



ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

Kubilay AKÇAÖZOĞLU

112500

YÜKSEK DAYANIMLI BETON KARIŞIMI DİZAYNI

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA, 2001

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK DAYANIMLI BETON KARIŞIMI
DİZAYNI**

Kubilay AKÇAÖZOĞLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**Bu tez 01 / 02 / 2001 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği İle Kabul Edilmiştir.**

Yrd. Doç. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

DANIŞMAN

Yrd. Doç. Dr. Beytullah TEMEL

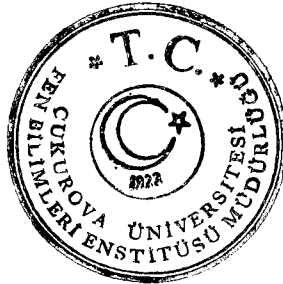
ÜYE

Yrd. Doç. Dr. Zeliha SELEK

ÜYE

Bu tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No: 1805



Prof. Dr. Melih BORAL
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.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YÜKSEK DAYANIMLI BETON KARIŞIMI DİZAYNI

KUBİLAY AKÇAÖZOĞLU

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Yıl: 2001 Sayfa: 105

Jüri : Yrd. Doç. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

: Yrd. Doç. Dr. Beytullah TEMEL

: Yrd. Doç.Dr. Zeliha SELEK

Bu çalışmada beton dayanımını etkileyen faktörler deneysel olarak incelenmiştir. Bu inceleme ışığı altında yüksek dayanımlı betonun nasıl elde edileceği tartışılmış ve sonuçta yüksek dayanımlı beton üretilmiştir.

Agrega tane dağılımı, su-çimento oranı, çimento miktarı ve maksimum agregatane çapının beton dayanımını nasıl etkilediği gösterilmiştir. Uygun karışım oranları ve düşük su çimento oranı ile normal dayanımlı beton üretiminde kullanılan KZÇ/A 32.5 R çimentosu kullanarak yaklaşık 600 kgf/cm² basınç dayanımı, 70 kgf/cm² eğilme çekme dayanımı ve 50 kgf/cm² yarmada çekme dayanımına sahip yüksek dayanımlı beton elde edilmiştir.

Su-çimento oranının düşmesi ile dayanımın yükseldiği tespit edilmiştir. Birim beton hacminde kullanılan agreganın incilmesi ile sabit dayanım sağlamak için gerekli çimento miktarının arttığı bulunmuştur. Akışkanlaştırıcı kullanımı ile düşük su çimento oranında yüksek işlenebilirliğe sahip beton elde edilebileceği gösterilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüksek dayanım, su-çimento oranı, agregatane dağılımı, çimento miktarı, akışkanlaştırıcı.

ABSTRACT

MSc THESIS

MIX DESIGN OF HIGH STRENGTH CONCRETE

KUBILAY AKÇAÖZOĞLU

**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF ÇUKUROVA**

Supervisor : Assist. Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

Year: 2001 Pages: 105

Jury : Assist. Prof. Dr. Cengiz Duran ATİŞ

: Assist. Prof. Dr. Beytullah TEMEL

: Assist. Prof. Dr. Zeliha SELEK

In this work, the factors influencing the strength of concrete were studied. In the light of this study, discussion was made for how to produce high strength and high performance concrete. As a result, the production of high strength concrete was achieved.

It was shown that how the strength of concrete was influenced by the gradation and maximum size of aggregate, water-cement ratio and amount of the cement. High strength concrete with the compressive strength of 600 kgf/cm^2 , the flexural strength of 70 kgf/cm^2 and the modulus of rupture of 50 kgf/cm^2 were obtained by the use of appropriate mix proportioning, low water-cement ratio and blended cement called KZÇ/A 32.5R which is generally used in the production of normal strength concrete.

It is found that the strength was increased with decreasing the water-cement ratio. The use of finer aggregate in a unit volume of concrete resulted in an increase in the amount of cement to keep the strength of concrete for a constant value due to the constant water-cement ratio. It was also shown that a workable concrete can be produced with the low water-cement ratio by the use of plasticizers.

Keywords: High strength, water-cement ratio, gradation of aggregate, amount of cement, plasticizer.

TEŞEKKÜR

Öncelikle, yüksek lisans tez konumun belirlenmesinde ve çalışmalarında beni yönlendiren ve benden yardımlarını esirgemeyen, danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Cengiz D. ATİŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, tüm araştırma görevlisi arkadaşlarıma ve özellikle Metin Hakan SEVERCAN, Coşkun ÖZALP, Bülent YANIKTEPE, Gökmen Deniz DUMAN, Fatih ÖZCAN ve değerli arkadaşlarım Harun CANBOLAT ve Sait SÜRMEN'e teşekkür ederim.

Çalışmalarında beni teknik yönden yalnız bırakmayan, inşaat mühendisliği laboratuvarı, dekanlık atölyesi ve makine mühendisliği laboratuvarı personeline teşekkür ederim.

Son olarak, her zaman bana destek olan ve yardımlarını esirgemeyen, aileme özel teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT.....	II
TEŞEKKÜR.....	III
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	IV
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	IX
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XI
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	3
2.1. Betonlu Oluşturan Malzemeler.....	3
2.1.1. Bağlayıcılar.....	3
2.1.1.1. Çimento.....	3
2.1.1.1.(1). Çimentonun Tarihçesi.....	4
2.1.1.1.(2). Çimentonun Üretimi.....	5
2.1.1.1.(3) Çimentonun Ana Bileşenleri, Oksitleri ve Kimyasal Reaksiyonları.....	6
2.1.1.1.(4) Çimento Türleri.....	7
2.1.1.1.(5) Çimentoların Genel Özellikleri.....	10
2.1.2. Agregalar.....	17
2.1.2.1. Agregası Sınıfları.....	18
2.1.2.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri.....	19
2.1.2.2.(1) Agregada Rutubet Durumu.....	19
2.1.2.2.(2) Birim Ağırlık.....	20
2.1.2.2.(3) Özgül Ağırlık.....	21
2.1.2.2.(4) Kompazite.....	24
2.1.2.2.(5) Granülometri (Tane Boyu Dağılımı).....	24
2.1.2.2.(6) İncelik Modülü.....	29
2.1.2.2.(7) Tane Şekli ve Boyutu.....	30
2.1.2.3. Agregaların Mekanik Özellikleri.....	30
2.1.2.3.(1) Tane Dayanımı.....	30

2.1.2.3.(2) Aşınma Dayanımı.....	31
2.1.2.3.(3) Agregalarda Dona Karşı Dayanıklılık.....	32
2.1.2.4. Agrega Yığını İçinde Bulunan Zararlı Maddeler.....	33
2.1.2.4.(1) İnce Maddeler.....	33
2.1.2.4.(2) Organik Maddeler.....	34
2.1.2.4.(3) Hafif Maddeler.....	35
2.1.2.4.(4) Alkali-Agrega Reaksiyonu.....	35
2.1.3. Karışım ve Bakım Suyu.....	36
2.1.3.1. Karışım Suyunun Taze ve Sertleşmiş Betonun Özelliklerine Etkisi.....	38
2.1.3.2. Karışım Suyunun İçinde Bulunabilecek Yabancı Maddelerin Türk Standartlarındaki Sınır Değerleri.....	40
2.1.4. Beton Katkı Maddeleri.....	41
2.1.4.1. Beton Katkı Maddelerinin Tarihçesi.....	41
2.1.4.2. Beton Katkı Maddelerinin Kullanımı.....	42
2.1.4.3. Beton Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması.....	43
2.1.4.3.(1) Hava Sürükleyici Katkılar.....	44
2.1.4.3.(2) Kimyasal Katkı Maddeleri.....	45
2.1.4.3.(2.a) Priz Süresini Hızlandırıcı Katkılar.....	45
2.1.4.3.(2.b) Priz Süresini Geciktirici Katkılar.....	46
2.1.4.3.(2.c) Karışım Suyunu Azaltıcı Katkılar (Akışkanlaştırıcı Plastikleştirici).....	46
2.1.4.3.(3) Mineral Katkı Maddeleri.....	47
2.1.4.3.(4) Çeşitli Katkı Maddeleri.....	48
2.2 Beton.....	48
2.2.1. Betonun Tanımı ve önemi.....	48
2.2.2. Betonun Tarihçesi.....	49
2.2.3. Beton Çeşitleri.....	50
2.2.3.1. Ağır Beton.....	50
2.2.3.2. Normal Ağırlıklı Beton.....	51
2.2.3.3. Hafif Ağırlıklı Beton.....	51

2.2.3.3.(1) Taşıyıcı Hafif Ağırlıklı Beton.....	52
2.2.3.4. Vakumlanmış Beton.....	53
2.2.3.5. Agregası Önceden Yerleştirilmiş Beton.....	53
2.2.3.6. Lifli Beton.....	54
2.2.3.7 Püskürtme Beton (Shotcrete).....	55
2.2.3.8. Silindire Sıkıştırılabilen Beton.....	55
2.2.4. Dayanımlarına Göre Beton Sınıflandırması.....	56
2.2.4.1. Beton Sınıfları ve Beton Basınç Dayanımları.....	56
2.2.5. Betonda Basınç Mukavemetinin Önemi.....	57
2.2.6. Yüksek Dayanımlı Beton.....	58
2.2.7. Dayanım.....	58
2.2.7.1. Beton Dayanımına Etki Eden Faktörler.....	59
2.2.7.1.(1) Deney Yöntemi İle İlişkili Faktörler	59
2.2.7.1.(2) Çimento İle İlgili Faktörler	61
2.2.7.1.(3) Agregası İle İlgili Faktörler.....	61
2.2.7.1.(4) Karışım Suyu İle İlgili Faktörler.....	62
2.2.7.1.(5) Beton Katkı Maddeleri İle İlgili Faktörler.....	64
2.2.7.1.(6) İşlenebilirlik ile İlgili Faktörler.....	64
2.2.7.1.(6.a) İşlenebilirliğin Tanımı	65
2.2.7.1.(6.b) İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler.....	65
2.2.7.1.(6.c) İşlenebilirlik Deneyleri.....	66
2.2.7.1.(7) Kür İle İlgili Faktörler.....	72
2.2.7.1.(8) Segregasyon (Ayrışma) ve Kanama (Terleme) İle İlgili Faktörler.....	72
3. MATERYAL VE METOD.....	74
3.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri.....	74
3.1.1. Çimento.....	74
3.1.2. Agregası.....	75
3.1.2.1. Agregası Özellikleri.....	75
3.1.2.2. Agregası Granülometrisi.....	76
3.1.3. Su.....	78

3.1.4 Katkı Maddesi.....	78
3.2. Beton Karışım Oranları.....	79
3.3. Optimum Su Miktarının Bulunması İçin Titreşimli Sarsma Yöntemi.....	81
3.4. Optimum Su Miktarının Bulunması.....	83
3.5. Ölçülen Özellikler.....	84
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	87
4.1. Sabit İşlenebilirlik ve Sabit S/Ç İçin Beton Dayanımları.....	87
4.2. Optimum S/Ç Oranı İle Üretilen Beton Dayanımları.....	88
4.3. Optimum S/Ç Oranı ve Akışkanlaştırıcı İle Üretilen Beton Dayanımları.....	90
4.4. Kür Zamanının Dayanım Üzerine Etkisi.....	91
4.5. Maksimum Tane Çapının Değişiminin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	92
4.6. Su-Çimento Oranının Değişiminin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi.....	93
4.7. Agrega Gradasyonunun Değişiminin Etkisi.....	97
5. SONUÇLAR.....	100
KAYNAKLAR.....	101
ÖZGEÇMİŞ.....	105

SİMGELER VE KISALTMALAR

U	Agrega numunesini birim ağırlığı
V	Agreganın doldurduğu kabın hacmi
W_a	Kap içerisindeki agreganın ağırlığı
γ_k	Agreganın kuru özgül ağırlığı
γ_d	Agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı
γ_g	Agreganın kuru özgül ağırlığı
γ_c	Çimentonun yoğunluğu
γ_a	Agreganın yoğunluğu
k	Kompozite
İ.M.	İncelik modülü
S/Ç	Su-çimento oranı
C	Çimento miktarı
W	Su miktarı
W_a	Karışıma girecek agreganın miktarı
A	Betondaki toplam hava miktarı
E_c	Betonun elastisite modülü
f_{ck}	Karakteristik beton dayanımı
f_{cc}	Betonun basınç dayanımı
f_{ct}	Yarmada çekme dayanımı
$\sigma_{EÇ}$	Eğilme çekme dayanımı
P	Deney presinde kırılma anında okunan en büyük yük
A_c	Numunenin basınç yükü uygulanan kesit alanı
λ	Numunenin temas hattı uzunluğu
d	Numunenin kesit boyutu
L	Yüklemeye tablası mesnetleri arasındaki açıklık
B	Kırılma kesitinin ortalama genişliği
h	Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği

ÇİZELGELER DİZİNİ	SAYFA
Çizelge 2.1. Çimentonun ana bileşenleri.....	6
Çizelge 2.2. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri.....	6
Çizelge 2.3. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları.....	6
Çizelge 2.4. Çimento türleri.....	8
Çizelge 2.5. Kompoze çimento içeriği.....	8
Çizelge 2.6. Portland kompoze çimento içeriği.....	9
Çizelge 2.7. Portland cürufu çimento içeriği.....	9
Çizelge 2.8. Çimentonun ana bileşenlerinin hidrasyonu için gerekli su miktarları.....	14
Çizelge 2.9. Çimento bileşenlerinin ısı yayma miktarları.....	14
Çizelge 2.10. Çimentoların sahip olmaları gereken basınç dayanımları.....	15
Çizelge 2.11. Agreganın dona dayanıklılık deneyi sınır değerleri.....	33
Çizelge 2.12. Beton sınıfları ve basınç dayanımları.....	57
Çizelge 2.13. S/Ç ve 28 günlük Beton Basınç Dayanımı İlişkisi (TS 802,1985)	63
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi.....	74
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun Fiziksel Özellikleri.....	74
Çizelge 3.3. İnce agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesi değerleri.....	75
Çizelge 3.4. İri agrega özgül ağırlık ve su emme kapasitesi değerleri.....	75
Çizelge 3.5. Kullanılan tuvenan agrega ve TS 706 sınır eğrilerin (A,B,C) elek analizleri.....	76
Çizelge 3.6. TS 706 sınır eğrileri ve laboratuvarında oluşturulan eğrilerin elek analizlerinin karşılaştırılması.....	77
Çizelge 3.7. Teorik hesap sonucu bulunan beton karışım oranları.....	80
Çizelge 3.8. Sabit işlenebilirliği sağlamak için bulunan ayarlanmış beton karışım oranları.....	80
Çizelge 3.9. Titreşimli sarsma deneyi sonucunda bulunan Optimum su muhtevaları.....	84
Çizelge 4.1. Sabit işlenebilirlik ve 0.43 S/Ç için 28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm ²).....	87

Çizelge 4.2.	Sabit işlenebilirlik ve 0.43 S/Ç için 28 günlük çekme dayanımları, basınç dayanımları (kgf/cm^2) ve bunların oranı.....	88
Çizelge 4.3.	Optimum S/Ç için 28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2).....	88
Çizelge 4.4.	Optimum S/Ç için 28 günlük yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı (kg/cm^2) ve bunların oranı.....	89
Çizelge 4.5.	Optimum S/Ç akışkanlaştırıcı beton için 28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2).....	90
Çizelge 4.6.	Opt. S/Ç ve akışkanlaştırıcı beton karışımlarının 28 günlük yarma dayanımı (kgf/cm^2).....	90
Çizelge 4.7.	Farklı su-çimento ve işlenebilirlik için T karışımı beton basınç dayanımının (kgf/cm^2) zamanla değişimi.....	91
Çizelge 4.8.	Maksimum tane çapı ile basınç dayanımı ilişkisi.....	92
Çizelge 4.9.	0.43 ve 0.38 S/Ç ve 0.38 S/Ç ve akışkanlaştırıcı beton için küp basınç dayanımları karşılaştırması.....	94
Çizelge 4.10.	0.43 ve 0.38 S/Ç oranında silindir yarma dayanımları(kgf/cm^2).	95

ŞEKİLLER DİZİNİ	SAYFA
Şekil 2.1. Vikat aleti.....	13
Şekil 2.2. Le Chatelier deney aleti.....	17
Şekil 2.3. Agregatanelerinin içerdikleri su durumu.....	20
Şekil 2.4. En büyük tane boyutu 8 mm olan agregatanelerinin Türk Standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980).....	27
Şekil 2.5. En büyük tane boyutu 16 mm olan agregatanelerinin Türk Standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980).....	27
Şekil 2.6. En büyük tane boyutu 31,5 mm olan agregatanelerinin Türk Standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980).....	28
Şekil 2.7. En büyük tane boyutu 63 mm olan agregatanelerinin Türk standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980).....	28
Şekil 2.8. Küp numuneler için numune boyutu-dayanım ilişkisi.....	59
Şekil 2.9. Silindir numuneler için numune boyutu-dayanım ilişkisi.....	60
Şekil 2.10. Silindir numunelerde boy-çap oranının dayanıma etkisi.....	60
Şekil 2.11. Yükleme hızının dayanıma etkisi.....	60
Şekil 2.12. Slump (çökme) konisi.....	67
Şekil 2.13. Sıkıştırma faktörü aleti.....	68
Şekil 2.14. Ve-be deney aleti.....	69
Şekil 2.15. Sarsma tablası deney aleti.....	70
Şekil 2.16. Kelly'nin topu deney aleti.....	71
Şekil 3.1. Kullanılan tuvenan agregat ve TS 706 sınır eğrilerin (A,B,C) elek analizlerinin grafiksel gösterimi.....	77
Şekil 3.2. TS 706 sınır eğrileri ve laboratuvarında oluşturulan eğrilerin elek analizlerinin grafiksel gösterimi.....	78
Şekil 3.3. Titreşimli sarsma deneyi çökme değerinin ölçülmesi.....	82
Şekil 3.4. Titreşimli sarsma metodu deney aparatı.....	82
Şekil 3.5. A karşımlı için titreşimli sarsma deneyi sonucu.....	83
Şekil 3.6. B karşımlı için titreşimli sarsma deneyi sonucu.....	83
Şekil 3.7. C karşımlı için titreşimli sarsma deneyi sonucu.....	84

Şekil 3.8.	Tuvenan Agregası için titreşimli sarsma deneyi sonucu.....	84
Şekil 4.1.	Farklı su-çimento ve işlenebilirlik için T karışımı basınç dayanımının zamanla değişimi (Çizelge 4.7.'nin grafik görünümü).....	92
Şekil 4.2.	Maksimum tane çapı ile basınç dayanımı ilişkisi.....	93
Şekil 4.3.	T karışımı için optimum su-çimento oranı.....	96
Şekil 4.4.	T karışımının optimum su-çimento oranına yakın oranlarda basınç dayanımları.....	96



1. GİRİŞ

Son zamanlarda ülkemizde meydana gelen ve gerisinde oldukça büyük hasar ve can kaybı bırakan Dinar, Ceyhan ve Adapazarı depremlerinden sonra, kaliteli ve yüksek dayanımlı betonun önemi ortaya çıkmıştır. Her ne kadar beton düşük teknoloji isteyen ucuz ve yapımı kolay bir malzeme olsa da belirli bir basınç dayanımına sahip betonun dizaynı ve üretimi için dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bu hususların yerine getirilmesi çok zor değildir, ancak bu bilgilerin öneminin uygulayıcılar tarafından benimsenmiş olması gerekmekte ve uygulanması gerekmektedir. Bu husulardan bazıları şöyle sıralanabilir, dizayn edilen bir betonun su-çimento oranı kesinlikle bozulmamalı ve işlenebilirliği artırmak için herhangi bir taze beton karışımına hesap dışı su ilave edilmemelidir. Aksi takdirde karışımın su-çimento oranı değişecek dolayısıyla beton karışımı dizayn karışımından farklı olacağı gibi beton dayanımında da düşüşler gözlenecektir. Beton karışımına konulacak suyun içeriğinde tuz ve asit gibi betona zarar verecek kimyasal bileşenler olmamalıdır ya da şartnameler ile sınırlandırılmış değerlerin altında olmalıdır. Betonun kürü de önemli bir parametredir, ancak bu parametre kalitesiz olarak dizayn edilmiş bir beton için bir ilaç değildir. Fakat uygulamada bu durumun tersine yerleşmiş bir fikirbirliği mevcuttur.

Kaliteli, yüksek dayanım ve performanslı beton üretiminde işçiliğin ve çalışan işçilerin de önemli katkısı bulunmaktadır. 1000 yıla dayanacak yekpare monolitik bir temelin beton dizaynını yapan Mehta ve Langley (2000), uygulamada işçiliğin ve bu işte çalışan elemanların çok önemli olduğunu vurgulamıştır. 1000 yıla dayanacak iddialı temel yapımı çalışmasında beton işçiliğini yapan kişilerin ve transmikserlerin sürücülüğünü yapan elemanların bilgilendirme seminerinden geçirilmiş olmaları bunu göstermektedir.

Bu çalışma için TS 19 (1992), ile uyumlu olan Portland çimentosu ile tane boyutu dağılımı TS 802 (1985), ile uyum içinde olan agrega grupları kullanılmaktadır. Beton dizaynında TS 802 (1985), yöntemi kullanılmıştır.

Beton karışımında kullanılan su miktarı hem TS 802 (1985), ile belirli bir işlenebilirlik değeri için bulunmuş, ayrıca sarsma çökmesi yöntemi ile betonda kullanılması gereken optimum su miktarları tespit edilmiş ve bazı betonlar için yüksek işlenebilirlik ise kimyasal akışkanlaştırıcı madde ilavesiyle sağlanmıştır. Dolayısı ile su-çimeto oranı ile beton dayanımının değişimi izlenebilmiş ve aynı zamanda katkı maddelerinin beton dayanımı üzerinde gösterdiği etkiler araştırılmıştır. Bu çalışmada beton dayanımı üzerinde agregata tane dağılımı, maksimum tane çapı, su-çimento oranı ve akışkanlaştırıcının etkileri araştırılmıştır. Üretilen betonlar 20°C sıcaklıkta su içinde kür edilmiştir.

Değişik granülometriye sahip agregalar ile sabit işlenebilirlik ve sabit dayanım elde etmek için TS 802 (1985)'e göre beton karışım hesapları yapılmıştır. Agregata granülometrisinin değişiminin beton karışımını nasıl etkilediği tespit edilmiş ve bunun dayanım üzerindeki yansıması da görülmüştür. Sabit çimento miktarı ve S/Ç ile farklı maksimum tane çaplarına sahip agregalar kullanılarak karışımlar üretilmiş ve basınç dayanımları elde edilerek, maksimum tane çapının beton basınç dayanımını nasıl etkilediği tespit edilmiştir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu kısımda betonu oluşturan malzemeler ve beton hakkında genel bilgiler verilmektedir. Beton oluşturan malzeme özellikleri ile beton özellikleri ve ölçümleri ile ilgili detaylı bilgi sunulmaktadır.

2.1. Beton Oluşturan Malzemeler

Beton oluşturan malzemelerin çimento, agrega, su ve gerektiğinde bazı katkı maddeleri olduğu bilinmektedir. Bu başlık altında bağlayıcılar, agrega, su ve katkı maddeleri hakkında detaylı bilgi verilmektedir.

2.1.1. Bağlayıcılar

Başlangıçta ince öğütülmüş formda olan ve su ile karıştırıldığında hamur kıvamına gelen, iki yüzey arasına uygulandığında zaman içinde katılıp yüzeyleri birbirine bağlayabilme özelliğine sahip malzemelere bağlayıcı malzemeler denilmektedir (Postacıoğlu, 1986a). Farklı formda olabilen bazı diğer tip bağlayıcılar da vardır, ancak bunlar yapı malzemesi değildir. Bu tür malzemeler bazı hallerde yapı tamiratında ve güçlendirme işlerinde kullanılmakta olup, pahalıdır. Bazı sıvı yapıştırıcılar ve epoxy reçinesi gibi malzemeler örnek olarak verilebilir.

Çimento, alçı ve kireç ilk bahsedilen ince öğütülmüş formdaki bağlayıcı sınıfına girmektedir. Alçı su altında eridiğinde ve kireç de su altında karbondioksit bulamadığında bağlayıcılık özelliği oluşturamaz. Çimento katılaşmasına ve bağlayıcılığına su altında da devam ettiğinden hidrolik bağlayıcı olarak da bilinir (Postacıoğlu, 1986a).

2.1.1.1. Çimento

Çimento ince öğütülmüş bir halde olup, su ile karıştırıldığında reaksiyona giren hidrolik bir bağlayıcıdır. Su ile çimento arasında oluşan ekzotermik reaksiyon sonucu ortaya çıkan hidrasyon ürününün bağlayıcı özelliği vardır.

2.1.1.1.(1). Çimentonun Tarihçesi

Çimento kelimesi, yontulmuş taş kırıntısı anlamındaki Latince “caementum” kelimesinden türemiştir. Daha sonraları bu kelime “bağlayıcı” anlamında kullanılmaya başlamıştır (Erdoğan, 1995a).

