it has been stated that the construction product

AGGREGATES FOR CONCRETE

a) 0/4 mm G_F 85 – f₁₆
b) 5,6/11,2 mm G_C 85/20 – f_{1,5}
c) 11,2/22,4 mm G_C 85/20 – f_{1,5}

produced by the manufacturer

KARTAŞ HAZIR BETON YAPI ELEM. SAN.NAK. ve TİC.LTD.ŞTİ.
Bahçelievler Mah. Süleyman Demirel Bulv.No:61 ISPARTA

in the factory

Gümüşgün Köyü Küçükasarlık Tepesi Mevkii Gönen - ISPARTA

is submitted by the manufacturer to the initial type-testing of the product, a factory production control and to the further testing of samples taken at the factory in accordance with a prescribed test plan and that the notified body Turkish Standards Institution has performed the initial inspection of the factory and of the factory production control and performs the continuous surveillance, assessment and approval of the factory production control.

This certificate attests that all provisions concerning the attestation of conformity and the performances described in the Annex ZA of the standard ,

EN 12620:2002

were applied.

This certificate was first issued on 06.11.2007 and remains valid as long as the conditions laid down in the harmonised technical specification in reference or the manufacturing conditions in the factory or the FPC itself are not modified significantly.

Ankara , 06.11.2007




Mehmet ÇETİN
PRODUCT CERTIFICATION CENTER
DEPUTY HEAD

www.tse.org.tr / Necatibey Cad. No: 112 Bakanlıklar - ANKARA / +90 312 416 62 00
This certificate cannot be altered, partially duplicated or creased for misunderstanding.



TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
TÜRK STANDARDLARINA UYGUNLUK BELGESİ
TURKISH STANDARDS INSTITUTION
CERTIFICATE OF CONFORMITY TO TURKISH STANDARDS

Markanın Tanımı Description of the Mark
TSE veya/or TSE veya/or T S E

BELGE NUMARASI
REFERENCE NUMBER OF LICENCE 1.20.14.01/786

BELGENİN İLK VERİLİŞ TARİHİ
DATE OF FIRST ISSUE OF LICENCE 27.07.2006

BELGENİN SON GEÇERLİLİK TARİHİ
LICENCE VALID UNTIL 27.07.2012

BELGE SAHİBİ KURULUŞUN ADI
NAME OF THE LICENCE HOLDER KARTAS HAZIR BETON YAPI ELEMANLARI SANAYİ NAKLİYAT VE TİCARET LTD.ŞTİ.

BELGE SAHİBİ KURULUŞUN ADRESİ
ADDRESS OF THE LICENCE HOLDER BAĞÇELİEVLER MAH.SÜLEYMAN DEMİREL BULV.NO:61 ISPARTA

ÜRETİM YERİ ADI
NAME OF THE MANUFACTURING PLACE KARTAS HAZIR BETON YAPI ELEMANLARI SANAYİ NAKLİYAT VE TİCARET LTD.ŞTİ.

ÜRETİM YERİ ADRESİ
ADDRESS OF THE MANUFACTURING PLACE GÖNEN İLÇESİ-GÜMÜŞGÜN KÖYÜ ASARLIK TEPEŞİ MEVKİİ ISPARTA

İPTAL EDİLEN BELGE NUMARASI (Varsa)
INDICATION OF SUPERSEDED LICENCE (if any)

TESCİLLİ TİCARİ MARKASI
REGISTERED TRADE MARK KARABULUT

İLGİLİ TÜRK STANDARDI
RELATED TURKISH STANDARD TS 706 EN 12620+A1 28.04.2009

BELGE KAPSAMI
SCOPE OF LICENCE

PETROGRAFIK TANIMLAMASI KALKER OLAN:
*0/4 mm İnce Agrega :Tane Sınıfı Kategorisi GF 85,Çok İnce Malzeme Muhtevası Kategorisi f 16,Asitte Çözülebilir Sülfat Muhtevası Kategorisi AS 0,2
*5,6/11,2 mm :Tane Sınıfı Kategorisi GC 85/20,Çok İnce Malzeme Muhtevası Kategorisi f4,Yassılık İndeksi Kategorisi FL20, Parçalanmaya Karşı Direnç Kategorisi LA 30,Asitte Çözülebilir Sülfat Muhtevası Kategorisi AS 0,2, Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnç Kategorisi MS 18
*11,2/22,4 mm :Tane Sınıfı Kategorisi GC 85/20,Çok İnce Malzeme Muhtevası Kategorisi f4, Yassılık İndeksi Kategorisi FL20, Parçalanmaya Karşı Direnç Kategorisi LA 30,Asitte Çözülebilir Sülfat Muhtevası Kategorisi AS 0,2, Donma/Çözülme Etkisine Karşı Direnç Kategorisi MS 18

13/09/2011
NAİL AKSEL
ANTALYA ÜRÜN BELGELENDİRME
MÜDÜRÜ

*Enstitümüzde verilmiş olan "İmalata Yeterlilik Belgesi" 15.04.2007 tarihinden itibaren uygulamadan kaldırılmıştır.
*Bu belge, belgelendirilen ürünün, üretim yerinin Enstitümüzün belirlediği şartları karşıladığını da gösterir.