Bağlayıcı malzemelerin kullanımı tarih öncesinde, muhtemelen ateşin bulunmasından hemen sonra, kireç ve alçı ile başlamıştır. Kireç ve alçı milattan önceki ve sonraki tarihlerde eski Mısırlılar ve Romalılar tarafından kullanım alanları bulmuştur. Yaklaşık 2000 yıl önce, Romalılar söndürülmüş kireci volkanik küllerle ve sonraları, pişirilmiş tuğladan elde edilen tozlarla karıştırarak bugünkü çimentonun özelliklerine benzer bir hidrolik bağlayıcı kullanmaya başlamışlardır. Daha sonraki yıllar ve ortaçağ, büyük eserlerin yapılmasında bir durgunluk sergilemiş ve bağlayıcı maddelerin gelişmesinde yenilik getirmemiştir (Erdoğan, 1995a).

1824 yılında, İngiltere’nin Leeds kentinde, Joseph Aspdin isimli bir duvarcı ustası hazırladığı ince taneli kil ve kalker karışımını pişirerek ve daha sonra da öğütürerek bağlayıcı bir ürün elde etmiştir. Bu ürüne su ve kum katıldığında ve zamanla sertleşme olduğunda, ortaya çıkan malzemenin İngiltere’nin Portland adasından elde edilen yapı taşlarını andırdığını gören Joseph Aspdin, elde ettiği bu bağlayıcı için “portland çimentosu” adı altında patent almıştır. Aslında, Joseph Aspdin tarafından üretilen bağlayıcı, üretim sırasında yeterince yüksek sıcaklıklarda pişirilmediği için bugün kullanılmakta olan portland çimentosunun özelliklerine tamamen sahip olamamıştır. Kil ve kalker karışımı hammaddeyi yeterince yüksek sıcaklıklara kadar pişirilip öğütülmesi sonucu çimento elde edilmesi ilk olarak, 1845 yılında, Isaac Johnson isimli bir İngiliz tarafından gerçekleştirilmiştir (Postacıoğlu, 1986a).

1824 yılında, Joseph Aspdin’in “portland çimentosu” adı altında patent aldığı hidrolik bağlayıcı daha sonraki yıllarda büyük gelişmeler göstermekle birlikte “portland” ismi aynen korunmuştur ve Türkiye dahil bütün ülkelerde bu isim kullanılmaktadır.

2.1.1.1.(2). Çimentonun Üretimi

İnce bir şekilde öğütülerek uygun oranlarda bir araya getirilen kalkerli (kireçtaşı, marn) ve killi (içerisinde önemli miktarda silis bulunan kil, şist kum gibi) hammadde karışımı, ekseni etrafında yavaşça dönen (60-180 devir/saat) yaklaşık %3-4 eğimle yatay olarak yerleştirilmiş, boy çap oranı 15-30 civarında olan, silindir şeklindeki “döner fırınlarda”, 1350-1450°C civarında ısı işleminden geçirilirler.

Fırın içerisinde pişirilen hammaddeler, uygulanan sıcaklığın etkisiyle, kimyasal olaylar sonucunda klinker denilen ürünün oluşmasını sağlarlar. Döner fırından çıkan klinker soğutulduktan sonra, öğütülerek ince bir forma sokulur. Klinkerin öğütülmesi esnasında bir miktar (%3 - %6 mertebesinde) alçıtaşı eklenerek öğütme işlemi birlikte yapılır. Elde edilen ürüne portland çimentosu adı verilir.

Döner fırına girecek hammaddelerin karışımı, ince boyutlara getirilmiş kalkerli ve killi maddelerin kuru veya su ile birlikte çamur durumuna getirilmesi şeklinde hazırlanır. Bu nedenlerle, uygulamalara, “kuru sistem” veya “yaş sistem” denilmektedir. Bazen, malzeme karışımının çok az miktarda su ile birleştirilerek işlemlerin yürütüldüğü “yarı-kuru sistem” de uygulanmaktadır. Yaş sistemde, karışımın içerisinde yaklaşık %35 kadar su bulunduğu için, fırındaki pişirme işleminde daha çok enerji gerekmekte ve daha pahalı olmaktadır. Ancak, yaş sistem, toz kontrolünün daha kolay olması ve ekolojik yönden tercih gören bir sistemdir. Yarı-kuru sistemde, malzeme karışımının içerisinde yaklaşık %12-14 kadar su bulunmaktadır (Erdoğan, 1995a).

2.1.1.1.(3) Çimentonun Ana Bileşenleri, Oksitleri ve Kimyasal Reaksiyonları

Çimentonun ana bileşenleri (Çizelge 2.1.), ana bileşenlerinin özellikleri (Çizelge 2.2.) ile oksitleri (Çizelge 2.3.)'de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Çimentonun ana bileşenleri

Bileşen Adı	Formülü	Kısaltılmış Adı	≈ %
Trikalsiyum silikat	3CaOSiO_2	C_3S	50
Dikalsiyum silikat	2CaOSiO_2	C_2S	20
Trikalsiyum alimünat	$3\text{CaOA}_2\text{O}_3$	C_3A	7-8
Tetrakalsiyum alümina ferrit	$4\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{Fe}_2\text{O}_3$	C_4AF	9-10

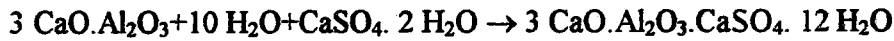
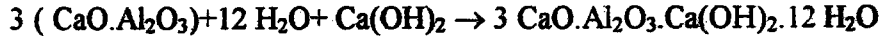
Çizelge 2.2. Çimentonun ana bileşenlerinin özellikleri

	Bileşenlerin Özellikleri			
	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
Reaksiyon Hızı	Orta	Yavaş	Hızlı	Orta
Hidratasyon Isısı	Orta	Az	Çok	Orta
Kısa Dönemde Bağlayıcılık Değeri	Yüksek	Düşük	Düşük	Düşük
Nihai Bağlayıcılık Değeri	Yüksek	Yüksek	Düşük	Düşük

Çizelge 2.3. Portland çimentosunu oluşturan oksitler ve miktarları

	Oksit	Sembol	Miktar %
Kireç	CaO	C	60-67
Silis	SiO_2	S	17-25
Alümin	Al_2O_3	A	3-8
Demir Oksit	Fe_2O_3	F	0.5-6
Kükürt Trioksit	SO_3	S	1-3
Magnezyum Oksit	MgO	M	0.1-4
Alkaliler	$\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$	N+K	0.2-1.3

Çimentonun suyla temas etmesiyle birlikte, yukarıda bahsedilen dört ana bileşenin hidratasyon reaksiyonları aşağıda gösterildiği şekilde gerçekleşir (Özkul ve ark, 1999).



Yukarıda verilen hidratasyon reaksiyonları sonucu oluşan hidrate çimentonun yaklaşık %50'sini $3 \text{ CaO} \cdot 2 \text{ SiO}_2 \cdot 3 \text{ H}_2\text{O}$ (tobermorit jel), %25'ini ise Ca(OH)_2 (portlandit) oluşturur. Hidrate çimentonun dayanımı ve diğer özellikleri esasen tobermarit jeline bağlı olup, kalsiyum hidroksit hidrate çimentonun zayıf bir unsuru olarak ortaya çıkar. Portland çimentosunda bulunan karma oksitlerin saf durumlarındaki hızları Çizelge 2.2.'de gösterilmiştir.

2.1.1.1.(4) Çimento Türleri

Çimentolar kullanılacakları ortama, dayanımlarına, içlerinde bulunan minerallere ya da rengine göre bir çok sınıflara ayrılmaktadır. Türkiye'de üretilen ve TSE tarafından kabul görmüş çimento türleri Çizelge 2.4.'de verilmektedir (Özkul ve ark, 1999).

1. **Portland Çimentoları:** Portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcılardır.

2. **Beyaz Portland Çimentosu:** Bu çimento gerçekte bir portland çimentosudur, gri renkli çimentodan yalnızca rengini beyaz olmasıyla fark eder. Bu tür çimento esas olarak mimari amaçlarla kullanılır.

3. **Katkılı Çimento:** Kütlece en çok %19 puzolanik madde ve en az %81 portland çimento klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesiyle elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Buradaki "puzolanik maddeler" deyimi, kendi başlarına hidrolik bağlayıcı olamadıkları halde, ince olarak öğütüldüklerinde rutubetli ortamda ve normal

sıcaklıkta kalsiyum hidroksit ile reaksiyona girerek bağlayıcı özellikte bileşikler oluşturan maddeleri ifade etmektedir.

Çizelge 2.4. Çimento türleri

1	Portland Çimentoları (PÇ 32.5, PÇ 42.5, PÇ 52.5)	TS 19
2	Beyaz Portland Çimentosu (BPÇ 32.5 ve BPÇ 42.5)	TS 21
3	Uçucu Küllü Çimento (UKÇ 32.5)	TS 640
4	Portland Cürufu Çimento (PCC/A, PCC/B)	TS 12139
5	Katkılı Çimento (KÇ 32.5)	TS 10156
6	Traslı Çimento (TÇ 32.5)	TS 26
7	Kompoze Çimento (KZÇ/A; KZÇ/B)	TS 12142
8	Portland Kompoze Çimento (PKÇ 32.5; PKÇ 42.5; PKÇ 52.5)	TS 12143
9	Sülfatlara Dayanıklı Çimento (SDÇ 32.5)	TS 10157
10	Yüksek Fırın Cürufu Çimento (CÇ 32.5; CÇ 42.5)	TS 20
11	Harç Çimentosu (HÇ 16)	TS 22
12	Süper Sülfat Çimentosu (SSÇ 32.5)	TS 809
13	Erken Dayanımı Yüksek Çimento (EYÇ 52.5)	TS 3646
14	Portland Kalkerli Çimento (PLÇ/A, PLÇ/B)	TS 12140
15	Portland Silika Fırme Çimento (PSFÇ)	TS 12141
16	Puzolanik Çimento (PZÇ/A, PZÇ/B)	TS 12144

4. **Traslı Çimento:** Kütlece %20-40 tras (puzolanik bir madde) ile karşılıklı olarak %80-60 Portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

5. **Kompoze Çimento:** Kompoze çimento, Çizelge 2.5.'te belirtilen oranlarda Portland çimentosu klinkeri ve katkı maddelerin priz düzenleyici olarak ta kalsiyum sülfatın katılarak öğütülmesi sonucunda elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Çizelge 2.5. Kompoze çimento içeriği

Kompoze	İşaret	Klinker	Cüruf	Puzolan (Doğal)	Uçucu Kül
Çimento	KZÇ/A	40-64	30-18	30-18	
	KZÇ/B	20-39	31-50	31-50	

Bu tabloda gösterilen yüksek fırın cürufu, demir-çelik üretiminde yüksek fırınlarda oluşan ve uygun şekilde aktifleştirildiğinde hidrolik özellikler gösteren ve kütlece en az 2/3 oranında camı fazda cüruf ihtiva eden suni bir puzolandır.

Yine yukandaki tabloda görülen uçucu kül ise, öğütülmüş taş kömür yakan fırınlardan atılan baca gazından, toz partiküllerinin elektrostatik veya mekanik olarak çöktürülmesiyle elde edilen suni bir puzolandır.

6. **Çimento-Portland Kompoze:** Portland kompoze çimento, Çizelge 2.6.'da belirtilen oranlarda portland çimentosu klinkeri ve katkı maddelerinin, priz düzenleyici olarak ta kalsiyum sülfatın katılarak öğütülmesi sonucunda elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

Çizelge 2.6. Portland kompoze çimento içeriği

Portland Kompoze Çimento	İşaret	Klinker	Cüruf	Silika Dumanı	Puzolan (Doğal)	Uçucu Kül	Pişmiş Şist	Kalker
	PKÇ/A	80-94	20-6					
	PKÇ/B	65-79	35-21					

Bu tablodaki Silika Dumanı katkısı, yüksek miktarda amorf silisyum dioksit ihtiva eden çok ince küresel partiküllerden oluşan suni bir puzolanik maddedir.

7. **Çimento-Portland Cürufllu:** Portland cürufllu çimento, Çizelge 2.7.'de belirtilen oranlarda portland çimentosu klinkeri ve katkı maddelerinin priz düzenleyici olarak kalsiyum sülfatın katılarak öğütülmesi sonucunda elde edilen hidrolik bir bağlayıcıdır.

Çizelge 2.7. Portland cürufllu çimento içeriği

Portland Cürufllu Çimento	İşaret	Klinker	Cüruf
	PCÇ/A	80-94	20-6
	PCÇ/B	65-79	35-21

8. **Sülfatlara Dayanıklı Çimento:** C₃A miktarı en çok %5 olan portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçıtaşı ilavesi ile öğütülerek elde edilen hidrolik bağlayıcıdır.

2.1.1.1.(5) Çimentoların Genel Özellikleri

Çimentonun İnceliği: Çimento inceliği, çimento tanelerinin ortalama boyutunu ifade etmektedir. İnceliğin yüksek olması, çimento tanelerinin daha küçük boyutlara sahip olacak şekilde öğütüldüğünü gösterir.

Çimento tanelerinin çapı 1-200 μm arasında değişiklik gösterir. Büyük çoğunluk 20-30 μm arasındadır.

Çimento inceliği genelde özgül yüzey (cm^2/g) ifadesiyle belirtilir. Blaine aleti kullanarak ve hava geçirgenliği prensibine uyarak 1 g çimento numunesindeki tanelerin toplam yüzeyi cm^2 cinsinden belirlenir.

Çimentolarda aranan en düşük incelik çimentoların cinsine göre değişiklik göstermektedir. Türkiye’de üretilen değişik tip çimentolarda aranan en düşük incelik, özgül yüzey olarak, 2800-4000 cm^2/g ’dır.

Klinkerin öğütülmüş olduğu incelik, başta çimentonun priz süreleri, hidratasyon ısı ve dayanımı olmak üzere çimento özelliklerini büyük ölçüde etkilemektedir.

Ağırlıkları aynı olan iki çimento numunesinde, daha ince tanelerden oluşmasının içinde diğerine göre daha çok sayıda çimento tanesi bulunur. Çimentonun inceliği arttıkça tane sayısında artma olmakta ve bu nedenle, su ile temas edebilecek yüzey artmaktadır. O bakımdan ince olarak öğütülmüş çimentolarda kimyasal reaksiyonlar daha hızlı yer alarak katılma daha hızlı ve daha yüksek oranda gelişmektedir. Öte yandan incelik artması ile çimentoda açığa çıkan ısı hızında da artma görülmektedir (Erdoğan, 1995a).

Çimento taneleri aşırı derecede ince ise, taneler öğütme değirmeninde iken veya depolama esnasında, çevreden bir miktar nem alarak hidratasyona başlayabilir ve bu vakitsiz hidratasyon nedeniyle bağlayıcılık değerinde kayıplar oluşur.

Çimento taneleri gereğinden iri ise, hidratasyon hiç bir zaman mükemmel olamaz ve kimyasal olaylar tam gelişemez. Bu durum çimentonun bağlayıcılık değerini olumsuz olarak etkiler. Ayrıca, priz süreleri, hidratasyon ısı ve diğer çimento özellikleri etkilenir.

Çimentonun Prizi: Priz, çimentonun suyla karıştırılmasıyla oluşturulan hamurun katılaşmasını tanımlamak için kullanılır. Çimentonun su ile karıştırıldığı zaman ile çimento hamurunun katılaşarak plastik özelliğini kaybettiği zaman arasındaki süre farkı priz süresi olarak adlandırılmaktadır.

Çimento ve suyun karıştırıldığı zaman ile çimento hamurunun fiziksel değişiklik göstererek katılaşmaya (plastikliğini kaybetmeye) başladığı zaman arasında geçen süreye priz başlama süresi denmektedir.

Çimento ve suyun karıştırıldığı zaman ile çimento hamurunun katılaşığı (sertleşmenin başladığı) zaman arasındaki süreye ise prizin sona erme süresi denir.

Priz süresi çimento hamurunun katılaşmasından önceki işlenebilirlik süresini belirttiği için taze betonun taşınabilmesi, kalıba yerleştirilebilmesi ve sıkıştırılabilmesi bakımından çok önemlidir (Postacıoğlu, 1986a).

Yalancı Priz: Bazen, çimentonun su ile karıştırılmasıyla, ortaya çıkan anormal ve vaktinden önce, birdenbire katılaşma olayına yalancı priz denir.

Yalancı priz, genellikle betonun karılma işleminden hemen birkaç dakika sonra yer alır. Bu olay esnasında çimentoda kayda değer bir miktarda hidrasyon ısı ortaya çıkmaz. Betonun karılma işlemine devam edildiği takdirde bu priz giderilerek beton karışımı normal duruma getirilir, dayanım kaybı olmaz.

Yalancı priz olayının başlıca nedeni, klinkerin öğütülmesi safhasında ilave edilen alçıtaşının ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), öğütme değirmenindeki yüksek sıcaklık dolayısı ile suyun bir kısmını veya tamamını kaybederek piyasa alçısı ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2 \text{H}_2\text{O}$ veya CaSO_4) haline geçmesidir. Çimento su ile karıştırıldığında bu alçı kısa sürede sertleşerek çimentonun çok erken katılaşmasına sebep olur. Çimento içerisinde bu durumdaki alçı miktarı çok az olduğundan, karıştırma işlemine devam edilirse katılaşma kırılır ve karışım normal plastik durumuna gelir (Özkul ve ark, 1999).

Ani Priz: C_3A bileşeni ile suyun reaksiyonundan kaynaklanmaktadır ve büyük miktarda hidrasyon ısı açığa çıkmaktadır. Çimentonun ani priz yaptığı bir beton karışımının, dayanım kaybına uğramaksızın plastik durumuna dönebilmesi mümkün değildir (Erdoğan, 1995a).

Prizle ilgili bazı özellikler vardır. Bu özelliklere dikkat etmek gerekmektedir. Bunlar aşağıda verilmiştir.

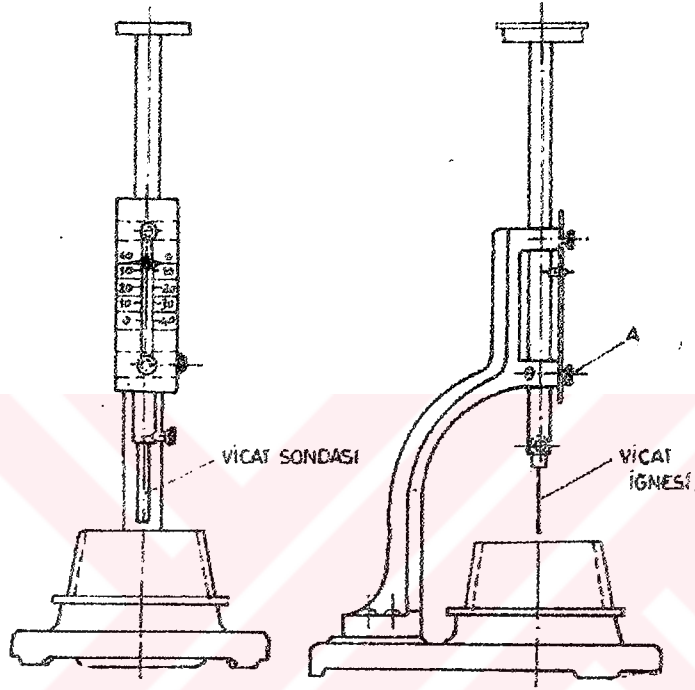
(a) Priz Zamanın Ölçülmesi

Bu deney normal kıvam için gerekli su miktarları ile hazırlanan çimento hamuru üzerinde yapılır. Kesik koni içine çimento yerleştirilir ve vikat aleti altına konur. Ancak burada vikat sondası yerine kalınlığı 1 mm olan bir iğne kullanılır. Bu iğne düşey yönde hareketlidir ve hamur yüzeyine dokundurulup yavaşça bırakılır. İğne hamura batar ve durur. İğne ile çimento tabanı arasındaki mesafe 3~5 mm ise çimento prize başlamış demektir. Karışıma su verilmesinden itibaren başlayan zaman ile priz başlangıcına kadar geçen süreye ilk priz süresi denir. Bu sürenin tespiti için her 5 dakikada bir iğne ile deneme yapılır. İlk anlarda bulunan mesafe 3 mm den az olur. Priz başlangıç süresi bulunduktan sonra denemeye 15 dakikada bir devam edilir. Bu işleme iğnenin hamur içerisine 1 mm batmasına kadar devam edilir. Eğer iğne 1 mm kadar batıyorsa son priz oluşmuştur denir. Karışıma su verilmesinden son priz aşamasına kadar geçen süre için priz sona erme süresi denir. (TS EN 196-3+AC, 1996)

(b) Çimentonun Normal Kıvamı İçin Gerekli Su Miktarının Tespiti

Çimentonun normal kıvamı için gerekli su miktarı çimento ağırlığının 0,23 ile 0,35 civarında olan bir değerdir. Ancak bunun kesin olarak tayini gereklidir. Bu ise vikat aleti yardımıyla yapılır. 300 gr çimento belirli miktar su ile karıştırılır. (Örneğin 70 gr bu çimento ağırlığının ~%23'üdür.) Karıştırma işlemi 3 dakika sürer. Bu çimento hamuru kesik koni şeklindeki standart kalıp içine yerleştirilir. Bu kalıp vikat aletinin altına yerleştirilir. Bu alette düşey doğrultuda hareket edebilen bir çubuk vardır. Bu çubuk bir civata ile sabitlenmiş olup civata gevşetildiğinde hareket edebilmektedir. Çubuğun ucu 10 mm çapındadır. Adına vikat sondası denir. Civata gevşetilir ve sondanın ucu el yardımıyla hamur yüzeyine dokundurulup yavaşça serbest bırakılır. Sonda hamur içine batar ve sürtünme dolayısıyla bir süre sonra

durur. Sonda ile kalıp tabanı arasındaki mesafe 5~7 mm arasında ise bu hamur normal kıvamdadır denir. Bu mesafe daha düşük ise su miktarı azaltılarak daha fazla ise su miktarı artırılarak deney tekrarlanır. 5~7 mm mesafeyi veren su miktarı aranır bu miktar normal kıvam için gerekli su miktarıdır.



Şekil 2.1. Vikat aleti

(c) Prizi Etkileyen Faktörler

Sıcaklık: Hidratasyonu hızlandırdığından priz süresini kısaltır.

Su miktarı: Karışım suyu arttıkça priz süresi uzamaktadır.

Çimentonun tazeliği: Çimento fazla bekletilmişse, bulunduğu ortamdan su çekerek hidratasyon yapar ve bayatlayarak bağlayıcılığını azaltır. Bayatlama priz süresini azaltır. Genel olarak prizin 1 saatten önce başlamaması istenmektedir.

Çimentonun Hidratasyonu: Çimento ve suyun birleşerek kimyasal reaksiyonların yer alması olayına çimentonun hidratasyonu denilmektedir. Çimentoların katılaşması bu reaksiyonlar sonucunda meydana geldiğinden çimentonun hidratasyonu sözcüğü genellikle çimentonun su ile birleşerek sertleşmesi olayını ifade etmektedir.

Çimentonun Hidratasyonu İçin Gerekli Su Miktarı: Portland çimentosunun hidratasyonu için gerekli olan su miktarı ana bileşenlerinin kimyasal formüllerle ağırlıklarının bir yüzdesi olarak çıkarılmış ve aşağıda Çizelge 2.8.'de verilmiştir.

Çizelge 2.8. Çimentonun ana bileşenlerinin hidratasyonu için gerekli su miktarları

Ana Bileşen	Gerekli Su Miktarı (%)
C ₃ S	24
C ₂ S	21
C ₃ A	40
C ₄ AF	37

Bu değerler çimento içindeki bulunan ana bileşenlerin yüzdeleri ile çarpılıp toplandığında çimentonun hidratasyonu için gerekli su miktarı yaklaşık %23 olarak bulunur (Postacıoğlu, 1986a).

Hidratasyon Isısı: Çimentonun su ile reaksiyonunun ekzotermik olduğu bilinmektedir (Postacıoğlu, 1986a). Hidratasyon ısısının yarısı ilk üç gün içerisinde ortaya çıkar. 7 gün içinde ise % 70'e yakını ortaya çıkar. Geri kalan kısmı 1-2 yıl içerisinde oluşur. Esasen hidratasyon ısısının toplamından çok sıcaklık yükselmesi (fark) önemlidir. Çünkü beton içindeki sıcaklık ile betonun içinde bulunduğu ortam arasındaki sıcaklık farkı nedeniyle büzülmeler dolayısıyla çekme gerilmelerinin oluşturacağı termal çatlaklar oluşabilir. Hidratasyon hızının kontrolü bu çatlakları önleyecektir. Aşırı ısı yükselmeleri genellikle yapı temelleri, istinat duvarları özellikle baraj yapımı gibi kütle betonu dökülmeleri esnasında ortaya çıkar. Çimento ana bileşenlerinin ısı yayma miktarları aşağıdaki Çizelge 2.9.'da verilmektedir.

Çizelge 2.9. Çimento bileşenlerinin ısı yayma miktarları

Bileşen	Hidratasyon Isısı	
	J/q	Cal/q
C ₃ S	502	120
C ₂ S	260	62
C ₃ A	867	207
C ₄ AF	419	100

$$1 \text{ cal/q} = 4.19 \text{ J/q}$$

Dayanım: Eski çimento standartlarında çimentonun eğilme dayanımının da tayin edilmesi şart koşulurken, yeni standartlarda yalnızca basınç dayanımının belirlenmesiyle yetinilmiştir.

Çimentoların basınç dayanımları TS 24 (1985)'te anlatılan Rilem Cembureau metoduna göre yapılır. Bunun için 1 kısım çimento 3 kısım standart kum ve 0,5 kısım su ile karıştırılarak bir harç elde edilir. Bu karışımdan 4x4x16 cm boyutlu prizmatik numuneden 3 adet hazırlanır. Bu üç numune ayrı ayrı eğilme deneyine tabi tutulur. Bu deney sonucunda eğilme çekme dayanımları bulunur. Bu numuneler ikiye bölündüğünden 6 adet küçük numune kalır. Bunlar için en uygun başlık kullanılarak basınç deneyine tabi tutulur ve basınç dayanımları bulunur (TS 24, 1985). Çimentonun türlerine bağlı olarak sahip olmaları gereken basınç dayanımı değerleri Çizelge 2.10.'da verilmiştir.

Çizelge 2.10. Çimentoların sahip olmaları gereken basınç dayanımları

Çimento Türü	Basınç Dayanımları(En Az N/mm ²)		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
PÇ 32.5	10	21	32.5
PÇ 42.5	20	31.5	42.5
PÇ 52.5	25	35.5	52.5
BPÇ 32.5	10	21	32.5
KÇ 32.5	10	21	32.5
TÇ 32.5	10	21	32.5
KZÇ 32.5	-	16	32.5
KZÇ 42.5	10	-	42.5
PKÇ 32.5	-	16	32.5
PKÇ 42.5	10	-	42.5
PCC 32.5	-	16	32.5
PCC 42.5	10	-	42.5
SDÇ 32.5	10	21	32.5

Kızdırma Kaybı: Ağırlığı önceden bilinen (1 ± 0.05 gr) bir çimento numunesinin çok yüksek sıcaklıkta ($975\pm25^{\circ}\text{C}$) kızdırılması sonunda meydana gelen ağırlık kaybına çimentonun kızdırma kaybı denir ve bu değer yüzde olarak ifade edilir (Erdoğan, 1995a).

Hacim Genleşmesi: Çimento bileşiminde fazla miktarda serbest kireç (CaO) veya serbest magnezi (MgO) bulunması genleşmeye yol açar. Bu maddeler, çimento fırını içerisindeki oluşumları sırasında yeterli sıcaklığın üzerinde sıcaklığa tabi tutuldukları için çok yavaş bir şekilde hidrasyon yaparlar. O nedenle, çimento içerisindeki serbest CaO ve serbest MgO'nun reaksiyonları çimento hamuru veya beton normal olarak sertleştikten sonra da devam ederler. Bu oksitlerin hidrasyonu sonunda bir genleşme olduğundan beton yapılarda iç gerilmeler ve çatlamlar oluşabilir. Serbest kirecin neden olduğu genleşmenin oluşması bazen aylar alır. Magnezi için hidrasyon süresi bazan birkaç yıl sürebilir.

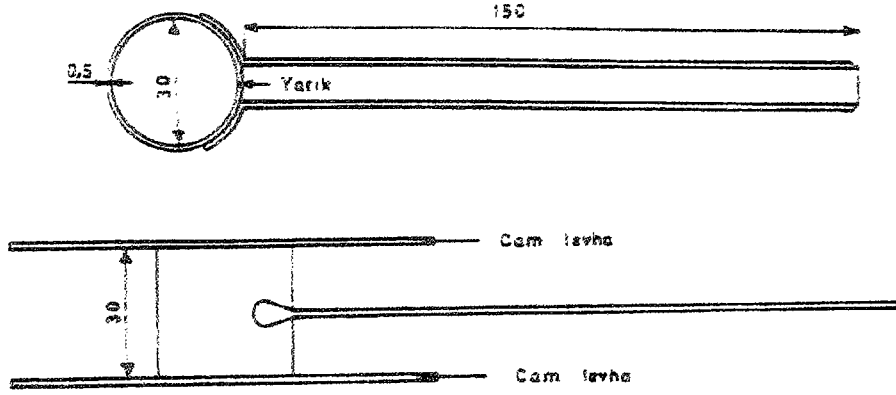
Çimento hacminin değişimi Şekil 2.2.'de verilen pirinçten yapılmış Le Chatelier aleti ile tayin edilir. Aletin silindirik halkasının et kalınlığı 0.5 mm, iç çapı 30 mm ve yüksekliği 30 mm'dir. Silindirik halka eksenini doğrultusunda yarıktır. Yarığın her iki tarafına ve silindirin tam ortasına gelmek üzere 150 mm uzunluğunda iki çubuk lehimlenmiştir.

Bu deneyi yapabilmek için normal kıvamda bir hamur hazırlanır. Deneye başlamadan önce silindirik halkanın yarık kenarları birbirine değmiş olmalıdır. Çimento hamuru doldurulurken çubukların arasının açılmaması için çubuklar lehim yanından iple veya iki yuvarlak deliği bulunan bir pul ile bağlanmalıdır.

Halka yağlanmış bir cam levha üzerine konur ve içi normal kıvamda çimento hamuru ile doldurulur. Halka üst yüzeyi bir spatula ile kenar seviyesinde düzeltilerek üst yüzey bir cam levha ile kapatılır. Cam levha üstüne ağırlık konur ve çubuklara bağlanmış ipler veya pullar çözülür. Çubuk uçlarının açıklığı 0.1 mm hassasiyetle ölçülür (a) ve kalıplar, çubukların durumu bozulmaksızın, sıcaklığı $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ olan su içine dikkatle daldırılır.

Hamur kalıba konulduktan 24 saat sonra çubuk uçlarının açıklığı yeniden ölçülür (b), kalıpların üzerindeki cam levha itina ile kaldırılarak çubuklar yukarı gelecek şekilde tekrar bir beher içindeki suya daldırılır. Bundan sonra içinde kalıpların bulunduğu su dolu beher, 30-45 dakika içinde kaynamaya başlayacak şekilde yavaş yavaş ısıtılır. Kaynamaya 4 saat devam edilir. Suyun buharlaşarak kaybolmasını önlemek ve kaba soğuk su katmamak için kabın üstü kaynama

süresince daima kapalı kalmalıdır. 4 saat kaynama sonunda numuneler laboratuvar sıcaklığına kadar soğutulur ve çubuk uçlarının açıklığı tekrar ölçülür(c).



Şekil 2.2. Le Chatelier deney aleti

Hesaplama şu şekilde yapılır. b-a, c-b ve c-a mm cinsinden ayrı ayrı hesap edilir. c-a mm cinsinden toplam hacim genişmesini verir (TS EN 196-3+AC, 1996).

Rötre: Çimento su ile temas edince hidrasyonun oluşmasıyla çimento hamuru hacminde azalma olur. Bu olaya otojen rötre denir. Çeşitli araştırma sonuçlarına göre priz başlamadan evvel meydana gelen büzülme gerçek çimento hacminin %1'i civarındadır.

Çimento hamuru karıştırıldıktan 4-6 saat sonra plastik rötre seviyesine gelir. Su kaybını artıran faktörler rötreyi de artırır. Hacim büzülmesinin gerçekleşmesi önlenirse plastik rötre beton yüzeyinde ince çatlaklar oluşturur. Bu çatlakların oluşmasını önlemek için buharlaşmayı veya su kaybını en alt düzeyde tutmak gerekir. Rötre ölçümü ile ilgili detaylı bilgi TS 3453 (1981)'de verilmektedir.

2.1.2. Agregalar

Agregalar TS706 (1980), standardında doğal, yapay veya her iki cins yoğun mineral malzemenin, genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığını olarak tarif edilmektedir.

Erdoğan (1995b), agregaları "beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımıyla biraraya getirilen, organik olmayan, kuru, çakıl,

kırma taş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan taneli malzeme” olarak tarif etmektedir.

Agregalar elde ediliş şekillerine, tane boyutlarına, özgül ağırlıklarına, minerolojik ve jeolojik yapılarına göre sınıflandırılmakta olup, aşağıda ayrıntılı incelenmektedir.

2.1.2.1. Agregası Sınıfları

Agregalar elde ediliş şekline bağılı olarak iki gruba ayrılırlar. Bunlar doğal ve yapay agregalardır. Doğal agregalar (Doğal taş agregası) teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklarından elde edilen kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalardır. Yapay agregalar (Sanayi ürünü agregalar) ise yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış yoğun yapılı agregalardır (TS 706, 1980).

Öte yandan agregalar tane boyutlarına göre iri ve ince agrega olarak sınıflandırılmaktadır. İri agrega 4 mm göz açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agrega ve ince agrega ise 4 mm göz açıklıklı kare gözlü veya kare delikli elekten geçen agrega olarak tarif edilmektedir (TS706, 1980).

Yanısıra iri ve ince agregalar kendi içinde kum, çakıl, kırma kum, kırma çakıl, yüksek fırın cürufundan elde edilmiş yapay çakıl, yüksek fırın cürufundan elde edilmiş yapay kum olarak ta sınıflandırılmaktadır (TS706, 1980)

0.25 mm göz açıklı kare gözlü elekten geçen ince malzeme taş unu (filler) olarak isimlendirilmektedir (TS 706, 1980). Filler özellikle taze betonun ayrışmasını önleyen yani kohezyonu yüksek beton üretimine imkan veren bir malzeme çeşitidir.

Agregalar, özgül ağırlıklarına göre hafif, normal ağırlıklı ve ağır agregalar olmak üzere sınıflandırılır. Normal ağırlıklı agregalar halen kullanılmakta olan agregalardır. Bunun yanısıra hafif agregalar, ise yapı ağırlığının azaltılması amacı ile beton yapımında kullanılır. Ağır agregalar ise, yüksek dayanım isteyen işlerde ya da radyasyon ile ilgili işlerin yapılacağı hastanelerin radyoloji bölümünün özel kısımları ve nükleer santraller için yapılması gereken tesislerin yapımında kullanılır. Kurşun gibi yoğunluğu yüksek olan maddelerin radyasyonu geçirmeleri çok sınırlıdır. Barit

(BaSO₄) ve Magnetit (Fe₂O₃) madenleri ağır olup madenlerden elde edilen bu agregalar bu tür işlerde kullanılır. Baritin özgül ağırlığı 4.2 gr/cm³, magnetitin ise 4.6 gr/cm³'tür. Perlit ise hafif agregalara örnek olarak verilebilir. Özgül ağırlığı 2.4 gr/cm³'ten daha küçüktür. Normal agregaların özgül ağırlıkları ise 2.4-2.8 gr/cm³ arasındadır. Ağır agregaların özgül ağırlığı 2.8 gr/cm³'ten büyüktür. Perlit bünyesinde %2-6 oranında su bulunduran camsı bir kayaç olup, rengi gri-siyah arasındadır. Kimyasal yapısının %75'i silis (SiO₂) ve %15'i alümin (Al₂O₃)'tür. Perlit 1000°C pişirildiğinde hacmi 10-30 misli artar, patlamış mısır gibi olur hafifler (Atiş, 2000a).

Agregalar minerolojik, jeolojik oluşum, tane şekli ve yüzey dokusu gibi özelliklerine göre de sınıflandırmakta olup, sınıflandırmalara ait detaylı bilgi ilgili kaynakta verilmektedir (postacıoğlu, 1986b).

2.1.2.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Beton oluşturan malzemelerin ağırlıkça %60 ve %80'inin agregata tarafından oluşturulduğu bilinmektedir (Neville, 1995; Popovics, 1992). Dolayısıyla agreganın özgül ağırlığı, birim ağırlığı ve tane boyutu ve dağılımı, nemi, kompazitesi, tane şekli ve yüzey dokusu, mekanik özellikleri, yabancı madde ve organik madde içeriği gibi fiziksel özellikleri beton özelliklerini büyük ölçüde etkilemekte ve bilinmesi gerekmektedir.

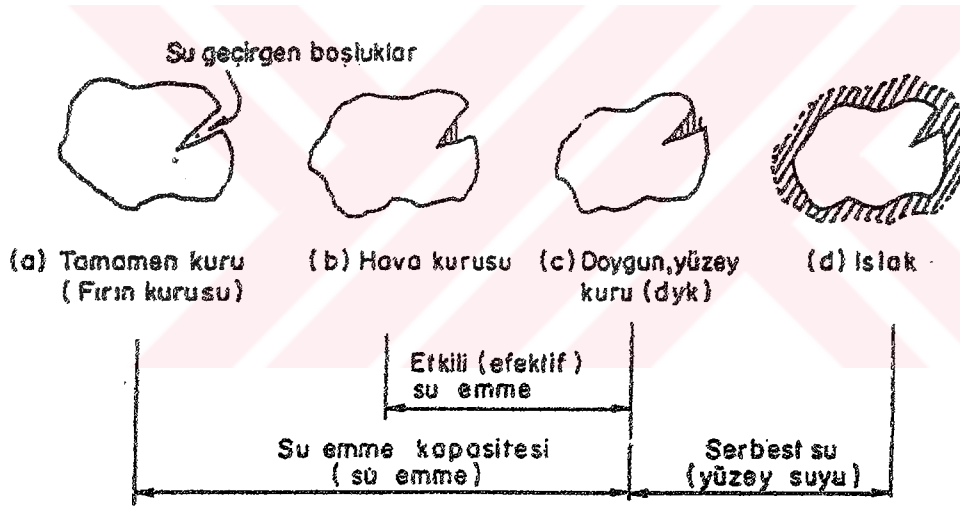
2.1.2.2.(1) Agregada Rutubet Durumu

Agregata taneleri içerisinde iki tip boşluk bulunabilir. Bunlardan birisi, tane yüzeyinde ince çatlaklar olarak oluşmuş olan veya tane içerisinde olup ta yüzeydeki boşluklarla bağlantılı olan "su geçirgen boşluklar"dır. Bu tür boşlukların içerisine su kolaylıkla girip çıkabilir. Diğer ise, agregata yapısından gelen, agregata taneleri içerisinde oluşmuş olan "su geçirmez boşluklar"dır. Bunlara su giremez.

Agregata tanelerinin, karşı karşıya kaldıkları ıslanma veya kuruma durumlarına göre, "su geçirgen boşluklar"ın içerisinde hiç su bulunmayacağı gibi, bu boşlukların

içerisinde kısmen veya tamamen su olabilir. Hatta, tamamen doymuş ve tanelerin yüzeyinde de bir miktar su filmi kaplı olabilir.

Agrega tanelerinden oluşan agrega yığını, içerdığı su miktarına göre, Şekil 2.3.'te gösterilen dört değişik durumdan birisine sahiptir. Bunlar; (a) agrega boşluklarında hiç su olmayan Tamamen Kuru Durum, (b) su geçirgen boşluklar içinde bir miktar su olan Hava Kuru Durumu, (c) su geçirgen boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve agrega tane yüzeyinin kuru olduğu Doymuş-Yüzey Kuru Durum, (d) su geçirgen boşlukların tamamen su ile dolu olduğu ve aynı zamanda tanelerin üzerinde bir miktar su filminin bulunduğu Islak Durumdur (Erdoğan, 1995b; Neville ve Brooks, 1993).



Şekil 2.3. Agregatanelerinin içerdikleri su durumu

2.1.2.2.(2) Birim Ağırlık

Agrega birim ağırlığı belirli hacimdeki bir kabı dolduran agregatanelerinin toplam ağırlığının kabın hacmine bölünmesi ile saptanır.

Matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$U = \frac{W_a}{V} \quad (2.1)$$

Burada,

U, Agreganın birim ağırlığı, (g/cm^3 , kg/dm^3 , t/m^3)

V, Agreganın doldurulduğu kabın hacmi (cm^3 , dm^3 , m^3)

W_a , Kap içerisine doldurulan agreganın ağırlığı

görüldüğü gibi, burada kullanılan hacim hem agreganın tanelerinin hacmi hem de aralarındaki boşlukları içermektedir (Erdoğan, 1995b).

TS 3529 beton Agregaları Birim Ağırlıklarının Tayini isimli Standartta agregalar için “sıkışmış birim ağırlık tayini” ve “gevşek birim ağırlık tayini” yöntemleri belirtilmektedir.

Sıkışmış birim ağırlık tayininde, agregalar silindirik şeklindeki bir kap içerisine her seferinde kabın yüksekliğinin 1/3’ünü dolduracak şekilde üç ayrı aşamada doldurulmakta ve her aşamada demir bir çubukla 25’er defa şişlenerek sıkıştırılmaktadır.

Gevşek birim ağırlık tayini için agregalar kap içerisine bir kürekle doldurulmakta ve herhangi bir sıkıştırma yapılmamaktadır (TS 3529, 1980).

Agreganın birim ağırlık değerinin hangi koşullar altında belirlendiğini ifade eden “kuru-gevşek”, “kuru-sıkışmış”, “nemli-gevşek”, “nemli-sıkışmış”, gibi terimleri kullanmak gerekmektedir.

Doğal olarak bir agreganın sıkışık birim ağırlığı değeri genelde 1.20 ile 1.80 kg/dm^3 arasında değişir. Birim ağırlık değerleri, agreganın gronülometrisine, kusurlu malzemenin miktarına, yerleştirme şekline ve agreganın özgül ağırlığına bağlı olarak değişir.

2.1.2.2.(3) Özgül Ağırlık

Özgül ağırlık, agreganın işgal ettiği gerçek birim hacmine isabet eden ağırlıktır (Postacıoğlu, 1986b). Numunenin hacmi, tek tek agreganın tanelerinin hacimlerinin toplamından oluşmaktadır. Bir başka deyişle, agreganın yığınınadaki tanelerin arasındaki boşluklar hesaba alınacak hacme dahil değildir.

a) İnce agreganın özgül ağırlığının bulunması aşağıda verilmektedir (TS 3526, 1980).

Kullanılacak deney numunesi su içerisinde 24 saat bekletildikten sonra ince taneleri kaybolmayacak şekilde suyu süzülerek akıtılır ve bir tava içerisine yayılır. Tava, tablalı ısıtıcı üzerine konarak kurutulur ve deney numunesinin doymun kuru yüzey haline gelmesi sağlanır. Doymun kuru yüzey durumuna getirilmiş olan numune tartılır ve doymun kuru yüzey ağırlığı kaydedilir(W_2). Oda sıcaklığına gelinceye kadar soğutulur. Soğumuş numune cam ölçü kabına doldurulur birlikte tartılır.

Ölçü kabının daha önce saptanmış olan ağırlığı bu tartıdan çıkarılarak numunenin kuru ağırlığı belirlenir(W_1). Ölçü kabı yaklaşık 20°C 'deki su ile yarıya kadar doldurulur ve düz bir yüzey üzerinde hafifi hafif vurularak ve aynı zamanda döndürülerek hava kabarcıklarının çıkması sağlanır. Bir saat beklendikten sonra ölçü kabı yaklaşık 20°C 'deki su ile 500 ml (veya 1000 ml) işaret çizgisine kadar doldurulur ve tartılır(W_3).

İnce agreganın özgül ağırlıkları aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

İnce agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_1}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (2.2)$$

İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_2}{W_2 + W_4 - W_3} \quad (2.3)$$

İnce agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\gamma_s = \frac{W_1}{W_1 + W_4 - W_3} \quad (2.4)$$

Burada;

γ_k , İnce agreganın kuru özgül ağırlığı (g/cm^3)

γ_d , İnce agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı (g/cm^3)

γ_s , İnce agreganın görünen özgül ağırlığı (g/cm^3)

W_1 , Numunenin etüv kurusu ağırlığı(g)

W_2 , Numunenin doymun kuru yüzey durumundaki ağırlığı(g)

W_3 , Ölçü kabı, su ve numunenin toplam ağırlığı(g)

W_4 , 500 ml çizgisine kadar su ile dolu ölçü kabı ağırlığı(g)

b) İri agreganın özgül ağırlığının bulunması aşağıda verilmektedir (TS 3526, 1980).

Deney numunesi içinde yaklaşık 20°C’de ki su bulunan bir kap içine konur ve hafifçe sallanarak taneler üzerindeki toz ve yabancı maddelerden temizlenir. Su içinde 24 saat bekletildikten sonra çıkarılır, suyu süzülür ve tanelerin üzerinde gözle görülen su tabakası kalmayıncaya kadar kurutulur. İri taneleri teker teker kurulamak gerekebilir. Bu sırada aşırı buharlaşmaya yer verilmemelidir. Kurutma biter bitmez numune hemen tartılarak doymuş kuru yüzey ağırlığı bulunur(W_2). Doymuş kuru yüzey halindeki numune tartıdan hemen sonra kafes örgülü tel sepete (arşimet terazisi) konarak su dolu kovanın içine su yüzeyinden en az 5 cm daha aşağıda kalacak şekilde daldırılır. Su yüzüne çıkarılmadan kovanın içinde en az 10 kez sertçe kaldırılıp indirilerek sağa sola sallanarak taneler arasında kalabilecek hava kabarcıkları çıkarılır. Daha sonra sepetin kova kenarına dokunmamasına dikkat edilerek özel düzenle terazi kafesinin ortasına yerleştirilir ve doymuş malzemenin sudaki ağırlığı bulunur(W_3). Numune sudan çıkarılır ve etüv kurusu durumuna getirilir. Oda sıcaklığına kadar soğutulur ve havadaki kuru ağırlığı kaydedilir(W_1).

İri agreganın özgül ağırlıkları aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

İri agreganın kuru özgül ağırlığı:

$$\gamma_k = \frac{W_1}{W_2 - W_3} \quad (2.5)$$

İri agreganın doymuş yüzey özgül ağırlığı:

$$\gamma_d = \frac{W_2}{W_2 - W_3} \quad (2.6)$$

İri agreganın görünen özgül ağırlığı:

$$\gamma_s = \frac{W_1}{W_1 - W_3} \quad (2.7)$$

Burada;

γ_k , İri agreganın kuru özgül ağırlığı (g/cm^3)

γ_d , İri agreganın doymuş kuru yüzey özgül ağırlığı (g/cm^3)

γ_s , İri agreganın görünen özgül ağırlığı (g/cm^3)

W_1 , Numunenin etüv kurusu ağırlığı(g)

W_2 , Numunenin doymuş kuru yüzey durumundaki havadaki ağırlığı(g)

W_3 , Numunenin sudaki ağırlığı(g)

2.1.2.2.(4) Kompasite

Herhangi bir agreganın birim ağırlığı(Δ) ve özgül ağırlığının(δ) bilinmesiyle, aynı zamanda bu agreganın kompasitesi yani birim hacmindeki tanelerin işgal ettiği gerçek hacim belirlenmiş olur. Çünkü agreganın kompasitesi(k),

$$k = \Delta / \delta \quad (2.8)$$

ifadesiyle hesaplanabilir. Birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğundan kompasite 1'den küçük olacaktır. Bu durumda, yığın halindeki agreganın birim hacmindeki boşluk kompasiteyi 1'e tamamlayan değer olacaktır.

$$P = 1 - k \quad (2.9)$$

P: Boşluk

Kompasitenin düşük olmasının betona zararlı durumları vardır. Bunlar;

Düşük kompasiteli agregalar ile üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti de düşük olur, fazla çimento kullanılması gerekir, maliyet artar, betonun dış etkilere karşı dayanıklılığı azalır, bu agregalarda kusurlu malzeme miktarı fazla olduğundan işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin azalmasına sebep olur (Postacıoğlu, 1986b).

2.1.2.2.(5) Granülometri (Tane Boyu Dağılımı)

Bir agreganın yığını içerisinde tanelerin büyüklüklerine göre gösterdikleri tane dağılım oranına granülometri (gradasyon) denir.

Agrega yığınının gradasyonunun saptanmasında, agreganın taneleri, büyüklüklerine göre, belirli gruplara ayrılırlar, her boy grubundaki agreganın tanelerinin

toplam ağırlıkları bulunarak, tüm agrega yığınının toplam ağırlığı içerisinde ne oranda yer aldığı belirlenir.

Gradasyon veya granülometri olarak adlandırılan agrega tanelerinin büyüklüklerine göre dağılım oranı, agrega numunesine “elek analizi” denilen deneysel bir yöntemin uygulanması ile bulunabilmektedir (Erdoğan, 1995b).

Elek analizi yönteminin (TS 130, 1978) uygulanmasında, önce değişik büyüklükteki göz açıklığına sahip kare delikli standart elekler kullanılarak, en büyük göz açıklıklı elek en üstte, daha küçük olan daha altta ve en küçük olan en altta olacak şekilde düzenlenir. En küçük elekten geçebilecek agregayı da yerlere dökülmeden birarada tutabilmek amacıyla, en küçük göz açıklıklı eleğin altına, standart eleklerin kasnakları ile aynı büyüklükte fakat delikleri olmayan bir kap yerleştirilir.

Değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş ($110\pm5^{\circ}\text{C}$) agrega numunesi en büyük elek üzerine yerleştirilir ve sağa-sola, yukarı-aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agrega hassas olarak tartılarak her elek üzerinde ağırlıkça yüzde ne kadar agrega kaldığı (veya her elekten yüzde ne kadar agrega geçtiği) hesaplanır. Böylece, değişik boy sınıflarındaki agrega miktarı, yani agreganın tane dağılımı belirlenir (TS 130, 1978).

Elek analizi deneyi için kullanılacak elek tipi ve delik açıklıkları TS 130 (1978)’da belirtilmiştir. Buna göre kare delikli ve 125 mm, 90 mm, 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm, 2 mm, 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm göz açıklıklı elekler kullanılmalıdır.

TS 130 (1978)’a göre, e büyük tane boyutu 4 mm olan ince agregaları temsil edebilecek numune miktarı en az 500 gram olmalıdır. Yapı betonlarında genellikle 63 mm’den büyük agrega kullanılmamaktadır. En büyük tane büyüklüğü 63 mm olan iri agregaları temsil edebilecek ve sadece gradasyon tayini için gerekli olan numune miktarı 20 kg’dan az olmamalıdır (Erdoğan, 1995b).