Antalya Ürün Belgelendirme Müdürlüğü ANTALYA* Antalya ÜB Müd.Fabrikalar Mah. 3001 Sok. 1/5-6-7 * Tel: 0242.3466503* Faks: 0242.3341243 * web: www.tse.org.tr * e-mail: antalya@tse.org.tr

Bu belge hiçbir şekilde tefahüt edilemez, kesmen veya okunmasını zorlaştıracak şekilde çözülemez, kopya ve silinilmez.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Bekir ÇOMAK

Doğum Yeri ve Yılı: Isparta 06.11.1980

Medeni Hali: Bekar

Yabancı Dili: İngilizce



Eğitim Durumu

Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi
1999-2003

Yüksek Lisans: Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yapı
Eğitimi Anabilim Dalı 2004-2007

Çalıştığı Kurumlar

Ücretli Öğretim Görevlisi: Süleyman Demirel Üniversitesi, Senirkent Meslek
Yüksekokulu 2004-2009

Uzman: Düzce Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü
2009- Halen

1. SCI, SSCI, AHCI Tarafından Taranan Dergide Yayımlanan Makaleler

Akkurt, I., **Comak, B.**, Kılınçarslan, S. and Basyigit, C., 2010. Image Processing
Technique (IPT) to Determine Radiation Shielding. Digital Signal Processing,
Vol.20 (6), 1592-1596.

Başığit, C., **Çomak, B.**, Kılınçarslan, Ş. and Üncü, İ. S., 2012. Assessment of
Concrete Compressive Strength by Image Processing Technique. Construction and
Building Materials, 37, 526–532.

Başıyigit. C., **Çomak, B.**, Kılınçarslan, Ş., 2012. A New Approach to Compressive Strength Assessment of Concrete: Image Processing Technique. 2nd International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress AIP Conf. Proc. 1476, 65-69.

2. Diğer Uluslararası İndekslerde Taranan Dergiler

Çomak, B., Kadayıfçı A., Morova N., 2010. Isparta Yöresinde Çıkarılan Bazı Agregaların Mühendislik Özellikleri ve Betonda Kullanımının Araştırılması. SDU Fen Bilimleri Dergisi, 14(3), 279-284.

Subaşı, S., Şahin, İ., ve **Çomak, B.**, 2010. Beton Kabuğu Fiziksel Özelliklerinden Yararlanılarak Bulanık Mantık İle Basınç Dayanımının Belirlenmesi. Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 6(1), 38-45.

Subaşı, S., Şahin, İ., ve **Çomak, B.**, 2010. Tahribatsız Test Sonuçları Kullanılarak Uçucu Kül İkameli Betonlarda Basınç Dayanımının ANFIS İle Tahmini. SDU International Journal of Technologic Sciences, 2(3), 9-16.

Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş. and **Çomak, B.**, 2012. Assessment of Concrete Compressive Strength by Image Processing Technique. SDU, Journal of Natural and Applied Sciences, 16(1), 82-88.

3. Ulusal Hakemli Dergilerde Yayımlanan Makaleler

Subaşı, S., Beycioğlu, A. ve **Çomak, B.**, 2011. Puzolan Katkısının Beton Karbonatlaşma Derinliğine Etkisi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 24, 117-128.

4. Uluslararası Kongre ve Sempozyumlarda Sunulan Bildiriler

Kılınçarslan, Ş., Başıyigit, C., **Çomak, B.** and Akkurt, İ., 2009. Determination of Concrete Properties With Image Proccessing. 5th International Advanced Technologies Symposium, May 13-15, Karabük.

Çomak, B., Beycioğlu, A., Başıyigit, C., Kılınçarslan, Ş., 2011. Beton Teknolojisinde Görüntü İşleme Tekniklerinin Kullanımı. 6th International Advaced Technologies Symposium (IATS'11), May 16-18, Elazığ, 220-227.

Başıyigit, C., **Çomak, B.**, Kılınçarslan, Ş., 2012. A New Approach to Compressive Strength Assessment of Concrete: Image Processing Technique. 2nd International Advances in Applied Physics & Materials Science Congress, APMAS-2012, April 26-29, Antalya, 276.

5. Projeler

“İsparta yöresinde çıkarılan ve beton üretiminde agrega olarak kullanılan malzemelerin özelliklerinin belirlenmesi”, SDÜ AF 1111 YL 05. (Araştırmacı) – 2007-Tamamlandı.

"Farklı beton Sınıflarının Görüntü İşleme Yöntemi İle Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi ".SDÜ BAP Koor. Birimi, 1990-D-09. (Araştırmacı)- 2009- Devam Ediyor.

“Kendiliğinden Yerleşen Beton Kullanılan Perde Duvar Kalıplarında, Farklı Kalıp Yüzeyi ve Donatı Miktarının Taze Beton Yanal Basıncı Üzerine Etkileri”, Düzce Üniversitesi BAP Projesi, Araştırmacı, 2009-Devam Ediyor.