Elek analizi sonucunda her elek üzerinde kalan agrega miktarı tartılarak, bulunan ağırlıklar numunenin toplam ağırlığı ile karşılaştırılarak her elek üzerinde kalan agrega miktarı yüzde (%) olarak hesaplanır. Bütün bu işlemler bir çizelge halinde gösterilir.

Elek analizi sonuçlarını daha kolayca görebilmek ve inceleyebilmek amacıyla, yüzde olarak ifade edilen bu değerler, genellikle yarı-logaritmik bir grafik üzerinde yer alacak bir eğri şeklinde de gösterilir. Böyle bir grafikte, elek boyutları, logaritmik ölçekli yatay eksen üzerinde yer alır; agrega yüzdeleri normal ölçekli dikey eksen üzerinde gösterilir.

Karışık agrega numunesindeki agrega tane dağılımları elek analizi ile bulunmuş ise, istenildiği takdirde, o numune içerisindeki iri ve ince agreganın tane dağılım oranlarını ayrı ayrı hesaplayabilmek mümkündür.

(a) Granülometri Eğrisinin Özellikleri

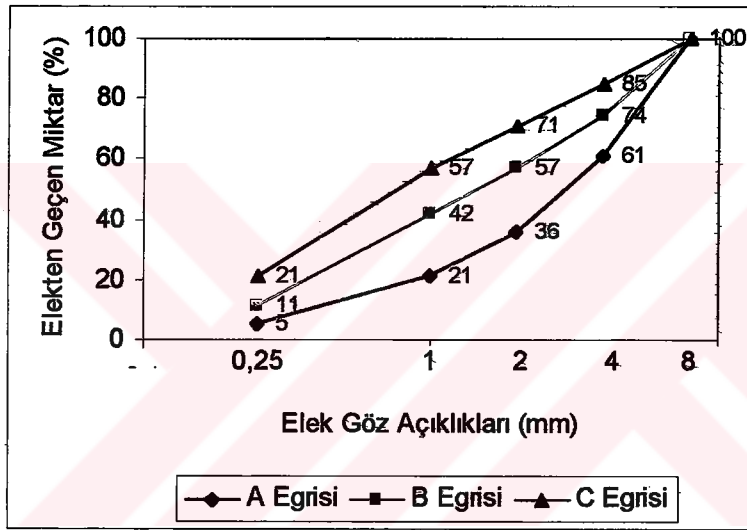
- Granülometri eğrisi artan bir eğridir, sınır durumunda ancak yatay doğru parçaları olabilir.
- Eğrinin %100 çizgisine yakın olması, karışımın ince olduğunu, %0 çizgisine yakın olması agreganın iri olduğunu gösterir.
- Eğri tüm elek bölgesinde mevcuttur, eğrinin %100 veya %0 çizgileriyle çakışması, o bölgelerde bulunmadığı anlamına gelmez.
- Birbirini izleyen iki elek numarasına karşı gelen % ordinatların farkı, agrega yığnında o iki elek arasında kalan malzeme %' sini verir.
- Eğer eğride yatay bir çizgi varsa, bu yatay çizgiye karşı gelen elekler arasında tane yok demektir. Bu tür bir granülometriye sahip olan agregalara “kesikli (süreksiz)” granülometrilili agregalar denilir (Akman, 1990).

(b) Gradasyonun Değişiminin Etkisi

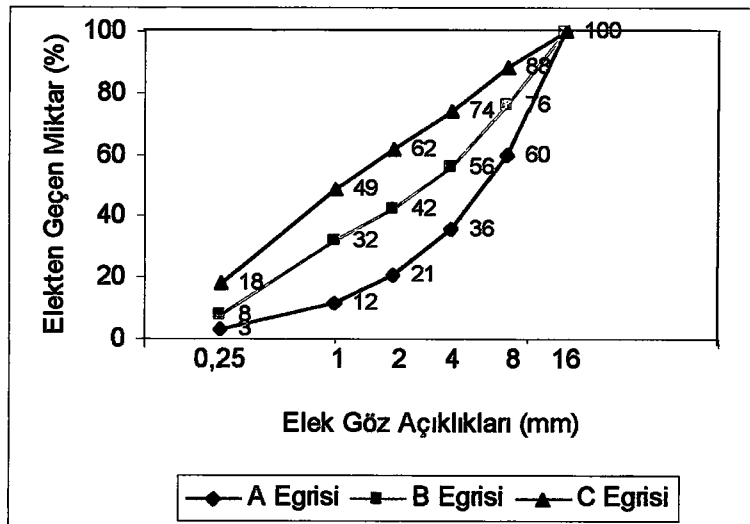
Agrega gradasyonu, taze betonun kolayca karıştırılabilme, ayrışım yapmadan kolayca taşınıp yerine yerleştirilebilme ve sıkıştırılabilme özelliğini, kısacası betonun işlenebilirliğini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca, agreganın gradasyonunun beton karışımında yer alacak malzemelerin oranları üzerinde de önemli etkisi bulunmaktadır.

Agrega gradasyonu, taze betondaki işlenebilirliği etkilediğinden, istenilen kıvama sahip bir beton yapabilmek üzere kullanılacak karma suyu miktarını da etkilemektedir; buna bağlı olarak, su-çimento oranını etkilemektedir. Su-çimento oranının ve karışım malzemelerinin oranının etkilenmesi, katılaşmış betonun hemen hemen bütün özelliklerini etkiler.

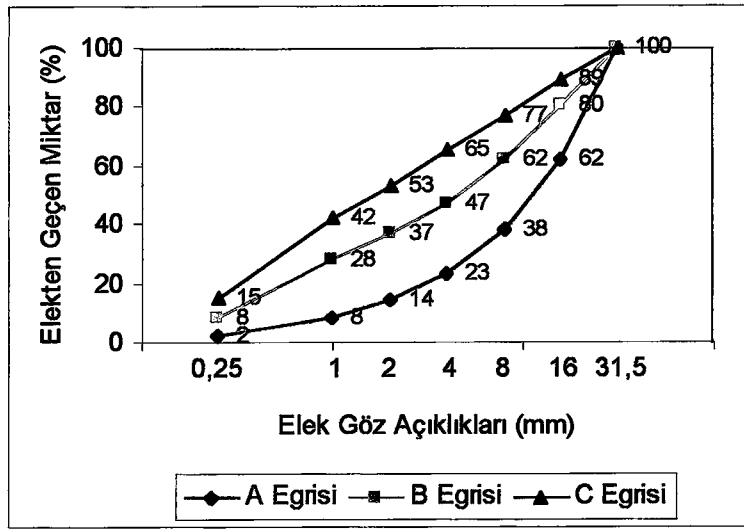
Kısacası gradasyon , taze betonun işlenebilirlik özelliği ve sertleşmiş betonun dayanım, durabilite, birim ağırlık, büzülme gibi önemli özellikleri ve ekonomisi üzerinde etkilidir.



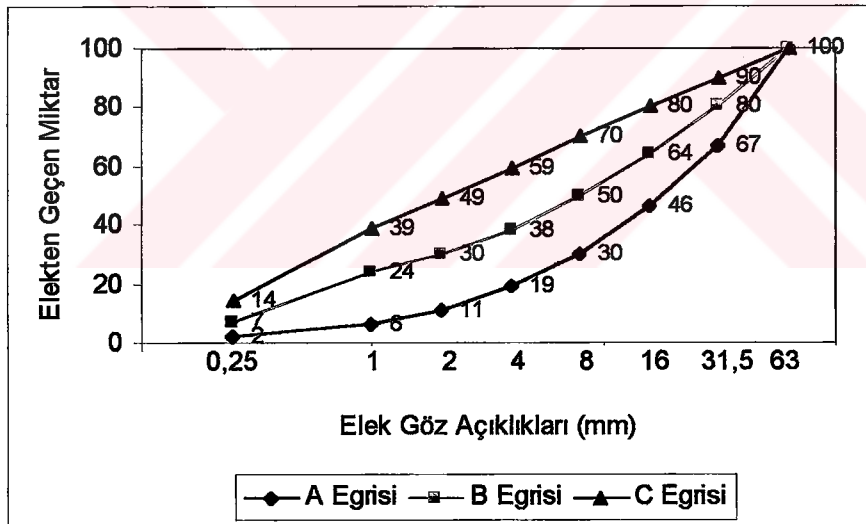
Şekil 2.4. En büyük tane boyutu 8 mm olan agrega numunelerinin Türk Standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980)



Şekil 2.5. En büyük tane boyutu 16 mm olan agrega numunelerinin Türk Standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980)



Şekil 2.6. En büyük tane boyutu 31,5 mm olan agreganın numunelerinin Türk Standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980)



Şekil 2.7. En büyük tane boyutu 63 mm olan agreganın numunelerinin Türk standardına göre gradasyon sınır değerleri (TS 706, 1980)

TS 706 (1980)-Beton Agregaları isimli Standartta tane dağılımı oranlarının hangi sınırlar içinde olması gerektiği belirtilmektedir. En büyük tane boyutuna göre belirlenen agreganın dağılım oranlarının yer alabileceği alt ve üst sınırlar, Şekil 2.4.-2.7.'de verilmektedir. Alt ve üst sınır değerler gradasyon eğrileri ile gösterilmiştir.

Betonda kullanılacak agreganın tane dağılım oranları şekillerdeki A ve B eğrileri içerisinde yer aldığı takdirde, agreganın gradasyonu “çok iyi” ve A ve C eğrileri arasında yer aldığı taktirde “kullanılabilir” olarak tanımlanır.

2.1.2.2.(6) İncelik Modülü

İncelik modülü agrega gradasyon özelliği hakkında bilgi sağlayan ampirik bir sayısal değerdir. Bu değer elek analizinde bulunan tane dağılımı oranlarından hesap yoluyla elde edilir.

Elek analizinde göz açıklığı en küçük olan elek en altta olmak üzere küçükten büyüğe doğru dizilmiş olan kare delikli standart elekler üzerinde kalan agreganın yığışımli yüzdelerinin toplamının 100’e bölünmesi elde edilen sayıya “incelik modülü” denilmektedir. Kısaca,

$$İ. M. = \Sigma \text{ Elek üzerinde kalan agreganın yığışımli yüzdesi} / 100 \quad (2.9)$$

İncelik modülü, agregadaki taneler büyüklüğünün, ortalama olarak ne mertebede olduğunu, yani, agreganın inceliğini (ya da kalınlığını) belirtmektedir.

Agrega inceliğinin yorumunu yapabilmek için elek analizinde kullanılan standart eleklere, göz açıklıklarına göre küçükten büyüğe kadar (0.25 mm elek 1.elek, 0.50 mm elek 2.elek, 1.0 mm elek 3.elek, 2.0 mm elek 4.elek, 4.0 mm elek 5.elek, 8.0 mm elek 6.elek, 16.0 mm elek 7.elek gibi) bir numara verilir. Elek analizi sonucunda hesaplanan incelik modülü sayısı kadar en alttan yukarıya doğru elek numarası sayılarak, tanelerin ortalama büyüklüğünün hangi elek boyutuna denk geldiği, ya da ne mertebede olduğu görülür. Örneğin, incelik modülü 5.0 olarak hesaplanan bir agrega numunesinde, tanelerin ortalama büyüklüğü, (alttan yukarıya doğru elekler sayılarak gidildiğinde) 5. elek olan 4.0 mm göz açıklıklı eleğe tekabül ettiği görülür; yani, tanelerin ortalama büyüklüğü 4.0 mm mertebesindedir.

Türk Standartları betonda kullanılan agreganın incelik modülünün ne kadar olmasına dair bir sınır değeri belirtmemektedir (Erdoğan, 1995b).

2.1.2.2.(7) Tane Şekli ve Boyutu

Agrega tanelerinin şekli olabildiği kadar toparlak (küresel veya kübik) olmalıdır.

TS 706 (1980)'ya göre, agrega tanesinin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'ten büyük olduğu takdirde, agrega tanesi "şekil kusurlu" kabul edilmektedir (TS 706, 1980).

Şekilce kusurlu taneleri saptayabilmek için TS 3814 (1983), kullanılmaktadır. Bu deneyde agregalar özel bir aletle ölçülerek, boyutları oranına bakılır. TS 706 (1980)'ya göre şekilce kusurlu tanelerin oranı %50'den çok olmamalıdır.

Şekilce kusurlu tane oranının yüksek olması, taze betonun işlenebilmesini olumsuz yönde etkilemekte, taze betonda su ihtiyacını ve terlemeyi artırmakta, betonun perdelanarak düzgün yüzeye getirilebilmesini güçleştirmektedir. Bunlarda katılmış betonun dayanımını, dayanıklılığını, büzülmesini ve ekonomisini olumsuz yönden etkilemektedir.

2.1.2.3. Agregaların Mekanik Özellikleri

2.1.2.3.(1) Tane Dayanımı

Beton dayanımını etkileyen bir çok faktör vardır. Agreganın özellikleri bunlar arasındadır. Agreganın dayanımı beton dayanımını önemli ölçüde etkileyen özelliklerdendir.

Agreganın tane dayanımı, alındığı kayacın cinsi ve mevcut durumunun petrografik yönden incelenmesi ile yaklaşık olarak değerlendirilebilir (TS 706, 1980). Genellikle, nehir yataklarından elde edilen yuvarlak agregalar sert ve dayanımı yüksek agregalardır.

Ortalama bir değer vermek gerekir ise, betonda kullanılan normal ağırlıklı agreganın basınç dayanımı 1500-2000 kgf/cm² denilebilir. Bazı kayaların basınç dayanımlarına ait ortalama değerler şöyledir: granit, 2000 kgf/cm²; kalker, 1600 kgf/cm²; çakmaktaşı, 2100 kgf/cm²; kuartz, 3300 kgf/cm²; kumtaşı, 1300 kgf/cm²

Kırma taş agregalar için basınç dayanımı tayini kaya parçasından elde edilen küp veya silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri ile saptanır. TS 706 (1980)'ya göre beton üretiminde kullanılacak agreganın basınç dayanımı 1000 kgf/cm²'den az olmamalıdır (TS 706, 1980).

2.1.2.3.(2) Aşınma Dayanımı

Üzerinde insan trafiği , hafif trafik veya kayarak sürtünmenin olabileceği kaldırım ve döşeme betonları, üzerinde ağır trafik bulunan beton yollar, su kuvvetiyle sürtünmeye maruz barajlardaki, dolu savaklardaki tünellerdeki ve su taşıyan sistemlerdeki betonlarda, beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalmasından dolayı agregaların aşınmaya dayanıklı olması istenir.

TS 706 (1980)'ya göre agreganın basınç dayanımının 1000 kgf/cm²'den az olması durumunda, agreganın aşınmaya dayanıklılığından kuşku duyulduğunda, ve beton yapımında yapay agrega kullanıldığında, agregaların aşınma dayanımının deneylerle araştırılması gerekmektedir.

TS 3694 (1981)- Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu isimli Standartta "Bilyalı Tambur Deney Yöntemi" olarak isimlendirilen ve yaygın ismiyle, "Los Angeles Aşınma Deneyi" olarak bilinen bir yöntemle belirlenmektedir.

Bu deney TS 3694 (1981)'e göre yapılır. Bu standartta deney bilyalı tambur deney yöntemi olarak isimlendirilmiştir. Standarda uygun şekilde alınan iri agrega örneği, içerisinde dökme demirden veya çelikten bilyalar bulunan silindirik bir tamburun içine yerleştirilir. Tamburun kapağı kapatılır ve çalıştırılır. Tambur dakikada 30-35 tur hızda döner. Tambur önce 100 kez ve daha sonra toplam 500 kez dönünce durdurulur. Her durduruluşta tamburdaki agrega örneği dışarı alınır ve 1.4 mm göz açıklıklı elekten elenir. Bu eleği geçen kısım aşınmış olarak kabul edilir. Bu aşınmış kısım tartılır ve aşınma toplam agreganın bir yüzdesi olarak hesap edilip, agreganın aşınması olarak rapor edilir. TS 706 (1980)'ya göre bu değer 100 tur için %10 dan ve 500 tur için %50 den fazla olmamalıdır.

Aşınma dayanıklılığı deneyi sadece iri agregalar üzerinde yapılmaktadır.

2.1.2.3.(3) Agregalarda Dona Karşı Dayanıklılık

Soğuk iklimlerde üretilen betonun donma etkisiyle yüzeyinin soyulmaması ve bir bütün olarak betonun parçalanmaması istenir. Betonun dona dayanıklılığında agrega önemli rol oynar. Bu nedenle donma etkisinde kalacak betonlarda kullanılacak agreganın da dona dayanıklı olması istenir (Özkul ve ark, 1999).

Agreganın donma çözünme olayından etkilenmesi, agrega tanelerinin üzerindeki su girebilecek kadar büyüklükteki gözeneklerinin çokluğuna bağlıdır. Soğuk havada gözenekler içerisinde bulunan su donar ve genleşme gösterir. Bilindiği gibi, suyun buza dönüşmesi ile yaklaşık %9 hacim büyümesi olmaktadır. Soğuk hava koşullarında su donmaya başlar. Gözenekler içindeki su miktarı pek fazla değil ise, donma olayı önemli bir sorun yaratmamaktadır. Ancak, gözeneklerin hacminin %91 veya daha fazlasının su ile dolu olduğu durumlarda donma olayı olur ise, buz haline dönüşen su mevcut hacminin içerisine sığamamakta ve etrafına basınç yaratmaktadır. Böyle bir durumda gözeneklerin içerisindeki suyun tamamı aynı zamanda donma göstermemektedir. Suyun bir miktarının buza dönüşerek hacim büyümesi yapması nedeniyle, henüz buzlaşmamış suyu gözenek hacminden dışarı iterek büyük bir hidrolik basınç yaratmaktadır. Böyle bir basınç beton içerisindeki agreganın ve agrega tanesinin etrafını saran sertleşmiş çimento hamurunun çatlamasına yol açabilmektedir (Erdoğan, 1995b).

TS 3655 (1981)'de üç farklı dona dayanıklılık deney yöntemi bulunmaktadır. Bunlar; dona dayanıklılığın şiddetli don etkisi altında belirlenmesi (Suda donma), dona dayanıklılığın orta şiddetteki don etkisi altında belirlenmesi (Havada donma) ve dona dayanıklılığın kimyasal yöntemle belirlenmesi (Sodyum Sülfat veya Magnezyum Sülfat deneyi)'dir.

En çok kullanılan yöntem üçüncü yöntemdir. Sonuca kısa sürede varılmak istendiğinde dona dayanıklılık deneyi kimyasal yöntem ile yapılır. Bu yöntemde sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltilerinden yararlanılır. Agreganın numunesi etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra sodyum sülfat veya magnezyum sülfat çözeltisi içine daldırılarak, 18 saat bekletilir. Daha sonra numune çözeltiden çıkartılarak sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulur. Bu işlem 5 kez tekrarlanır.

Sonuçta ; deney numunesi, TS 706 (1980)'ya göre Çizelge 2.11.'deki sınırlardan fazla ağırlıkça kayıp vermemelidir.

Çizelge 2.11. Agreganın dona dayanıklılık deneyi sınır değerleri

Agrega Sınıfı	% Sınırlar (ağırlıkça en fazla)	
	Sodyum Sülfat Çözeltisi	Magnezyum Sülfat Çözeltisi
İnce Agregat(Kum)	15.0	22.0
İri Agregat(Çakıl)	18.0	27.0

2.1.2.4. Agregat Yığını İçinde Bulunan Zararlı Maddeler

2.1.2.4.(1) İnce Maddeler

TS 3527 (1980)- Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini isimli Standarda göre agrega içinde bulunan ve tane büyüklüğü 0.063 mm'den küçük olan maddeler "ince madde" olarak tanımlanmaktadır. Kil ve silt gibi 63 mikrondan daha ince taneli malzeme agregada toplanmış halde, toz halde dağılı veya iri tanelerin yüzeyine yapışmış olarak bulunurlar. Bunlardan en zararlısı, yıkanabilir maddelerin agrega tanesinin yüzeyine yapışmış olanıdır. Çünkü bu durumda agrega ile çimento hamuru arasındaki bağ çok zayıflayabilir ve sonuçta betonun dayanımı önemli ölçüde düşebilir.

Agregada fazla miktarda ince tanelerin bulunmasının beton özelliklerine etkisi şöyle sıralanabilir;

- Betonda karma suyu ihtiyacını artırır,
- Taze betonun işlenebilmesini azaltır,
- Hava katkılı betonlarda, hava miktarını azaltır,
- Agregat ve çimento arasındaki bağ zayıflatır,
- Betonun dayanımını ve dayanıklılığını azaltır,
- Betonda büzülme arttırır.

TS 3527 (1980)'de ince madde oranının belirlenmesi ile ilgili olarak ölçü silindiri kullanılarak çökeltme yöntemi ile veya agreganın 0.063 mm'lik elek üzerinde yıkanması yöntemini önerilmiştir.

İlgili TS 706 (1980), standartında (0-4 mm) agrega tane sınıfları için yıkanabilir madde miktarı ağırlıkça en fazla % 4 değeri ile sınırlandırılmıştır.

2.1.2.4.(2) Organik Maddeler

Organik maddeler daha çok kumlarda rastlanır. Humus, turba ve organik balçık gibi organik maddelerin beton agregasında bulunmaması istenir. Organik maddeler betonun prizini ve sertleşmesini geciktirerek dayanımın düşmesine neden olabilirler (Özkul ve ark, 1999).

TS 3673 (1982)- Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu ve TS 3820 (1983)- Beton Agregaları, Organik Maddenin Harç Dayanımına Etkisinin Tayini Metodu isimli Standartlarda agregadaki organik maddenin bulunabilmesi için gerekli yöntemler belirtilmektedir. Agregada zararlı olabilecek miktarda organik madde bulunup bulunmadığı iki aşamalı bir deney yönteminin uygulanması ile belirlenebilir. Önce, TS 3673 (1982)'e göre, şüpheli ince agrega (kum) numunesi içerisinde düşük konsantrasyonlu sodyum hidroksit(% 3 NaOH) eriyiği bulunan bir cam şişe içerisinde 24 saat bekletilir ve süre sonunda eriyik rengi Standartta belirtilen renk ile karşılaştırılır. Renk, standartta belirtilen sarı renkten daha koyu veya kahverengi ise agrega numunesinde organik kökenli madde bulunduğunu gösterir. Ancak, organik madde miktarının betona zarar verebilecek kadar çok olup olmadığına karar verebilmek için deneylerin ikinci aşamasını (TS 3820, 1983) uygulamak gerekir. Bu durumda söz konusu ince agregadan iki numune hazırlanır. Numunelerden birisi hiçbir işlem görmeden, olduğu gibi, muhafaza edilirken diğeri %3 NaOH bulunduran bir eriyik ile standartta belirtilen sarı rengi alıncaya kadar işleme tabi tutulur ve daha sonra su ile yıkanır. Daha sonra, yıkanma işlemine tabi tutulmuş kum ve yıkanmamış diğeri kum kullanılarak herbirden Standartta belirtilen şekilde üçer adet 5 cm'lik harç küpleri veya 5*10 cm silindirler hazırlanır. Bu harç numunesinin ortalama basınç dayanımları bulunur.

Türk standartlarında bu deney sonucu özel olarak yorumlanmamıştır. Sadece, yıkanmamış kumdan yapılan betonların dayanımının %85'inden az olmaması gerektiği belirtilmiştir.

2.1.2.4.(3) Hafif Maddeler

Agregalarda bulunabilen hafif maddeler, kömür ve linyit taneleri, odun parçaları, ayrılmış şist ve diğer çeşitli yumuşak taneler gibi yoğunlukları genellikle mineral kökenli agregatanelerinin yoğunluklarından daha düşük olan maddelerdir. Bu maddelerin agregalarda belirli bir miktarın üstünde bulunmaları halinde, bu agregalarla üretilen betonların dayanımları çok düşebilir. Hafif taneler don etkisine maruz kaldıklarında kolaylıkla parçalanabilirler. Öte yandan bu tür tanelerin hacim sabitliği özelliği yoktur. Bunlar özellikle beton yüzeyine yakın olmaları halinde şişerek beton yüzeyinde patlamalara neden olabilirler. Özellikle, bu maddelerin agregalarda aşırı miktarda bulunması, betonun dayanıklılığını, durabilitesini önemli şekilde etkiler.

Agregada bulunabilecek hafif maddelerin miktarı TS 3528 (1980)'de belirtilen yöntemle bulunur. Etüvde kurutulmuş deney numunesi özgül ağırlığı 2gr/cm^3 olan deney sıvısı ile doldurulmuş kabın içine konur. Sıvının içinde veya üzerinde yüzen maddeler tel dokulu kevgir ile alınarak kevgirin içinde toplanır. Toplanan malzeme standartta belirtilen sıvılardan biriyle yıkanarak etüvde kurutulur. Kuruyan malzeme tartılır.

Türk Standartlarında hafif madde oranının en fazla ne kadar olması gerektiğine dair bir sınır belirtilmemektedir.

2.1.2.4.(4) Alkali-Agrega Reaksiyonu

Alkali-agrega reaksiyonu agreganın reaktif silis bileşenleri ile çimentonun alkalileri (Na_2O ve K_2O) arasında oluşan kimyasal bir olaydır. Bu olay betonda çatlamalara yol açmaktadır.

Çakmaktaşı, çert, kumtaşı, bazalt, opalinli kaya kökenli agregalarda bulunabilecek opal, kuartz, tridimit, kristobalit gibi reaktif silisler, beton içerisindeki çimentonun alkali ile reaksiyona girerek çok büyük genleşme kapasitesine sahip alkali-silis jellerinin oluşmasına yol açar.

Alkali-agrega reaksiyonunun önemli derecede oluşması üç faktöre bağlıdır.

1. Çimentodaki alkali oksit ($\text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$) miktarı %0.6'dan büyük ise,
2. Agregada alkaliye duyarlı silisli mineraller bulunuyor ise,
3. Betonda yeterli miktarda rutubet bulunuyor ise,

Alkali-agrega reaksiyonu aşağıda açıklanan iki aşama sonunda zararlı etkisini gösterir.

Alkali + Silika → Jel (alkali silikat çözeltisi)

Jel + Rutubet → Genleşme

Burada genleşme çatlamlara yol açarak, betonu hasara uğrattır (Özkul ve ark, 1999).

Türk Standartlarında agregalarda, alkali-silika reaksiyonuna yol açabilecek reaktif silis bulunup bulunmadığı konusunda özel bir yöntem belirtilmemektedir.

Alkali-agrega reaksiyonunu önlemek için aşağıda belirtilen hususlara dikkat etmek gerekmektedir.

1. Agreganın reaktif silis içerip içermediği belirlenmelidir. Reaktif silis içeren agregalar kullanılmamalıdır.

2. Kullanılan çimentonun alkali miktarı düşük olmalıdır.

3. İstenilen beton kalitesini elde etmek koşuluyla kullanılan çimento miktarı mümkün olduğu ölçüde az tutulmalıdır.

4. Beton yapımında içerisinde puzolan bulunmayan normal portland çimentosu kullanıldığında, bu çimentonun bir miktarını uçucu kül veya ince boyutlardaki doğal puzolanlarla değiştirerek puzolanlı beton yapılmalıdır.

2.1.3. Karışım ve Bakım Suyu

Çimentonun dayanım kazanması, hidrasyon, katılaşma ve sertleşme olaylarının birbirini izlemesi sonucu gerçekleşir. Hidrasyon olayı çimento-su

arasındaki kimyasal reaksiyonlardır. Bu durumda beton yapımı sırasında çimento, agrega ve su karıştırılırken suyun miktarı, kalitesi ve bileşimi çok önemlidir (Erdoğan, 1995c).

Karma suyunda betonu kimyasal yönden etkileyerek dayanımı olumsuz yönlendirecek ve hizmet süresini azaltacak iyonların bulunmaması gerekir.

Literatürlerde, karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir (Neville, 1995). Ancak, içme suyu standartlarına uygun olmayan bazı sularıda kullanarak iyi beton üretmek mümkündür.

Su beton yapımında aşağıda belirtilen üç değişik amaçla kullanılmaktadır. Bunlardan ilki en önemli amaç olmaktadır.

(1) Karışım suyu olarak: Betonu oluşturan çimento, agrega ve gerektiğinde bazı katkı maddeleri ile biraraya getirilen su, bu malzemelerin karılmasında ve böylece betonun yapımında kullanılır.

Su ve çimento bir araya getirildikleri andan itibaren bu iki malzeme arasında kimyasal reaksiyonlar (hidratasyon) başlamakta ve devam etmektedir. Çimento ve suyun oluşturduğu çimento hamurunun dayanımı ve diğer birçok önemli özellikleri hidratasyonun ne kadar mükemmel derecede yer alabileceğine bağlıdır.

Su ve çimentonun biraraya getirildikleri anda oluşan çimento hamuru başlangıçta yumuşak, plastik durumdadır; o nedenle, yeni karılmış betonda plastik durumdadır. Bu özellik nedeniyle, betona istenilen şekli verebilmek amacıyla taze betonu istenilen boyutlardaki kalıplara yerleştirebilmek mümkün olmaktadır. Kimyasal reaksiyonların devam etmesi sonucunda katılaşma ve sertleşme olayı gerçekleşebilmektedir.

Beton yapımında kullanılan suyun bir miktarı çimento ile gerekli kimyasal reaksiyonları sağlamak görevi yapmakla birlikte, bir miktarıda, çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak taze betonun kolayca karılıp, kalıplara yerleştirilmesini ve sıkıştırılabilmesini yerine getirmeye yaramaktadır.

(2) Bakım suyu olarak: Hazırlanan taze betonun kalıplara yerleştirilmesinden sonra beton içerisindeki suyun çimento ile kimyasal reaksiyonlara devam edebilmesine imkan sağlamak amacıyla, bu suyun, hava sıcaklığı ve rüzgar gibi etkenler nedeniyle buharlaşarak azalmasını önlemek

gerekmektedir. Hidratasyon için gerekli suyun buharlaşarak kaybolması, çimento reaksiyonlarının tam olarak oluşmamasına ve betondan beklenen dayanım, dayanıklılık gibi özelliklerin elde edilmemesine yol açmaktadır. Bu durumu önleyebilmek için taze betonun içerisindeki suyun buharlaşarak kaybolmasını mümkün olabildiği kadar azaltabilecek önlemler almak gerekmektedir. Bu amaçla, çeşitli bakım yöntemleri kullanılmaktadır. Betonun bakımı, özellikle taze betonun reaksiyonlarının daha hızlı yer aldığı ilk saatlerde ve ilk günlerde çok büyük önem kazanmaktadır.

(3) Yıkama suyu olarak: Beton yapımında kullanılan agregaların temiz olmaları gerekmektedir. Agregada bulunabilecek kil, silt, taşunu gibi çok ince maddeler, kil topakları ve organik maddeler çimentonun ve betonun özelliklerini olumsuz yönde etkilemektedirler.

Kil topakları veya tanelerin yüzeyini tabaka halinde toz gibi sarmış olan kil ve silt taneleri, beton yapımında hesaplanarak optimum miktarda katılmış olan suyun bir kısmını emerek, betondaki su-çimento oranını ve buna bağlı olarak beton özelliklerini etkileyebilecekleri gibi, daha da önemlisi, çimento hamuru ile agrega taneleri arasında oluşması gereken bağı önemli derecede azaltarak, daha düşük dayanımlı bir beton elde edilmesine yol açarlar. Bu nedenlerle, betonda kullanılması düşünülen agregaların mutlaka yıkanarak, temiz duruma getirilmeleri çok önemli bir husustur.

Su, agregaları yıkama işlemi dışında, beton karılması bittikten sonra, betoniye yıkama ve temizleme amacıyla da kullanılmaktadır. Betoniye yıkamak için kullanılan suyun içerisinde aşırı miktarda yabancı maddeler bulunduğu takdirde, bu maddelerin bir miktarı, betoniye iç yüzeyine yapışarak bir sonraki beton karışımının içerisinde yer alabilmektedirler. Böylece, elde edilen beton özellikleri etkilenmiş olabilmektedir.

2.1.3.1. Karışım Suyunun Taze ve Sertleşmiş Betonun Özelliklerine Etkisi

Taze betonun su kalitesi tarafından etkilenen önemli özelliği priz süresidir. Bu özelliğe bağlı olarak taze betonun işlenebilmesi ve yerine yerleştirilen beton

yüzeyinin düzeltilmesi de su kalitesi tarafından etkilenebilmektedir (Erdoğan, 1995c).

Sertleşmiş betonun, su kalitesi tarafından etkilenen başlıca özellikleri, dayanım, durabilite ve beton yüzeyinin sahip olması gereken düzgün ve güzel görünümüdür.

Dayanım: Çimento hamurunun bağlayıcılık özelliği, büyük ölçüde, çimentonun kalsiyum silikat bileşenleri ile su arasındaki kimyasal reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkan kalsiyum-silika-hidrat (C-S-H) jellerinin oluşumuna dayanmaktadır. Kullanılan suyun içerisinde fazla miktarda bulunabilecek yabancı maddeler hidratasyon ürünlerinin oluşum hızını ve miktarlarını etkileyebileceklerinden, çimento hamurunun katılma süresini ve bağlayıcılık kazanma özelliğini de etkileyecektir.

Çimento hamurunun bağlayıcılık özelliği (dayanımı), beton dayanımını etkileyen faktörler arasında önemli bir yer tutmaktadır. Çimento hamuru, beton yapımında, binlerce irili ufaklı agrega tanelerinin yüzeyini kaplamakta ve bu taneleri birbirine bağlamak görevini yapmaktadır. Çimento hamurunun bağlayıcılık özelliği yeterli olmadığı takdirde, betondan da istenilen ölçüde bir dayanım elde edebilmek mümkün değildir.

Öte yandan, çimento hamurunun dayanımı istenilen düzeyde yüksek olsa dahi, beton yapımında kullanılan su içerisinde çok fazla miktarda kil ve yağ gibi yabancı maddeler bulunduğu takdirde, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderans zayıf olmakta, beton dayanımı da olumsuz olarak etkilenmektedir.

Durabilite: Beton karışım suyunun içerisinde çok fazla sayılabilecek kadar yabancı maddeler bulunduğu takdirde, çimento ve su arasındaki kimyasal reaksiyonlar etkilenmektedir.

Çimentonun kalsiyum silikatlı bileşenlerinin hidratasyonu sağlıklı bir şekilde yer almadığı ve hidratasyon ürünü olarak yeterli miktarda kalsiyum silika hidrat (C-S-H) jelleri oluşmadığı takdirde, çimento hamurunun dayanımı düşük olmakta ve boşluklu ve su geçirgen bir yapı elde edilmektedir.

Çimento ana bileşenlerinden birisi olan trikalsiyum alüminat (C_3A), çimentonun üretiminde katılan küçük bir miktar alçı ile birlikte, su ile reaksiyona

girdiğinde, $C_4AS_3H_{30-32}$ (ettringite) gibi hidratasyon ürünleri ortaya çıkmaktadır. Bu ürünler, özellikle $C_4AS_3H_{30-32}$ büyük genleşme yaratacak kapasitededir.

Beton karılmasında kullanılacak su içerisinde fazla miktarda sülfat bulunması, fazla miktarda $C_4AS_3H_{30-32}$ oluşmasını sağlayacak ve betonda hacim değişikliklerine yol açacaktır.

Yüzey görünümü: karışım suyunda fazla miktarda bulunabilecek bazı tuzlar, beton yüzeyinde çiçeklenmeye ve lekeler yol açabilmekte ve kabarcıklı bir yüzeyin oluşmasına neden olmaktadır; kısacası, beton yüzeyinin çirkin görünmesine yol açmaktadırlar.

Beton malzemelerinin karışımında kullanılan suyun içerisinde fazla miktarda bulunabilecek ve böylece betonun içerisine girecek sodyum, potasyum, kalsiyum, karbonatlar gibi bazı tuzlar, sertleşmiş beton yüzeyinin ıslanıp kuruması nedeniyle, veya beton içerisine yüzeyden su sızması nedeniyle, eriyik olarak beton yüzeyine çıkmaktadırlar.

Buharlaşıma veya havadaki karbondioksit ile temas sonucu, bu tuzlar, beton yüzeyinde kristalleşmiş bir durumda yer alabilmektedirler. Bu duruma çiçeklenme denilmektedir.

Beton yüzeyindeki çiçeklenme, genellikle, sadece betonun güzel görünümü bakımından sakıncalıdır. Aşırı derecedeki çiçeklenme, porozitenin artmasına yol açar ki, böyle bir durumda, betonun su geçirgenliği ve dayanımı olumsuz olarak etkilenebilir.

Ayrıca, beton karışım suyunun içerisinde fazla miktarda kalsiyum klorür bulunduğu takdirde, beton özelliklerinin yanı sıra, çelik çubukların donatı olarak kullanıldığı betonarme yapılarda donatının korozyonuna yol açmakta veya korozyonu hızlandırmaktadır.

2.1.3.2. Karışım Suyunun İçinde Bulunabilecek Yabancı Maddelerin Türk Standartlarındaki Sınır Değerleri

Beton karışım suyunun kalitesi ile ilgili özel bir Türk Standartı yoktur.

TS-500 (1984) Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları isimli standarta göre,

- 1- Karışım suyu asit reaksiyon göstermemeli ($pH > 7.0$), bu suyun içerisinde agresif karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, yağlar, organik maddeler ve endüstri atıkları bulunmamalıdır.
- 2- Karışım suyunun içerisinde bulunabilecek toplam tuzların ve kükürtün maksimum miktarları aşağıdaki gibi olmalıdır:

Tuz, çözünmüş olarak, en çok 15 g/lt

Madeni tuz, yüzer olarak, en çok 2 g/lt

Beton bakımında kullanılacak suyun kalitesi de önemli olmaktadır. Beton bakımı için kullanılacak suyun içerisinde, katılaşmış betonda hacim değişikliği yaratacak veya beton yüzeyinde çiçeklenmelere, lekelere neden olacak miktarda tuzlar ve yabancı maddeler bulunmamalıdır.

2.1.4. Beton Katkı Maddeleri

Katkılar, çimento, agrega ve suyun dışında, betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen şekilde değiştirmek üzere, karıştırma işleminden hemen önce veya karıştırma işlemi sırasında betona katılan malzemelerin genel adıdır (Özkul ve ark, 1999). Bu katkılar betonun akışkanlığını arttırması, erken ve yüksek mukavemete ulaşılması, geçirimsizliğin sağlanması gibi fonksiyonların dışında priz süresinin geciktirilmesi veya erken priz sağlaması gibi sıcak ve soğuk havalarda beton dökümüne imkan vermektedir. Tüm bu nedenlerle beton katkı maddelerinin günümüz inşaat sektöründe kullanımı kaçınılmaz hale gelmiştir.

2.1.4.1. Beton Katkı Maddelerinin Tarihçesi

Yapılarda kullanılan beton ve harç içerisinde betonun özelliklerini iyileştiren maddelerin kullanımı yüzyıllarca sene önceye dayanmaktadır. Romalılar döneminde, kan, domuz yağı ve süt gibi betona akıcılık verecek ve beton yoğunluğunu arttırarak mukavemeti yükseltecek çalışmaların yapıldığı bilinmektedir (Postacıoğlu, 1986b).

Kimya teknolojisindeki gelişime paralel olarak beton katkı maddelerinde üretim ve çeşitlilik her yıl artmaktadır. İlk puzolanik madde 1910 yılında %50 portland çimentosuna %50 puzolan karıştırılarak gerçekleştirilmiştir. 1950'li yıllarda uçucu küller, çimento ağırlığını azaltmak için yoğun olarak kullanılmıştır. İlk olarak G. R. Tucker'in çalışmalarıyla beton katkı maddeleri ASTM standartlarına ASTM C 494-62 olarak girmiş ve kullanım ilkeleri belirlenmiştir.

2.1.4.2. Beton Katkı Maddelerinin Kullanımı

Katkıların kullanımında unutulmaması gereken en önemli husus bunların bir çeşit ilaç olmadıklarıdır. Katkılar betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini istenilen düzeyde geliştirmek için kullanılırlar. Kötü üretilmiş bir betonu katkı kullanarak iyi beton haline getirmek mümkün değildir. Önce iyi beton üretilmesi gerçekleştirilmeli ve ancak aranan özellikler bu yolla sağlanamıyorsa katkı kullanımı yoluna gidilmelidir. Katkı kullanırken aşağıda belirtilen hususlara dikkat edilmesi olası bazı olumsuzlukları ortadan kaldıracaktır.

1. Katkının ulusal veya tanınmış uluslararası standartlara uygun olması gerekir. Katkı üreticisi veya satıcısı sözkonusu malzemesiyle ilgili olarak aşağıdaki noktaları belirten açıklayıcı teknik dökümanlar hazırlamalıdır.
 - (a) betonda etkili olduğu ana özelliği,
 - (b) olumlu veya olumsuz yan etkilerini,
 - (c) fiziksel özelliklerini,
 - (d) aktif bileşeninin konsantrasyonunu,
 - (e) klor, sülfat, sülfat, fosfat, nitrat, şeker gibi beton veya betonarmeye olası zararlı etkileri olan maddeleri içerip içermediğini,
 - (f) pH derecesini,
 - (g) varsa, kullanıcı sağlığı açısından zararlarını ve alınması gereken önlemleri,
 - (h) depolama koşullarını ve raf ömrünü,
 - (i) beton karışımında kullanım şeklini,
 - (j) en az ve en çok kullanım miktarını

2. Kullanım sırasında üreticinin önerilerini takip etmekle birlikte, katkıların etkinliğini aşağıdaki koşulların etkilediği bilinmelidir.

- (a) çimentonun kompozisyonu,
- (b) agrega özellikleri,
- (c) beton karışım oranları,
- (d) kullanılan diğer katkılar,
- (e) beton karıştırma süresi,
- (f) katkının karışıma eklenme zamanı,
- (g) taze betonun sıcaklığı,
- (h) beton bakım koşulları.

Bu nedenle katkıların her zaman şantiye veya beton tesisi koşullarında ve buralarda kullanılan beton malzemeleriyle denenmelerinde yarar vardır.

3. Özellikle kimyasal katkılar, çimento miktarının %0.1'ine varan, çok az miktarlarda kullanıldıklarından, tartım işlerinin doğru ve güvenilir olarak yapılması sağlanmalıdır. Aksi taktirde, istenilen sonuç elde edilmez veya zararlı etkiler ortaya çıkabilir.
4. Katkılar betonun birden fazla özelliğini etkileyebilir. Bu durum, özellikle ikincil etkiler zararlı ise, göz önünde bulundurulmalıdır.

2.1.4.3. Beton Katkı Maddelerinin Sınıflandırılması

Beton karışımına ilave etmek için bir çok katkı maddesi bulunmaktadır. Bir çok firma kendi ürününü üretmekte ve beton katkısı olarak piyasada pazarlamaktadır. Bu katkı maddeleri iyi tanınmayınca kullanımında karışıklıklara sebep olmaktadır. Bunları tek tek bilmek mümkün olmayacağı için uygun bir şekilde gruplandırıp sınıflandırmak gereklidir. Beton katkı maddeleri genellikle 4 ana grup altında toplanabilir(Atış, 2000b).

2.1.4.3.(1) Hava Sürükleyici Katkılar

Bunlar, organik maddelerdir. Genellikle su içinde bir eriyik şeklindedir. Betonun suya doymun olduğu veya doygunluk derecesine yakın olduğu durumlarda tekrarlı donma-çözülme altında önemli bir dezavantajı ortaya çıkar. Böyle bir ortamda beton kısa bir sürede dağılabilir. Dolayısıyla, donma-çözülme etkisi, gerekli önlem alınmadığı takdirde, betonun yol kaplamaları, barajlar, temeller gibi yerlerde kullanılmasını güçleştirir.

Bilindiği gibi, su donduğunda hacimce genişir. Betonda gözeneklerde ve kılcal boşluklarda bulunan su da donduğunda genişerek bu boşlukların ve gözeneklerin duvarlarına gerilmeler uygular ve mikro çatlaklar oluşmasına neden olur. Hava sürükleyici katkıları kullanıldığında betonda meydana gelen, birbirinden bağımsız hava kabarcıkları bu içsel gerilmelere karşı bir tür yastık vazifesi görür. Su hava kabarcıklarına doğru hareket ederek bunların bir kısmını doldurur ve genişleme sırasında tamamını dolu olmadığından içsel gerilmeler azalır.

Hava sürükleyici katkıları, karışım işlemi sırasında betonda yaklaşık 0.2 mm boyutlarında birbirinden bağımsız hava kabarcıkları oluşturular. Bu hava kabarcıkları priz tamamlandıktan sonra da beton içinde kararlı bir yapıda kalırlar. Betonun donma-çözülme direncini arttırmak için hacimce %4-8 hava içermesi önerilir.

Normal betonlarla kıyaslandığında, hava sürüklenmiş betonların

- Donma-çözülme direnci daha yüksektir,
- Buz çözücü tuzların zararlı etkilerine karşı direnci daha yüksektir,
- İşlenebilirliği daha yüksektir,
- Aynı su-çimento oranında, dayanımı sürüklenmiş hava miktarının her %1'i için %4-6 daha düşüktür,
- Birim ağırlığı daha düşüktür,
- Terlemesi daha azdır.

Hava sürükleyici katkı kullanımı sonucunda betonda sağlanan hava miktarı bir çok parametre tarafından etkilenir. Sabit bir hava sürükleyici katkı miktarı için, taze betonun çökmesi, su-çimento oranı ve ince agrega miktarı fazlalaştıkça betonda sürüklenmiş hava miktarı da artar. Öte yandan, kumdaki ince madde miktarı, ortam

sıcaklığı, çimentonun inceliğinin artması ve karıştırma süresinin uzaması hava miktarında azalmaya yada hava sürükleyici kullanımı dozajının artmasına yol açar.

2.1.4.3.(2) Kimyasal Katkı Maddeleri

Kimyasal katkılar genel grubu priz süresini ayarlayan ve karışım suyunu azaltan kimyasal katkılardan oluşur. Bu katkılar kullanım amaçlarına göre yedi sınıfa ayrılırlar.

- **Tip H:** Priz süresini hızlandırıcı katkılar
- **Tip G:** Priz süresini geciktirici katkılar
- **Tip A:** Karışım suyunu azaltıcı katkılar
- **Tip AH:** Karışım suyunu azaltıcı ve priz süresini hızlandırıcı katkılar
- **Tip AG:** karışım suyunu azaltıcı ve priz süresini geciktirici katkılar
- **Tip YA:** Karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcı katkılar
- **Tip YAG:** karışım suyunu yüksek miktarda azaltıcı ve priz süresini geciktirici katkılar.

2.1.4.3.(2.a) Priz Süresini Hızlandırıcı Katkılar

Bitirme, kalıp sökme gibi işlemlerin daha kısa sürede gerçekleştirilmesi, erken yüksek dayanım elde edilmesi ve soğuk havalarda beton dökülmesi gibi amaçlarla kullanılırlar. Hızlandırıcı etkilerini çimentoların ana bileşenlerinden olan C_3S 'in hidratasyon hızını artırarak gösterirler.

Hızlandırıcı katkılar kullanıldığında betonun taşıma, yerleştirme ve sıkıştırma gibi işlemleri için gereken sürenin kısılacağı unutulmamalıdır. Dolayısıyla, söz konusu işlemler için iyi bir zaman programlaması gerekir.

Bazı priz süresini hızlandırıcı katkılar klor iyonu içerir. Klor betonarme donatılarının paslanması hızlandırdığından bu tür katkıların kullanılması zararlı olabilir.

2.1.4.3.(2.b) Priz Süresini Geciktirici Katkılar

Sıcak havalarda beton dökülmesi, beton karıştırma ve yerleştirme işlemleri arasındaki sürenin uzun olduğu durumlarda; kütle betonlarında peşpeşe iki döküm arasında soğuk derz oluşmasını önlemek amacıyla ve döşemelerde kalıp deformasyonlarından meydana gelebilecek beton çatlaklarını önlemek gibi maksatlarla kullanılırlar. Geciktirici etkilerini çimentonun ana bileşenlerinden olan C_3S 'in hidratasyon hızını azaltarak gösterirler. Geciktirici etkileri kullanılan katkı miktarıyla doğrudan ilişkilidir. Bu miktar belli bir kritik değerden fazla olduğu takdirde, C_3S hidratasyonu tamamıyla durur ve beton hiçbir zaman sertleşmez. Dolayısıyla, priz geciktirici katkılar üreticinin belirttiği en çok miktarın üzerinde kullanılmamalıdır.

2.1.4.3.(2.c) Karışım Suyunu Azaltıcı Katkılar (Akışkanlaştırıcı, Plastikleştirici)

Adlarından da anlaşılacağı gibi, bu katkılar belirli bir işlenebilirlik değeri için betona gerekli olan karışım suyu miktarını azaltırlar. Bu özellikleriyle çeşitli avantajlar sağlarlar: istenilen beton çökme değerini daha az miktarda suyla elde ederek, sabit bir çimento miktarı için, su-çimento oranını düşürürler. Böylece, dayanımın artmasını, geçirimsizliğin artmasını ve dayanıklılığın artmasını sağlarlar. Öte yandan, su-çimento oranını sabit tutarak, kullanılan çimento miktarını azaltmak suretiyle, sabit bir işlenebilirlik elde edilebilir. Betondaki çimento miktarının azaltılması ekonomik gerekçelerle yapılabileceği gibi, hidratasyon ısının azaltılması gibi teknik gerekçelerle de yapılabilir. Son olarak, taze betonun yerleştirilmesini kolaylaştırmak için, hem su-çimento oranı hem de çimento miktarı sabit tutularak daha yüksek çökme değeri yani işlenebilirlik elde edilebilir.

Karışım suyunu azaltıcı katkılar, aynı zamanda, akışkanlaştırıcı ve yüksek akışkanlaştırıcı katkılar olarak ta adlandırılırlar. Akışkanlaştırıcı katkılar (A, AH, AG) beton karışım suyunu %5-10 civarında, yüksek akışkanlaştırıcı katkılar (YA, YAG) ise %12 ve daha fazla oranda azaltırlar.

2.1.4.3.(3) Mineral Katkı Maddeleri

Betonun işlenebilirliğini, mukavemetini, durabilitesini, ekonomisini iyileştirmek için ya da hidratasyon oranını ve ısını kontrol etmek amacıyla beton karışımına katılan katı ve ince bir şekilde öğütülmüş maddelerdir.

Betonda kullanılan en yaygın mineral katkılar puzolanik malzemelerdir. Puzolanik malzemeler kendi başlarına bağlayıcı özelliği bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde ve rutubetli ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli ve alüminli malzemelerdir. Bims, çeşitli volkanik küller ve tüfler doğal puzolanlardır. Termik santrallerin atıklarından olan ve elektrofiltrelerde toplanarak daha sonra santral dışına atılan uçucu küller; silikon metal ve alaşım endüstrisi atığı olan silis dumanı ise yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir. Puzolanik malzemelerin betonda kullanımı, esas itibarıyla, çimentonun hidratasyonu sonucunda önemli miktarlarda ortaya çıkan ve gerek dayanım gerekse dayanıklılık açısından betona herhangi bir olumlu etkisi söz konusu olmayan, kalsiyum hidroksitin bu malzemelerle reaksiyona girerek daha fazla miktarda bağlayıcı özellik gösteren bileşenler oluşturması temeline dayanır. Genel olarak bakıldığında, puzolanların çeşitli beton özelliklerine etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

- Karışım suyu ihtiyacında artma söz konusudur. Ancak bazı uçucu küller azalmaya neden olabilir.
- İşlenebilme artar, ayrışma ve terleme azalır.
- Donma-çözülme direnci erken yaşlarda azalır.
- Dayanım kazanma hızı azalır. Nihai yaşlardaki dayanımlar yüksek olur.
- Alkali-agrega reaksiyonu riski azalır.
- Hidratasyon ısısı azalır.
- Rötre genellikle artar.
- Sülfat direnci artar.

Bütün katkılarda olduğu gibi, puzolanların kullanılacağı durumlarda da mutlaka gerçek kullanım koşullarına uygun denemeler yapılması gerekir. Her puzolanik malzemenin beton özelliklerine etkileri bir diğerinden farklı olduğu gibi, aynı kaynaktan değişik zamanlarda alınan puzolanların dahi özelliklerinde değişiklikler olması kaçınılmazdır. Puzolanların, beton özellikleri üzerindeki etkileri yukarıda genel hatlarıyla belirtilmişti. Bu etkiler, puzolanların kimyasal, mineralojik kompozisyonlarına, inceliklerine, birlikte kullanıldıkları çimentonun özelliklerine, vb. bağlı olarak değişebilir. Örneğin, uçucu küllerin özellikleri elde edildikleri kömürün cinsine ve içerdiği safsızlıklara, termik santraldeki yakma sıcaklığına, kül toplama sistemlerine vb. bir çok parametreye bağlıdır. Bu özelliklerdeki farklılıklar da kullanıldıkları betona olan etkilerinde değişikliklere yol açar.

2.1.4.3.(4) Çeşitli Katkı Maddeleri

Bunlar yukarıda tarif edilen gruplara girmeyenlerdir. Renklendirme yapanlar, pompalamaya faydalı olanlar, geçirgenlik azaltanlar, rötre azaltanlar, şişme yapanlar, paslanma engelleyici malzemeler bu gruba girerler.

2.2 Beton

2.2.1. Betonun Tanımı ve önemi

Beton: çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin uygun oranlarda ve homojen olarak karıştırılmasıyla elde edilen, başlangıçta plastik kıvamlı olup zamanla çimentonun hidrasyonu nedeniyle katılaştıran ve dayanım kazanan bir yapı malzemesidir (ADANA ÇİMENTO SANAYİ, 2000).

Beton, çağdaş toplumların temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Günümüzde binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları vb. yapılar betondan yapılmaktadır. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5,5 milyar ton beton üretilmektedir. Bu miktar dünya

nüfusuna bölündüğünde kişi başına 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkmaktadır (Özkul ve ark, 1999).

Betonun bu kadar yaygın kullanılmasının çeşitli nedenleri vardır. Diğer yapı malzemelerine göre , daha kolay şekil verilebilir olması, ekonomik olması, dayanıklı olması, üretiminde daha az enerji tüketilmesi, her yerde üretilebilir olması ve estetik özellikleri bu nedenlerin başında gelmektedir.

Betonun bir çok olumlu özelliğinin yanı sıra, elbette ki, bazı olumsuz özellikleri de bulunmaktadır. Ancak, bunların üstesinden gelebilmek için beton üreticiye ve kullanıcıya bir çok olanak sağlar. Çelik donatı kullanılarak düşük çekme dayanımı dezavantajının azaltılması, çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılarak çeşitli özelliklerinin daha da iyileştirilmesi bu olanaklara örnek olarak verilebilir.

2.2.2. Betonun Tarihçesi

İnsanoğlu binlerce yıl önce taşı yapı malzemesi olarak kullanmaya başladığında, elinde iyi bir bağlayıcı malzeme olmadığından, uygulama sınırlı kalmıştır. Eski Grek, İyon ve Roma tapınaklarında belirli açıklıkların geçilmesinde tek parça taşlardan oluşan kirişler kullanılmıştır. Ancak taşın çekme dayanımı düşük olduğundan, geçilen açıklıklar sınırlı kalmış ve büyük kesitler gerektiğinden, ağır elemanların taşınması ve yerine konması büyük sorunlar yaratmıştır. İnsanoğlunun daha büyük açıklıklar geçme tutkusu onu yeni yapı sistemleri aramaya itmiş ve bunun sonucu olarak, tüm kesitin basınca çalıştığı kemer sistemleri geliştirilmiştir. Kireç ve doğal çimento gibi bağlayıcıların bulunması ile daha dayanıklı yapılar inşa edilebilmiştir.

İyi bir bağlayıcı olan doğal çimentonun ilk kez Romalılarca kullanıldığı sanılmaktadır. Romalılardan 18. yüzyıla kadar bağlayıcı konusunda önemli bir ilerleme olmamıştır. İlk çimentoyu bulan, John Smaeton adlı bir İngiliz mühendistir. Elimizdeki kayıtlara göre Smaeton, 18. yüzyılda yapılmış olan Eddystone fenerinde kireçtaşı ve kil karışımından elde ettiği bir tür çimento kullanılmıştır. Bugün kullandığımız çimento ise, John Aspdin adlı bir İngiliz duvarcı tarafından 1824

yılında bulunmuştur. Aspdin imal ettiği çimentonun patentini alırken, adını Portland'daki taşlara benzediğinden "Portland Çimentosu" olarak tescil ettirmiştir. Daha sonra birçok amaçlara hizmet verebilen çimento çeşitleri üretilmiştir. İlk Portland çimentosu fabrikası 1848' de İngiltere'nin Kent şehrinde kurulmuş, çimento imalatı ve kullanımı 19. yüzyılın ikinci yarısında birçok ülkeye yayılmıştır.

Avrupa ve Amerika'da 1900'ü izleyen yıllarda betonarme ile ilgili yönetmelikler, beton karışım hesapları ile ilgili mukavemet ve su formülleri, ideal granülometri eğrileri, ilk önerilmeli beton sistemleri ve ilk etkili vibrasyon sistemi geliştirilmiştir.

Çimentonun istenilen düzeyde ve kalitede beton oluşturulabilmesi için su, kum ve çakılla karıştırıldığında kullanılan eski yöntemler yetersiz kalınca bugünkü hazır beton üretimi ortaya çıkmıştır.

2.2.3. Beton Çeşitleri

Betonlar genelde ağırlıklarına, dayanımlarına ve yapım tekniklerine göre çeşitli sınıflara ayrılmakta olup, bunlar; ağır beton, normal ağırlıklı beton, hafif ağırlıklı beton, vakumlanmış beton, agregası önceden yerleştirilmiş beton, lifli beton, püskürtme beton, silindirle sıkıştırılabilen beton, normal ve yüksek dayanımlı betonlar olarak bir çok sınıflara ayrılmaktadır.

2.2.3.1. Ağır Beton

Radyografi tesislerinde, atom pil ve reaktörlerinde meydana gelen öldürücü ışınlardan korunmak için birim ağırlığı $2,5 \text{ kg/dm}^3$ den büyük olan ağır betonların üretimi yönüne gidilir. Bu bakımdan cisimlerin içine girebilme kabiliyeti yüksek olan nötrön ışınları ile γ ışınları tehlikelidir. Ağır betonlar, ağır agregalar kullanarak normal betondan pek az ayrılan bir şekilde üretilir. Bu amaçla iri agregalar olarak kullanılan belli başlı malzeme magnetik, limonit ve barittir. Bu betonların üretiminde dikkat edilecek en önemli hususlar şunlardır.

a- Betonun homejenliğinin sağlanmasına daha fazla önem verilmelidir. Zira özgül ağırlığı büyük olan agregaların kullanılması homejenliğin bozulmasını kolaylaştırır.

b- Çatlaklar herhangi bir şekilde meydana gelmemelidir. Bunun yüzden rötrenin büyük değerler almaması için gerekli önlemlerin hepsi alınmalıdır. Çimento dozajı 350 kg/m^3 den fazla olmamalı ve W/C oranı da daima 0,5'in altında kalmalıdır.

c- Beton en fazla 25 cm kalınlığında tabakalar halinde dökülmelidir. Betonun kalıbının yerleştirilmesinde yüksek frekanslı (dakikada frekansı 20000 olan) vibratörlerle ağır agrega tanelerini harekete geçirmek kabil olur.

Ağır betonların birim ağırlığı $3,2 - 4,0 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişir. 350 dozlu ağır betonların 28 günlük silindir mukavemeti $250 - 340 \text{ kgf/cm}^2$ arasında değerler alır.

2.2.3.2. Normal Ağırlıklı Beton

Kum, çakıl, veya kırma taşın su ve çimento ile belirli oranlarda karıştırılması ile elde edilen taze iken plastik kıvamda sertleştiğinde rijit bir yapı kazanan yapı malzemesidir. Bu betonların birim ağırlıkları, kullanılan agreganın yapısına bağlı olarak $2400 \text{ ile } 2600 \text{ kg/m}^3$ arasında değişmektedir. Dünyada en çok kullanılan beton çeşitidir. Bunların yoğunlukları fazla olduğundan ısı iletimleri ve basınç mukavemetleri diğer yapı malzemelerine göre daha yüksektir. Bundan dolayı bu betonlar daha ziyade taşıyıcı olarak kullanılırlar.

2.2.3.3. Hafif Ağırlıklı Beton

Hafif beton, birim ağırlığı normal betonlardan belirli şekilde küçük olan beton olarak tarif edilmiştir. Genel olarak birim ağırlıkları 1800 kg/m^3 'den küçük olan betonların hafif beton sınıfına gireceği belirtilmiştir (Gambhir, M. L., 1986). Uluslararası standart beton üretim merkezi ise hafif betonu, kuru birim ağırlığı $1200 \text{ ile } 2000 \text{ kg/m}^3$ arasında değişen beton olarak tarif etmektedir (Erdoğan, T. Y., 1995). Bu betonların birim ağırlıkları kullanım amacına göre değişmektedir. Örnek olarak;

ısı yalıtım amacı için kullanılan hafif betonların birim ağırlıkları 300 ile 800 kg/m³ arasında değişmekte iken, taşıyıcı olarak kullanılan hafif betonların birim ağırlıkları 2000 kg/m³ e kadar yükselebilmektedir. Bu betonların birim ağırlıkları ve ısı yalıtımları normal betonlara kıyasla oldukça küçük olduğundan, kullanıldıkları yapıların ısı kayıplarında ve ölü yüklerinde önemli derecede bir düşme sağlarlar.

2.2.3.3.(1) Taşıyıcı Hafif Ağırlıklı Beton

28 günlük silindir mukavemeti 170 kgf/cm² değerinden küçük olmayan ve birim ağırlığı 1.85 kg/dm³ değerini aşmayan betonlar (Özcan, 1999), bir çok standartlar tarafından ve bu arada A.S.T.M. standardına göre, taşıyıcı beton olarak kabul edilmektedir. Bu tür betonların betonarme yapılarda kullanılmasıyla daimi yükün , % 25 gibi belirgin bir ölçüde azalması sağlanmaktadır. Bundan dolayı betonarme yapı tekniğinde hafif taşıyıcı beton kullanılması eğilimi gittikçe artmaktadır. O kadar ki evvelce yalnız binaların yapımında kullanılan bu tür betonlarla günümüzde 140 m açıklığında betonarme köprülerin yapımına başlanmıştır. Bu tür malzemeye yönelmenin başlıca nedeni yapının tüm ağırlığının azaltılmasından yararlanarak taşıyıcı elemanlarının kesitlerini küçültmek ve böylelikle işin maliyetini düşürmektir. Hafif taşıyıcı betonlar, yapının maliyeti üzerindeki önemli katkısından başka biraz evvel belirtildiği gibi yapıların depreme dayanıklılığını arttırması bakımından çok yararlı işlev görmektedir.

Taşıyıcı hafif betonların muhtelif metotlarla elde edilmesi mümkündür. Bunlar arasında en ekonomik olanı doğal agregalar kullanılarak bu betonların yapılmasıdır. Ülkemizde çok geniş doğal hafif agregalar rezervleri (Bayındırlık Bakanlığınca yapılan araştırmalara göre 580 milyon m³ mertebesinde) bulunmaktadır. Bu bakımdan bizim için taşıyıcı hafif betonların elde edilmesinde doğal hafif agregalardan yararlanmak en doğru bir çözüm olarak gözükmektedir.

Doğal hafif agregalar ile normal agregaların belirli oranlarda karıştırılması sonucunda elde edilen bu betonların üretiminde bazı değişik yöntemlerin uygulanması gerekir. Bunlardan en önemlisi üretimden evvel hafif agregaya bir miktar su emdirilmesidir. Bu yapılmaz ise hafif agregalar konulan suyun bir kısmını emecek,

bunun sonunda çimento hidratasyon için gerekli suyu bulamadığından dolayı beton mukavemeti beklenen değerin altında olacaktır.

Bu betonlara ait su-çimento oranındaki su miktarı agregaya daha evvel emdirilmiş su miktarını içermez. Buradaki su miktarı karıştırma sırasında katılan su miktarıdır. Bundan dolayı hafif agregalı betonlarda yukarıdaki orana etkin (su/çimento) oranı denilmektedir. Agregalara evvelden emdirilecek su miktarı yapılacak deneylerle saptanmalıdır. Diğer taraftan yine doğal hafif agregaların su emme kabiliyetinin fazla olmasından dolayı bu betonlarda agrega taneleri ile çimento hamuru arasında kuvvetli bir aderans vardır. Doğal hafif agregalı betonlarında kırılmanın agrega tanesinin çimento hamurundan ayrılması şeklinde olmayışı ve tanenin parçalanması şeklinde meydana gelmesi bunu açıkça kanıtlamaktadır.

2.2.3.4. Vakumlanmış Beton

Vakum betonu, yerleştirme işleminden hemen sonra beton yüzeyine konulan vakum panelleri ve uygun bir vakum pompası vasıtasıyla karışım suyunun bir kısmının betondan uzaklaştırılmasıyla elde edilir. Vakum uygulamasıyla, yüzeyden 15-30 cm derinlikteki bölgede bulunan suyun yaklaşık 1/3'ü alınabilir. Ancak yaygın uygulama 15 cm derinliğe kadar olan kısımdan karışım suyunun yaklaşık %20'sinin vakumlanarak alınması yönündedir (Özkul ve ark, 1999).

Vakum betonlarında, suyun bir kısmının alınması nedeniyle, su çimento oranı azaltıldığından daha yüksek dayanımlar ve dayanıklılık sağlanır. Bu uygulama geniş yüzey alanına sahip, kalınlığı fazla olmayan betonlarda olumlu sonuç verir.

2.2.3.5. Agregası Önceden Yerleştirilmiş Beton

Kalıplara önceden yerleştirilmiş ve sıkıştırılmış uygun gradasyonlu ve temiz iri agrega taneleri arasındaki boşluklara çimento+ince agrega +su karışımının pompalanmasıyla elde edilen bir betondur. Bu uygulamayla, agrega miktarı yüksek, yoğun betonlar elde etmek mümkündür. Özellikle, su altı işlerinde ve onarımlarda

kullanım alanı bulur. Bu güne kadar bazı köprü ayakları, nükleer reaktörler, tüneller, madenler gibi yerlerdeki çeşitli beton işlerinde uygulanmıştır (Özkul ve ark, 1999).

Agregası önceden yerleştirilmiş betonun uygulanmasında dikkat edilecek hususlar aşağıda özetlenmiştir.

- Çimento+ince agrega+su karışımındaki ince agrega gradasyonu normal betonda gereken ince agrega gradasyonu ile aynı; karışım kıvamı ise krem kıvamında olmalıdır. Gerekirse, puzolanik dolgu maddeleri kullanılabilir. İnce agreganın %95'i 1.2 mm'den; %100'ü de 2.4 mm'den küçük olmalıdır.
- İri agrega, kalıplara yerleştirildikten sonra, yaklaşık %35'lik bir boşluk oranına sahip olmalıdır.
- Kalıplar, çimento şerbetinin sızmasına meydan vermeyecek kalitede olmalı ve şerbet kalıpların en alt noktasından pompalanmalıdır.

2.2.3.6. Lifli Beton

Lifli beton uygulamaları, esas itibarıyla, betonda çatlakların ilerlemesini ve yayılmasını önlemek, sünekliği ve tokluğu artırmak maksadıyla yapılır.

Uygulamanın etkinliği;

- Kullanılan lif miktarına,
- Lif şekline,
- Liflerin beton içindeki yönelmesine ve dağılımına,
- Boy-çap oranlarına,
- Liflerin ve betonun elastisite modüllerinin oranına ve
- Lifli betonun sıkıştırılma yöntemine

bağlıdır.

Lifli betonlar, genel olarak, çatlak ilerlemesinin istenmediği, enerji yutma kapasitesinin yüksek olması gereken yerlerde kullanılır. Bunlara örnek olarak, köprüler, beton yollar, hava alanları, endüstriyel döşemeler, kayalarda şev stabilizasyonu gibi işler gösterilebilir (Özkul ve ark, 1999).

2.2.3.7 Püskürtme Beton (Shotcrete)

Püskürtme beton kelimesi veya terimi genellikle beton veya harcın yüzeylere basınçla kompresörden elde edilen hava yardımıyla atılan şekli için kullanılır (Kapucuoğlu, 1998). Püskürtme beton kuru karışım ve yaş karışım olmak üzere iki şekilde uygulanır.

Kuru karışım, çimento ve kuru kum-agrega önceden karıştırılır ve hortumla kuru olarak basınçlı hava yardımıyla kullanılacak alana sevk edilir. Bu amaç için özel makineler kullanılır. Priz hızlandırıcı katkı maddesi burada kuru karışıma ilave edilir. Püskürtme anında gerekli su miktarı ilave edilerek yüzeye püskürtülür.

Yaş karışım, su önce karışıma katılır. Beton püskürtme ucuna geldiğinde priz hızlandırıcı betona katılır. Beton yüksek bir basınçla yüzeye püskürtülür.

2.2.3.8. Silindirle Sıkıştırılabilen Beton

Silindirle sıkıştırılabilen beton, normal betona göre su içeriği çok az ve işlenebilirliği yok denecek (sıfır çökme) düzeyde olan ve taze haldeyken normal betondan daha çok zemin dolgu malzemesi gibi, katılaştığında ise normal beton gibi davranan betondur.

Yol kaplaması ve beton ağırlık barajlarının yapımında da başarı ile kullanılmış olan silindirlenebilen beton, çok geniş uygulama alanlarına sahiptir. Bunlar; normal yollar, fabrika içi yollar, yapım için kullanılacak geçici yollar, park alanları, servis alanları, depo alanları, malzeme stok alanları, havayolları apron ve taşıma yolları ve ağır trafikle yüklü yollar ve otoyolların temel ve kaplama tabakalarıdır (Nanni, ve ark, 1996; Pigeon ve Marchand, 1996; Munn, 1984; Hansen, 1996; Cannon, 1993; Corps of Engineers, 1994, Anderson, 1984).

Düşük su-çimento oranı ile çalışılmak durumunda olduğundan, silindirlenebilen betonun dayanım gelişmesi çok hızlı olmakta ve üç gün gibi kısa bir süre içinde oldukça yüksek dayanım elde edilmektedir. Sabit su çimento oranı için belli bir dayanımın sağlanması daha az çimento miktarı ile mümkün olmakta, dolayısıyla karışımında daha az su ve çimento bulunması düşük rötreye sebep olduğu

gibi hidratasyon kinetiğinden kaynaklanan çatlakların azalmasına da sebep olmaktadır. Yol kaplaması olarak kullanıldığında yolun kısa sürede trafiğe açılma imkanı sağlamaktadır. Birim beton hacmi için gerekli su miktarının azlığı nedeniyle gerekli dayanım daha az çimento miktarı ile sağlanabilmekte ve beton karışımı oldukça ekonomik olmaktadır.

- Kısaca silindirlenebilen beton normal kütle betonlarıyla karşılaştırıldığında ,
- Çimento miktarı daha azdır,
- Tabakalar halinde yerleştirildiği için, kalıp maliyeti düşüktür,
- Hidratasyon ısını azaltıcı soğutma sistemleri gerektirmez,
- Betonun taşınma masrafları daha azdır,
- Hızlı yerleştirme imkanı sağladığından, işçilik kullanımı daha etkindir,
- Yapım süresi önemli ölçüde kısadır.

2.2.4. Dayanımlarına Göre Beton Sınıflandırması

Genel olarak dayanıma göre sınıflandırmada standartlar arasında herhangi kesin bir fikir birliği yoktur. Yüksek dayanımlı beton ile normal dayanımlı betonu ayıran çizgi kesin olarak belirlenmiş değildir. TS 500 (1985)'e göre küp numuneden elde edilen dayanımı 300 ve 300 kgf/cm²'nin altında olan betonlar normal dayanımlı beton ve 300 kgf/cm²'nin üstünde olan betonlar ise yüksek dayanımlı beton olarak sınıflandırılmaktadır. İngiltere'de ise bu ayırım çizgisi 600 kgf/cm² olarak kabul görülmektedir (Cabrera ve Atiş, 1999).

2.2.4.1. Beton Sınıfları ve Beton Basınç Dayanımları

Betonun tanımlanması ve sınıflandırılması basınç dayanımına göre yapılır. Basınç dayanımı, taban çapı 15 cm ve yüksekliği 30 cm olan, suda 20°C ± 2°C sıcaklıkta kürlenmiş, 28 günlük standart deney silindirlerinden elde edilir. Karakteristik beton dayanımı f_{ck} , denenecek numunelerden bulunacak basınç dayanımlarının, bu değerden düşük olma olasılığının %10 olduğu değerdir. Basınç dayanımı bir kenarı 20 cm olan küp numunelerden de elde edilebilir.

Çizelge 2.12. Beton sınıfları ve basınç dayanımları

Beton Sınıfı	f_{ck} , Karakteristik Silindirik Basınç Dayanımı Kg/cm ² (N/mm ²)	Eşdeğer Küp Basınç Dayanımı Kg/cm ² (N/mm ²)	f_{ck} , Karakteristik çekme dayanımı Kg/cm ² (N/mm ²)	E_c (28 günlük) Kg/cm ² (N/mm ²)
BS14 (C14)	140 (14)	160 (16)	13 (1.3)	261500 (26150)
BS16 (C16)	160 (16)	200 (20)	14 (1.4)	270000 (27000)
BS20 (C20)	200 (20)	250 (25)	16 (1.6)	285000 (28500)
BS25 (C25)	250 (25)	300 (30)	18 (1.8)	302500 (30250)
BS30 (C30)	300 (30)	350 (35)	19 (1.9)	318000 (31800)
BS35 (C35)	350 (35)	400 (40)	21 (2.1)	332000 (33200)
BS40 (C40)	400 (40)	450 (45)	22 (2.2)	345500 (34550)
BS45 (C45)	450 (45)	500 (50)	23 (2.3)	358000 (35800)
BS50 (C50)	500 (50)	550 (55)	25 (2.5)	369500 (36950)

Not: BS14, BS16, BS20 ve BS25 normal beton, diğerleri yüksek dayanımlı beton olarak tanımlanır.

2.2.5. Betonda Basınç Mukavemetinin Önemi

Beton, yapılarda ve kullanıldığı ortamlarda çeşitli zorlamaların etkisi altında bulunmaktadır. Bu zorlamaların türüne göre betonun çeşitli özelliklere sahip olması gerekmektedir. Bu özellikler birbirinden bağımsız olmayıp aralarında yakın ilişkiler vardır.

Betonun mekanik mukavemetleri arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bu husus göz önünde tutularak beton genellikle basınç gerilmesine maruz bırakılır. Betonun çekme mukavemeti düşük olduğundan betonarme yapı sistemi ortaya çıkmıştır. Betonarme kesitte meydana gelen çekme gerilmeleri çelik donatılar tarafından alınmaktadır.

Beton bazı durumlarda basınç gerilmeleri haricinde çekme, eğilme, çarpma ve aşınma gibi etkilere de maruz kalabilir. Bu durumda betonun basınç gerilmelerinden başka çekmeye, çarpmaya ve aşınmaya karşıda yeteri kadar mukavemetinin olması gerekir.

Beton üzerinde yapılan bir çok çalışmada bu malzemenin çeşitli özellikleri ile basınç mukavemeti arasındaki bağıntılar incelenmiştir. Bu çalışmalar sonucunda betonun çeşitli mekanik özelliklerinin, basınç mukavemeti ile aynı yönde değiştiği

ortaya çıkmıştır (Postacıoğlu, 1986b). Böylelikle basınç mukavemeti yüksek bir beton üretmekle diğer mekanik özellikleri de yeter derecede üstün bir beton üretilmiş olacaktır. Bu konuda şu söylenebilir: Betonun basınç mukavemeti bileşiminin bir fonksiyonudur. Bileşimin belirli bir durumu için basınç mukavemeti maksimum değer alırken diğer özellikler maksimuma yakın değerler almaktadırlar. Bundan dolayı betonun basınç mukavemetinin yüksek olması ile betonda aranılan diğer özellikler kendiliğinden yerine gelecektir.

2.2.6. Yüksek Dayanımlı Beton

Yüksek dayanımlı beton, basınç dayanımı 300 kgf/cm^2 'nin üzerinde olan beton olarak tanımlanmaktadır (TS 500, 1984).

Yüksek dayanımlı betonda değişim yalnızca basınç dayanımındaki nicel artışta değildir. Yüksek dayanım, nitelikli agrega ve çimentoyla birlikte, betondaki boşluk oranının (porozite) küçültülmesini gerektirir. Bunun için su-çimento oranı, 0.20'lere varan ölçüde düşürülmekte, azalan işlenebilirliği korumak için süper akışkanlaştırıcılar kullanılmakta ve silis dumanı, uçucu kül vb. süperaktif ince puzolanik katkı maddeleri ile çimento-agrega ara yüzeyindeki boşlukların doldurulması sağlanmaktadır. Böylece betonun mikro yapısının pekleştirilmesi ve homojenleştirilmesi ile elde edilen yüksek dayanımlı beton yalnız basınç dayanımı ile değil, bütün fiziksel-mekanik özellikleriyle, nitelik yönünden, normal betondan farklıdır (Berktaş, 1991).

2.2.7. Dayanım

Betonun dayanımı, taşıyabileceği en yüksek gerilme olarak tanımlanabilir. Dayanım, betonun bir çok özelliğinin göstergesi olabilmesi nedeniyle ve özellikle basınç dayanımı deneyinin pratik olması bakımından dayanım beton sektöründe gerek kalite kontrol gerekse kullanılacak betonun tanımlanması için en çok kullanılan özelliktir.

Genellikle, aksi belirtilmediği sürece dayanımdan söz edildiğinde bu dayanım basınç dayanımıdır. Basınç dayanımının yanı sıra, çekme ve eğilme dayanımlarını da belirlemek gerekebilir.

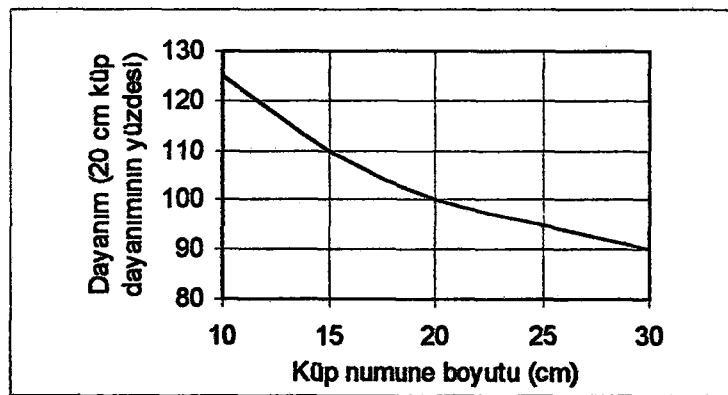
2.2.7.1. Beton Dayanımına Etki Eden Faktörler

Beton dayanımını etkileyen faktörler çok çeşitlidir. Bu faktörler betonu oluşturan malzemelerden, deney yöntemi ve deney yürütme ortamından kaynaklanan etkiler olarak aşağıda verilmektedir.

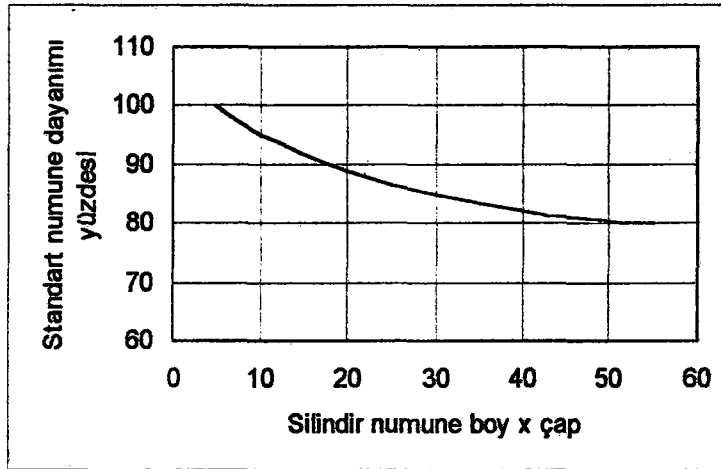
2.2.7.1.(1) Deney Yöntemi ile İlişkili Faktörler

Numune Boyutu ve Geometrisi: Genel olarak, numune boyutları küçüldükçe dayanım artar. Numune boyutu ile dayanım arasındaki ilişki Şekil 2.8. ve Şekil 2.9.'da verilmiştir. Silindir numunelerde boy-çap (l/d) oranı arttıkça dayanım azalır. Söz konusu etki Şekil 2.10'da gösterilmektedir. Ayrıca, bütün diğer koşullar sabit tutulduğunda, standart silindir numuneden elde edilen dayanım standart küp numuneden elde edilen dayanımın yaklaşık %85'i kadardır (Özkul ve ark, 1999).

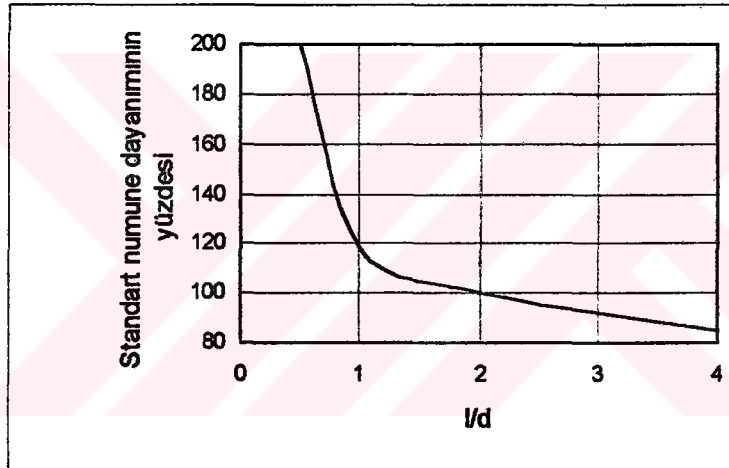
Yükleme Hızı: Genel olarak, yükleme hızı arttıkça dayanım artar. Bu etki Şekil 2.11.'de gösterilmiştir.



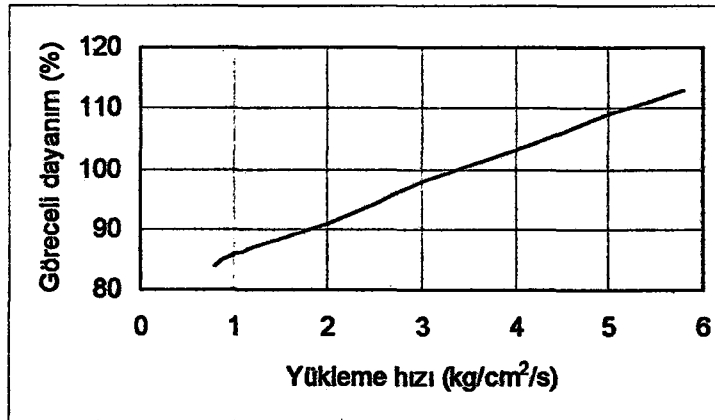
Şekil 2.8 Küp numuneler için numune boyutu-dayanım ilişkisi



Şekil 2.9 Silindir numuneler için numune boyutu-dayanım ilişkisi



Şekil 2.10 Silindir numunelerde boy-çap oranının dayanıma etkisi



Şekil 2.11 Yükleme hızının dayanıma etkisi

Numunenin Rutubet Durumu: Kuru numuneler ıslak numunelere oranla daha yüksek dayanım gösterirler.

Deney Ortamının Sıcaklığı: Deneyin yapıldığı ortam sıcaklığı yükseldikçe dayanım düşer.

2.2.7.1.(2) Çimento ile İlgili Faktörler

Çimento cinsi ve özellikleri, beton mukavemetine etki eden en önemli özelliklerden biridir. Çimento özelliklerinin mukavemet üzerine etkisi, büyük ölçüde bunların hidrasyon olayının hızlı veya yavaş bir şekilde seyir etmeleri ile açıklanabilir. Hidrasyonun hızlı bir şekilde gelişmesi halinde çimento mukavemeti kısa zamanda büyük değerler alır.

Çimento inceliğinin artması özgül alanın artmasına da neden olur. İnceliğin artması ile bağlayıcı maddenin mukavemet kazanması hızlanır ve böylece çimentonun 3, 7, 28 ve 90 günlük mukavemetlerinde artışlar görülür, ancak pratik bakımdan nihai mukavemete etkisi fazla görülmez.

Beton içerisinde çimento dozajı belirli sınırlar içerisinde arttıkça beton basınç mukavemeti de artmaktadır. Ancak bu artış belli bir noktaya kadar geçerlidir. Belirli bir noktadan sonra betonda çimento miktarı artırıldığında mukavemetteki artma yavaşlar veya durur. Çimento dozajı agreganın granülometri bileşimi ile de ilgilidir. Agregada karışımındaki ince malzeme arttıkça dozaj da yükselir. Agreganın en büyük boyutu arttıkça çimento dozajı da azalır. İstenilen mukavemet değerlerine göre en uygun çimento miktarını tespit etmek için bazı karışımların yapılmasında fayda vardır. Mukavemeti yüksek olan çimento kullanılarak üretilen betonların mukavemetinin yüksek olduğu deneylerde anlaşılmıştır. Yapılarda en yaygın olarak kullanılan çimento türü portland çimentosudur.

2.2.7.1.(3) Agregada ile İlgili Faktörler

Beton mukavemetine etki eden diğer etken, bileşenlerden biri olan agreganın kendi kalitesidir. Beton agregalarının kalitesi, tanelerinin yüzey durumu, tanelerin

biçimi, granülometrisi ve fiziksel özellikleri ile ilgilidir. Üretilen betonda agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin bulunması yani kuvvetli bir aderansının olması betonun mekanik mukavemetinin yüksek bir değer almasına yardım eder. Burada aderansa olumlu etki eden agreganın yüzeyinin pürüzlülüğüdür. Yüzeydeki girinti ve çıkıntılara çimento hamurunun girmesi ayrılmaları güçleştirir, betonun mukavemetini artırır. Agreganın tanelerinin biçimi olarak en uygun durum tanelerin küp veya küre şeklinde olmasıdır. Aksi halde olan yassı ve uzun taneler agregaların ve dolayısıyla betonun kompozitesini azaltıp, mukavemetinin düşmesine neden olur.

Granülometri bileşimi, boyutları belirli limitler arasında bulunan tanelerin agregada içinde hangi miktarda bulunduğunu açıklamaktadır. Bu nedenle beton agregaları üzerinde granülometri deneyleri yapılması gerekir. Kaliteli beton agregası, granülometrisi iyi olmalıdır. Yani agreganın tanelerinin tamamen ince veya iri olması istenilen durum değildir. Betonda inceden iriye doğru boyutta yavaş yavaş ve uygun bir değişim olması istenir. Bu da uygun bir gradasyon oranının seçilmesiyle elde edilebilir. Karışımdaki agreganın max. tane boyutuna göre standartlarda granülometri eğrileri alt-orta-üst sınırlardan oluşmaktadır. Alt sınır ile orta sınır arasındaki bölgeye uygun bölge denilmektedir. Tane dağılımının bu bölgeye düşmesi istenir. Bu durumun mümkün olmadığı durumlarda tane dağılımının orta - üst sınırları arasında kalan kullanılabilir bölge içerisinde bulunmasına müsaade edilir. Agreganın granülometri eğrisi alt sınıra yakınsa karışım fazla iri agregadan oluşmaktadır. Bu granülometri eğrisi esas alınarak üretilen betonun mukavemeti yüksek olmakta fakat bitirilme ve perdelama özelliği az olmaktadır.

2.2.7.1.(4) Karışım Suyu ile İlgili Faktörler

Beton içerisinde bulunan karışım suyunun miktarı beton mukavemetine tesir etmektedir. Karışım suyu, beton bileşiminde olan iri agregalar ve kum taneciklerini ıslatır ve bağlayıcı madde olan çimento ile reaksiyona girerek bu maddenin hidratasyonunu sağlar. Ayrıca betonun işlenebilirliğini artırır. Kısaca betona katılacak karışım suyu miktarı gereği kadar olmalıdır. Karışımda yeteri kadar suyun

olmaması halinde çimentonun hidratasyonu tam olarak yapamayacağını, agrega tanelerinin yüzeyleri tam olarak ıslanmayacağından agrega tanesi ile çimento arasındaki aderansın zayıf olacağını ve betonun yeterli çalışabilirlikte olmayacağı açıklanmıştır.

Su-çimento (S/Ç) oranının beton mukavemetine etki eden, en önemli faktörlerden biri olduğu araştırmalar sonucu kabul edilmiştir (Mehta, 1986). Betonun vibrasyonla yeteri kadar yerleştiği kabul edilirse bu durumda sadece çimento hamurundaki kapiler boşluklar mevcut olacaktır. Çimento hamurundaki kapiler boşluk hacmi su-çimento oranı ile hidratasyon derecesine bağlı olarak değişmektedir. Betonda su miktarı dolayısıyla su-çimento oranı ne kadar düşük olursa çimento taneleri arasındaki mesafe o kadar küçülecek ve hidratasyon sonunda gelişen kristaller bu boşlukları doldurarak geçirimsizliği düşürecektir.

Bir çok standartlarda betonun mukavemet değerleri S/Ç veya Ç/S cinsinden verilmektedir. TS 802'deki S/Ç ve 28 günlük beton basınç dayanımı ilişkisi Çizelge 2.13.'te verilmektedir.

Çizelge 2.13 S/Ç ve 28 günlük Beton Basınç Dayanımı İlişkisi (TS 802,1985)

28 Günlük Beton Basınç Dayanımları		Su-Çimento Oranı (S/Ç) (Ağırlık Esasına Göre)	
Kgf/cm ²	N/mm ²	Hava Katkısız	Hava Katkılı
450	45	0,38	-
400	40	0,43	-
350	35	0,48	0,40
300	30	0,55	0,46
250	25	0,62	0,53
200	20	0,70	0,61
150	15	0,80	0,71

2.2.7.1.(5) Beton Katkı Maddeleri ile İlgili Faktörler

Beton basınç mukavemetine etki eden bir diğer unsur ise beton katkı maddeleridir. TS 4834 (1986)'deki beton tanımında da yerini alan katkı maddeleri betonun reolojik ve yapısal özelliklerini olumlu yönde etkiler. Uzun yıllar Amerika ve Avrupa 'da belirli bir süredir de Türkiye 'de birçok beton üretiminde çeşitli beton katkı maddeleri kullanılmaktadır.

Türkiye genelinde karşılaşılan en önemli sorun akışkan ve istenen mukavemet değerlerine ulaşabilen beton olmuştur. Akışkanlığın sağlanması karışım suyunun artırılması veya akışkanlaştırıcı beton kimyasalların kullanılmasıyla mümkün olur. Karışım suyunun artırılması su-çimento oranını arttıracığından istenilen mukavemete ulaşabilmeyi güçleştirmektedir. Bu nokta da akışkanlaştırıcı katkı maddelerinin beton içerisindeki etkileri ve fonksiyonları önem kazanmaktadır.

Akışkanlaştırıcı katkı maddeleri su içerisinde eriyen boşluklu kimyasal dizilişleri ile suyun yüzey gerilimini düşüren organik maddeler olarak bilinirler.

Su ve çimento reaksiyona girdiği zaman çimento tanecikleri su moleküllerini çevreleyerek flokülör bir yapı oluştururlar. Suyun bu şekilde kaplanması istenen akışkanlığa ulaşabilmesi için daha fazla su ilavesini gerektirir. Bu olay ise su/çimento oranının artmasına ve dolayısıyla mukavemetin düşmesine sebep olur.

Aynı su-çimento oranına sahip katkılı-katkısız beton da katkılı betonun daha yüksek çökme değerine sahip olmasının nedeni katkının defloküler yapısının etkisiyle açığa çıkan sudan kaynaklanmaktadır. 40-50 mm'lik bir çökme değerinin 90-100 mm'ye ulaşması işlenebilirliği arttırmaktadır. Açığa çıkan suyun azaltılmasıyla su-çimento oranında düşme sağlanacağından mukavemet artışı olmaktadır.

2.2.7.1.(6) İşlenebilirlik ile İlgili Faktörler

Betonun taze haldeki işlenebilirliği katılaşmaktan sonraki dayanımını etkileyen önemli faktörlerden birisidir. İşlenebilirlik betonun yerine yerleştirilmesi ve sıkıştırılması ile yakından ilgili olduğundan, işlenebilirliği az olan betonlar iyi

sıkıştırılıp yoğun bir şekilde yerleştirilemeyecektir. Dolayısı ile içinde oluşacak boşluklar nedeniyle de dayanım azalmalarına sebep olacaktır.

2.2.7.1.(6.a) İşlenebilirliğin Tarifi

Teorik olarak işlenebilirlik taze betonun bileşimini oluşturan partiküller (elemanlar) arasındaki iç sürtünmenin yenilip, betonun tamamen sıkıştırılabilmesi için gerekli enerji miktarıdır (Neville ve Brooks, 1993). Pratikte ise fazladan bir miktar enerji de taze beton ile kalıp yüzeyi ve betonarme çeliği arasında oluşacak sürtünmeyi yenmek için gereklidir. Buna ilaveten, bir kısım enerji ise kalıpları sarsarken kaybolur. Bu nedenle işlenebilirliği tarifinden ölçmek çok zordur (Atiş, 2000a).

2.2.7.1.(6 b) İşlenebilirliği Etkileyen Faktörler

İşlenebilirliği, taze beton karışımını oluşturan bütün bileşenler, bunların miktarları ve özellikleri etkiler. Örneğin, beton karışımında kullanılan su miktarı arttıkça işlenebilirlik artar. Çimento içinde bulunan kızdırma kaybı arttıkça işlenebilirlik düşer, çünkü kızdırma kaybı olarak bilinen kısım süngerimsi bir iç yapıya sahip yanmamış karbondan oluşan bir maddedir ve beton karışımına ilave edilen suyu emer. Birim hacimde bulunan çimento miktarı arttıkça, sabit su-çimento oranında su miktarı dolayısıyla, işlenebilirlik artar. Burada işlenebilirliği sağlayan çimento hamurudur, bu hamur artınca işlenebilirlik artar. Agregada gradasyonunun değişimi de işlenebilirliği etkiler. Agregada gradasyon eğrisi yükseldikçe agreganın inceliği artıyor anlamına gelmektedir. Dolayısıyla da ıslatılması gereken yüzey artmaktadır, bu ise sabit su miktarı için işlenebilirliği düşürecektir. Agregada irileştikçe ıslatılacak yüzey azalacağından sabit su miktarı için işlenebilirlik artacaktır. Ancak iri agreganın fazlalığı ve ince kısmın çok azalması sonucu beton yüzeyinin perdahlanması (bitirilmesi) problemi ortaya çıkabilmektedir.

Düzgün yüzeye sahip olmayan agregalar (kıрма taş), yuvarlak agregalardan (doğal agregada) daha fazla özgül yüzeye sahiptir, dolayısıyla bu yüzeylerin ıslanması

için daha fazla su gerekir, ancak sabit su-çimento oranında su miktarı artmayacaktır bu ise işlenebilirliği azaltacaktır. Agreganın gözenekliliği ve su emme kapasitesi de işlenebilirliği etkiler. Fazla boşluklu agreganın su emme kapasitesi fazla olacağından, böyle bir agrega karışım suyunu emer ve işlenebilirliği azaltır.

Taze beton karışımına ilave edilen bazı kimyasal maddeler de işlenebilirliği etkiler. Bu maddeler işlenebilirliği artırmak için beton karışımına ilave edilir. Bu maddeler (2.1.4) kısmında anlatılmıştır.

Bunların dışında işlenebilirlik zaman ve sıcaklık tarafından da etkilenir. Beton zaman içinde prizini kazandığı için işlenebilirlik zaman içinde azalır ve priz gerçekleşmeye başladığında işlenebilirlik biter. Sıcaklık arttığında karışım içinde bulunan su buharlaşma yolu ile azalır, buna ilaveten sıcaklık arttıkça hidrasyon hızlanır, dolayısıyla priz süresi kısılır ve işlenebilirlik azalır.

2.2.7.1.(6 c) İşlenebilirlik Deneyleri

İşlenebilirliğin tarifinden ölçülmesinin çok zor olduğu daha önce belirtilmişti. Pratikte de işlenebilirliği tarifinden ölçecek herhangi bir deney ve metot da bulunmamaktadır. İşlenebilirliği ölçmek için bazı deney metotları bulunmuştur. Ancak bunlar işlenebilirlik tarifindeki gibi bir enerji miktarı ölçmezler. Bu metotlar kullanılmaları kolay olduğundan ve karışımlar arasındaki değişimi fark edebildiğinden uluslararası arenada kabul görmüşlerdir (Neville, 1995).

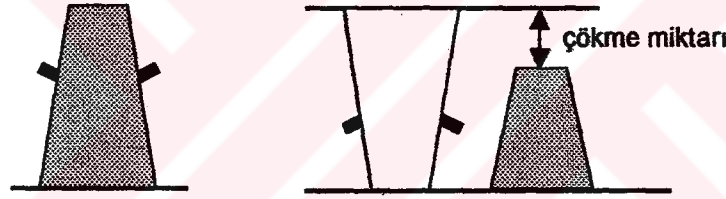
Pratikte taze betonun işlenebilirliği aşağıda verilen deneyler yardımıyla ölçülmektedir.

Slump (Çökme) Deneyi: Bu deneyde yüksekliği 30 cm olan kesik koni şeklinde (Şekil 2.12.) bir kalıp ve 16 mm'lik bir demir çubuk kullanılır. Bu kesik koninin alt tabanı 20 cm, üst tabanı ise 10 cm'dir. Kesik koni şeklindeki kulpu olan bu kalıp 3 tabaka halinde işlenebilirliği ölçülecek beton ile doldurulur, her tabakada demir çubuk ile 25 defa rasgele noktalardan şişlenir. Demir çubuğun ucu sivri ve keskin olmayıp yuvarlatılmış olmalıdır. Beton doldurulmadan önce kesik koni kalıp

içi nemlendirilmiş olmalıdır. Kalıp sıkıca tutulur, etrafına dökülmüş beton varsa uzaklaştırılır.

Doldurulmadan hemen sonra, koni yavaşça yukarı doğru çekilerek beton serbest hale bırakılır. Desteği ortadan kalkan beton çökecektir. Beton yüksekliğindeki bu azalma ölçülür ve slump (çökme) değeri olarak isimlendirilir (TS 2871, 1977).

Aynı beton için tekrarlanan çökme deneyleri sonucu tamamen aynı olmaz. Çökme deneyinin bir dağılımı vardır. Değişik karışım oranları için benzer çökmeler elde edilebilir. Çökme değeri ile işlenebilirlik arasında kesin bir ilişki yoktur. Fakat genel olarak yol gösterir. Bu deneyin şantiyede kullanımı çok kolaydır ve karışımda oluşan günlük ya da saatlik değişimin fark edilmesinde çok fayda sağlar. Kullanım kolaylığı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır.

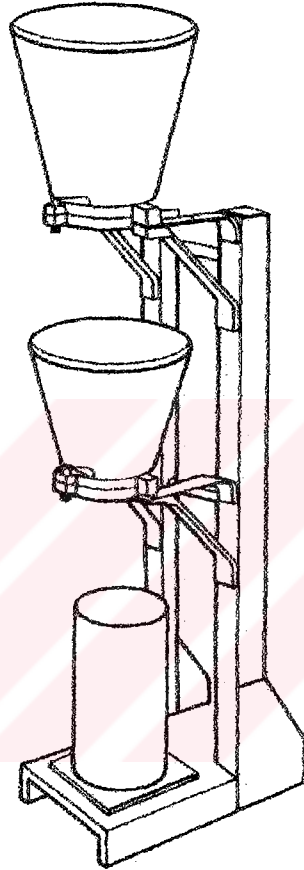


Şekil 2.12 Slump (çökme) konisi

Sıkıştırma Faktörü Deneyi: İşlenebilirliği (tam sıkışmayı sağlamak için enerji miktarı) direkt olarak ölçen kabul görmüş herhangi bir metot olmamasına rağmen, muhtemelen mevcut olan en iyi test, ters bir yaklaşım kullanan, standart bir enerji ile elde edilen sıkıştırılma derecesini ölçen deneydir.

Bu deneyde kullanılan aletin üzerinde iki tane altı açılabilir kova ve en altta da bir silindir bulunur (Şekil 2.13.). En üsteki kova betonla doldurulur ancak sıkıştırmak için bir çaba sarf edilmez. Kovanın altına bağlı olan menteşeli kapak serbest bırakılır. Beton buradan alt kovaya doğru kendi ağırlığı ile düşer ve küçük olan alttaki kovayı doldurur. Bu işlem yukarı kovaya beton yerleştirme esnasında oluşan operatörden kaynaklanacak faktörleri de minimize eder. Bu kovanın alt kapağı serbest bırakılarak betonun silindiri doldurmasına izin verilir. Silindir

üzerindeki fazlalık beton alınır, yüzey perdahlanır. Silindiri dolduran betonun ağırlığı tartılır. Silindirin hacmi ise sabit olarak bilinmektedir. (TS 2872, 1977).

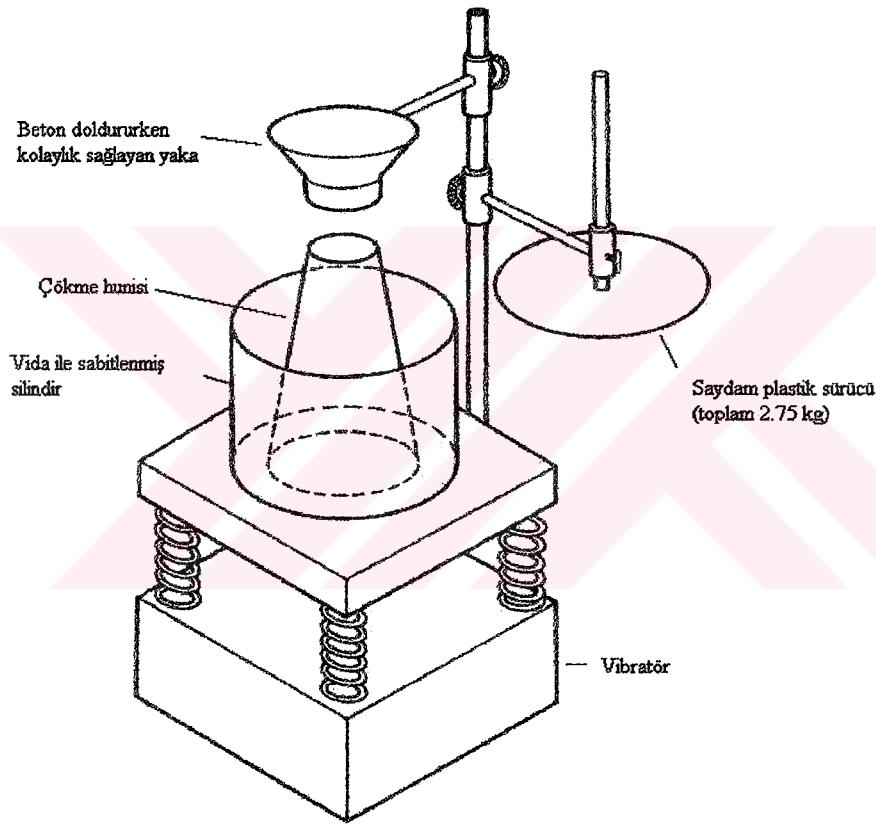


Şekil 2.13 Sıkıştırma faktörü aleti

Dolayısıyla kendi ağırlığı altında belli bir yükseklikten düşen betonun yoğunluğu hesaplanır. Bu yoğunluk, aynı betonun tam sıkıştırılması ile elde edilen yoğunluğa bölünür ve sıkıştırılma faktörü elde edilir. Bu sayı bire yaklaştıkça sıkıştırılmanın dolayısıyla işlenebilirliğin arttığı anlaşılır.

Sıkıştırma faktörü deneyi işlenebilirliği fazla olan betona nazaran işlenebilirliği daha az olanlara hassastır. Bu deney işlenebilirlik açısından iyi bir ölçüm sağlamaktadır.

Vebe Deneyi: Ve-be ismi bu deneyi icat eden kişinin baş harflerinden alınarak verilmiştir. Bu deneyde kullanılan aletin şekli (şekil 2.14.) aşağıda verilmektedir. Aletin altında bir vibratör bulunmaktadır. Aletin üstünde bulunan silindir vida ile sabitlenmiştir. Beton karışımı bu silindir içine normal slump (çökme) konisi yardımıyla konur. Koninin betonla doldurulması çökme deneyinde olduğu gibidir. Koni çekildikten sonra, saydam plastik sürücü beton üzerine yerleştirilir. Bu sürücü yaklaşık 2.75 kg.'dır.



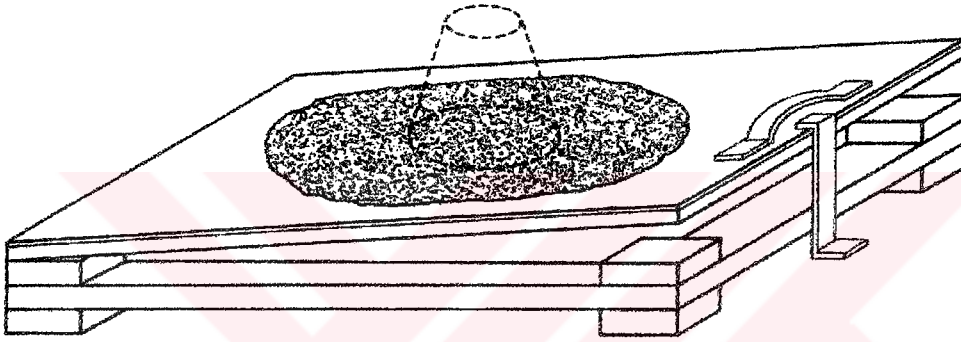
Şekil 2.14 Ve-be deney aleti

Vibratör çalıştırılarak sıkıştırma elde edilir. Sıkıştırılmanın tamamlanması, saydam sürücünün betona dokunan yüzeyinin tamamen çimento hamuru ile kaplanması ve hiçbir boşluğun yüzeyde kalmaması ile anlaşılır. Burada karar görsel olarak verilmektedir. Bu ise, bir yanılgıdan dolayı hataya sebebiyet verebilir, kullanıcının tecrübeli olmasını gerektirmektedir. Sıkıştırılmanın tamamlanmasına

kadar olan süre vibratörün çalışmaya başladığı andan itibaren ölçülür. Elde edilen zaman, verilen enerji ile doğru orantılıdır (TS 3115, 1978).

Bu deney, özellikle kuru karışımlar için (az ıslak) iyi bir laboratuvar deneyidir.

Sarsma Tablası (Akma Tablası) Deneyi: Özellikle akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilen akışkan betonlar için yaygın bir kullanım alanı bulan sarsma tablası deneyi için kullanılan sarsma tablası aşağıdaki Şekil 2.15.'te görülmektedir.

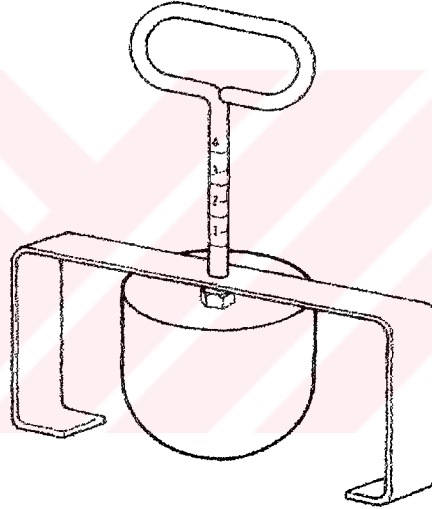


Şekil 2.15. Sarsma tablası deney aleti

Bu alette üzeri çelik plaka ile kaplı bir ahşap ile, bu ahşap bir tarafından altında bulunan taban ahşabı ile menteşe ile bağlantılanmış diğer kenarları ise serbest bir mekanizmadan oluşmuştur. Çelik kaplı kısmın ağırlığı yaklaşık 16 Kg'dir. Üzerinde, üst kısım 4 cm'ye kadar yükseltilecek şekilde, bir durdurucu vardır. Betonun tabla ortasına yerleştirilmesi için uygun bir işaret konulmuştur. Bu deneyde slump (çökme) konisine benzer bir koni kullanılır. Koni boyutları ise yükseklik 20 cm, alt çap 20 cm, ve üst çap 13 cm'dir. Koni betonla doldurulur ve ahşap bir tokmak ile tokmaklanır, fazla beton ortamdan uzaklaştırılır. Koni çekilir ve 30 sn'ye kadar beton serbest halde beklenir. Daha sonra tabla üst kısmı yavaşça yukarı kaldırılır ve 4 cm. yukarıdan tabla üst kısmı serbest bırakılır. Her bir işlemin 1 saniyede yapılmasına çalışılır. Bu işlem 15 kez tekrarlanır. Beton iyice yayılır. Tablanın paralel kenarları arasında yayılan betonun maksimum yayılma uzunluğu ölçülür ve ortalaması en yakın milimetreye yuvarlatılarak rapor edilir. Bu değer betonun

akmasını temsil etmektedir. 40 cm'lik bir akış orta işlenebilirliği, 50 cm ve daha yüksek akışlar ise yüksek işlenebilirliği gösterir. Bu sırada betonda ayrışma olmamalı yeterince yapışkanlık göstermelidir, aksi taktirde bu deney bu tür karışım için uygun değildir. Dolayısıyla bu alet yapışkanlığında bir göstergesi olur (TS EN 12350-5, 2000).

Kelinin Topu Deneyi: Bu deney şantiyede ölçüm yapmak için çok idealdir. Bu deneyde 14 kg ağırlığında ve 15.2 cm çaplı bir yarım kürenin kendi ağırlığında taze beton içine batma miktarı ölçülmektedir. Kelly tarafından geliştirilen bu aletin görünüşü Şekil 2.16.'da verilmektedir.



Şekil 2.16. Kelly'nin topu deney aleti

Bu deney şantiyelerde betonun kıvamını ve tutarlılığını kontrol etmede çökme deneyi gibi oldukça faydalıdır. Bu deney çökme deneyinden de çok hızlı uygulanabildiğinden çökme deneyine bir alternatifte teşkil etmektedir. Bu deney beton kalıp içindeyken de uygulandığından daha pratiktir. Sınır şartlarından etkilenmesini en aza indirmek için beton kalınlığının en az 20 cm ve diğer kalıp yüzeyleri arasındaki mesafenin en az 50 cm civarında olması gerekmektedir (Neville ve Brooks, 1993).

2.2.7.1.(7) Kür İle İlgili Faktörler

Beton karışım suyu, hidrasyon süresince kayba uğrar. Eğer bu su kaybı önlenmez ise betonun mukavemet ve dayanıklılığı azalır. Ayrıca betonda ani kuruma sonucu büzülmelerden dolayı plastik çatlaklar oluşur. Özellikle hidrasyon ısısının önemli artış gösterdiği ilk günlerde beton çok naziktir ve özenle korunması gerekir. Betonun bu süre içerisinde kurumaması, donmaması ve sarsıntıya uğramaması gerekir. Bunun için, beton devamlı olarak nemli tutulmalıdır. Bu işlem ilk 3 gün için kesinlikle yapılmalı 7 ile 14 güne kadar uzatılması ise tavsiye edilmektedir.

Karışım suyunun kaybı, çevre sıcaklığı etkisi ile buharlaşma, agreganın, kalıpların veya zemin toprağının su emmesinden kaynaklanabilmektedir. Buharlaşma, betonun korunması veya kür tatbikiyle, su emme ise agregaların önceden ıslatılması ve su emmeyen kalıp kullanılması veya zemin toprağının ıslatılmasıyla önlenabilir.

Beton kürü için genel olarak iki metot uygulanır. Bunlar özetle şöyledir. Betonun sürekli olarak sulanması veya beton yüzeyine ıslak çuvalar, nemli kum, beton yüzeyinin kür maddesi ile tamamen kaplanarak çevre şartlarından tecrit edilmesi ile buharlaşmanın önlenmesidir. Bu uygulama kalıplar alınır alınmaz derhal tatbik edilmelidir.

2.2.7.1.(8) Segregasyon (Ayrışma) ve Kanama (Terleme) İle ilgili Faktörler

Segrasyon ve terleme beton mukavemetini etkileyen önemli birer özelliktir.

İşlenebilirlik açısından bakıldığında, beton ayrışmamalı (segregasyon yapmamalı) ve yeterince yapışkanlık göstermelidir. Tam sıkıştırmaya erişmede segregasyonun rolü büyüktür. Segregasyonun yokluğunda ancak tam sıkıştırma sağlanabilir. Taze betondaki segregasyon bileşenlerin homojen dağılmaması dolayısıyla mukavemetin (dayanımın) homojen olmaması demektir. Agregat boyut dağılımı (gradasyon) segregasyon açısından çok önemlidir. Gradasyon uygun seçilerek segregasyon minimize edilebilir.

Segregasyonun iki şekli vardır. Birincisinde iri agregalar eğimli bir düzlemde daha fazla yol alıp yuvarlandıklarından ince agregadan ayrışma eğilimine girer. Bir

karışımında su miktarı az ise bu durum ortaya çıkar. Aksi durumda ise yani su miktarı fazla karışım aşırı ıslak ise ikinci tür segregasyon oluşur. İkinci tür segregasyonda çimento taneleri agregayı sarmayıp su içinde yüzer duruma geçebilir.

Segregasyonun esas nedenleri ise taşıma ve kalıbına yerleştirme metoduna bağlıdır. Eğer beton karışımı oldukça yüksek bir yerden yerleştirme için düşecekse ve bir kızıktan geçip yön değiştirecekse segregasyon tehlikesi artmaktadır. Doğru taşıma, kalıba yerleştirme ve düzeltme ile segregasyon en aza indirilir.

Kanama, beton yüzeyinde su toplanması olarak ta bilinir. Segregasyonun bir formudur. Bunun sebebi ise taze betonun katı bileşenlerinin aşağı doğru çökerken suyu tutamamalarından kaynaklanır. Kanama sayısal olarak, birim yükseklikteki bir betonun yüksekliğindeki oturma nedeniyle olan azalma şeklinde ifade edilebilir. Çimento hamuru katılaşmaya başlayınca kanamada yok olur.

Kanama nedeniyle, tabakalar halinde yerleştirilen betonun her bir tabakasının üstü aşırı derecede ıslak olur. Eğer bu sular iki tabaka arasında sıkışır kalırsa, zayıf, boşluklu ve durabilitesi düşük bir tabaka elde edilmiş olur. Terleme plastik rötreye sebep olabilir.

Bazı hallerde karışım içinde yükselmeye çalışan su iri agregataneleri altında takılıp kalabilir, dolayısıyla zayıf bir tutunma bölgesi(çimento-agrega arasında) oluşur. Betonun geçirgenliğini de artırır. Donma-çözünme tehlikesine karşı kanamadan kaçınılmalıdır. Kanama genellikle ince plaklarda (yol kaplaması, bina döşemesi gibi) daha çok görülür.

3. MATERYAL VE METOD

Bu bölümde, deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin kimyasal bileşimi, fiziksel özellikleri ile beton karışımlarında kullanılan malzeme miktarlarının tespitinde kullanılan yöntemler verilmektedir.

3.1. Kullanılan Malzeme Özellikleri

3.1.1. Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento, KZÇ/A 32,5 R Kompoze Çimento olup, Adana Çimento Sanayi tarafından üretilmiştir. Çimentonun taze olarak kullanılmasına özel dikkat gösterilmiştir. Çimentoya ait kimyasal bileşim Çizelge 3.1. ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2.'de verilmektedir.

Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun kimyasal bileşimi

Kimyasal Analiz	Analiz Sonuçları (%)
SiO ₂	27,18
Al ₂ O ₃	8,86
Fe ₂ O ₃	4,28
Mn ₂ O ₃	0,74
CaO	47,85
MgO	4,74
SO ₃	2,36
Kızdırma Kaybı	1,22
Na ₂ O	0,45
K ₂ O	1,03
Toplam Alkaliler	1,13

Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun Fiziksel Özellikleri

Fiziksel Özellikler		
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		2,97
Priz süresi	İlk (saat:dakika)	3 ²⁰
	Son (saat:dakika)	3 ⁵⁷
İncelik	Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3960
	0.200 mm elekte kalıntı (%)	0.0
	0.090 mm elekte kalıntı (%)	0.3
Basınç Dayanımı (N/mm ²)	2 günlük	17.2

3.1.2. Agregalar

Bu çalışmada kullanılan agregalar Adana yakınlarında bir nehirden alınan tuvenan agregadır. Deneylerin bir kısmında agregalar, tuvenan olarak olduğu gibi yıkanmadan maksimum tane çapı 16 mm olarak kullanılmıştır. Tuvenan agregalar etüvde tamamen kuru hale getirildikten sonra karışımlarda kullanılmıştır. Bir kısım deneylerde ise agregalar yıkanarak kil, silt gibi ince taneler ve çeşitli organik maddelerden arındırılmıştır ve etüvde 24 saat bekletilerek tamamen kuru hale getirildikten sonra TS 130 (1978)'da belirtilen eleklerden elenerek 7 gruba ayrılmış ve maksimum tane çapı 16 mm olacak şekilde TS 706 (1980), belirtilen A, B ve C sınır eğrileri ile bire bir örtüşecek şekilde gerekli miktarlarla tekrar karıştırılmıştır.

3.1.2.1. Agregalar Özellikleri

Agregaların özgül ağırlık ve su emme kapasitesi tayini TS 3526 (1980)'ya göre ince agregalar için piknometre yöntemine göre, iri agregalar için ise Arşimet terazisi yöntemine göre rastgele alınan numuneler üzerinde yapılmıştır. Deneyler iki farklı numune üzerinde yapılmış ve ortalamaları Çizelge 3.3. ve Çizelge 3.4.'de verilmiştir. TS 706'da (1980) agregaların özgül ağırlığı için bir sınır değeri verilmemiştir. Fakat betonda kullanılacak agregaların özgül ağırlığının 2.55 kg/dm^3 'ün üzerinde olmasında fayda vardır (ÖZBEK, İ. H., 1993).

Çizelge 3.3. İnce agregalar özgül ağırlık ve su emme kapasitesi değerleri

Kuru Hacim Özgül Ağırlığı	2,61
KYDH Özgül Ağırlığı	2,65
Zahiri Özgül Ağırlığı	2,72
KYDH Su Emme Kapasitesi (%)	1,50

KYDH : Kuru yüzey doygun hal

Çizelge 3.4. İri agregalar özgül ağırlık ve su emme kapasitesi değerleri

Kuru Hacim Özgül Ağırlığı	2,71
KYDH Özgül Ağırlığı	2,73
Zahiri Özgül Ağırlığı	2,78
KYDH Su Emme Kapasitesi (%)	0,99

Bu çalışmada kullanılan agregaların TS 3529 (1980)'a göre iki numune ortalaması alınarak bulunan gevşek ve sıkışık birim ağırlık sırasıyla 1,87 kg/dm³ ve 1.95 kg/dm³'tür.

Beton agregalarında ince madde oranı tayinini belirleyen standarda (TS 3527, 1980)'ye göre agregada içinde bulunan ve tane büyüklüğü 0.063 mm'den küçük olan maddeler ince madde olarak tanımlanmaktadır. Bu çalışmada, ince madde oranı tayini için standartta belirtilen yöntemlerden agreganın 0.063 mm'lik elek üzerinde yıkanması yöntemi kullanılmıştır. 0-4 mm agregada sınıfları içinde yıkanabilir madde miktarı ağırlıkça en fazla % 4 değeri ile TS 706 (1980)'da sınırlandırılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan agregalarda ince madde miktarı % 2.24 olarak bulunmuştur.

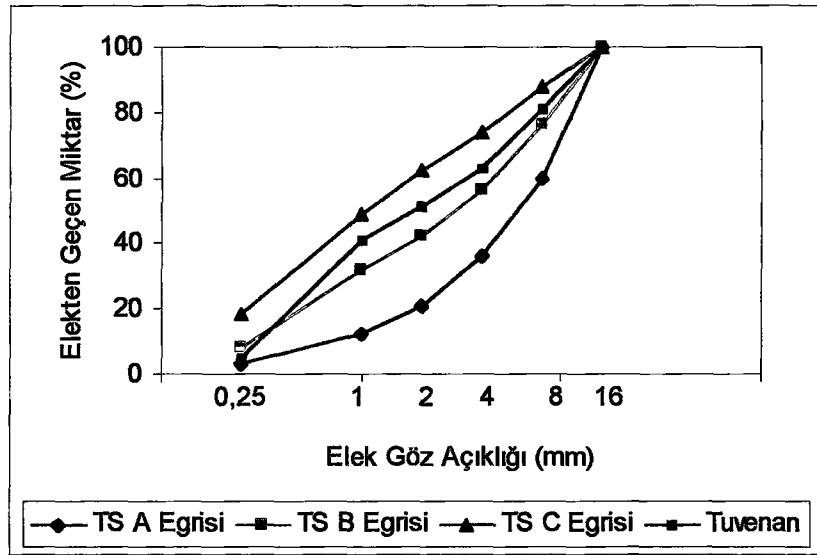
Kullanılan iri agreganın aşınmaya karşı dayanıklılığı TS 3694 (1981)'e göre tarif edilen Los Angeles aşınma deneyi ile bulunmuştur. Aşınma 100 dönüş sonunda % 3.6, 500 dönüş sonunda % 19.2 olarak tespit edilmiştir. Standart sınırlarına göre (TS 3694, 1981) aşınma 100 dönüş sonunda ağırlıkça %10, 500 dönüş sonunda ağırlıkça %50'den fazla olmamalıdır.

3.1.2.2. Agregada Granülometrisi

Kullanılan tuvenan agreganın elek analizi TS 130 (1978)'a göre yapılmış ve TS 706 (1980)'daki sınır değerlerin içinde kaldığı görülmüştür. Bu değerler Çizelge 3.5. ve Şekil 3.1.'de verilmiştir.

Çizelge 3.5. Kullanılan tuvenan agregada ve TS 706 sınır eğrilerin (A,B,C) elek analizleri

Elek Açıklığı	Elekten Geçen % Miktar			
	TS 706 Alt Sınır	TS 706 Orta Sınır	TS706 Üst Sınır	Tuvenan
16	100	100	100	100
8	60	76	88	81,15
4	36	56	74	62,87
2	21	42	62	51,26
1	12	32	49	41,03
0,25	3	8	18	4,86

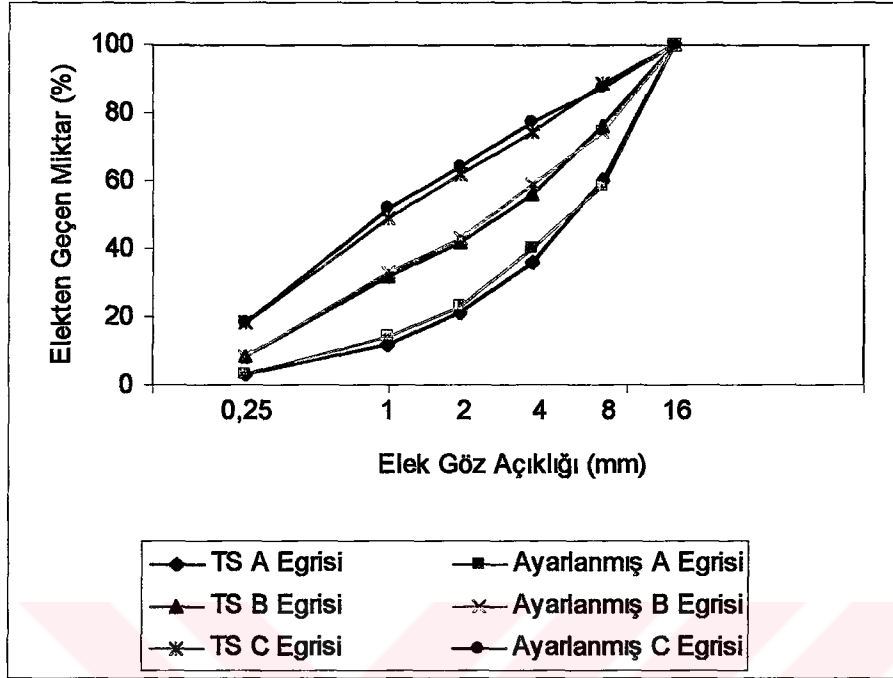


Şekil 3.1. Kullanılan tuvenan agregaya ve TS 706 sınır eğrilerin (A,B,C) elek analizlerinin grafiksel gösterimi

Yukarıda bir grup agreganın yıkanmış ve tamamen kuru halde TS 130 (1978)'da belirtilen eleklerden elenerek 7 gruba ayrıldığı ve TS 706 (1980)'da belirtilen A, B ve C sınır eğrilerini oluşturacak şekilde tekrar karıştırıldığı belirtilmiştir. Hazırlanan bu karışımlara ait elek analizleri yapılarak bire bir örtüşmenin ne kadar sağlandığı kontrol edilmiştir. Elek analiz sonuçları Çizelge 3.6. ve Şekil 3.2.'de verilmektedir. Elek analiz sonuçları birebir örtüşmenin çok iyi sağlandığını göstermiştir.

Çizelge 3.6. TS 706 sınır eğrileri ve laboratuvarında oluşturulan eğrilerin elek analizlerinin karşılaştırılması

Elek Açıklığı	Elekten Geçen % Miktar					
	TS 706 Alt Sınır	A Karışımı	TS 706 Orta Sınır	B Karışımı	TS 706 Üst Sınır	C Karışımı
16	100	100	100	100	100	100
8	60	58	76	74	88	87
4	36	40	56	59	74	77
2	21	23	42	43	62	64
1	12	14	32	33	49	52
0,25	3	3	8	8	18	18



Şekil 3.2. TS 706 sınır eğrileri ve laboratuvarında oluşturulan eğrilerin elek analizlerinin grafiksel gösterimi

3.1.3. Su

Deneylerde kullanılan karışım ve bakım suyu şehir şebekesinden alınan içme suyudur. Beton karışım ve bakım suyunun kalitesi ile ilgili özel bir Türk Standartı yoktur. Kaynaklarda karma suyu genel anlamda içilebilir su olarak ifade edilmektedir (Erdoğan, 1995c; Neville ve Brooks, 1993).

3.1.4 Katkı Maddesi

Deneylerde, betonun işlenebilirliğini sağlamak amacıyla akışkanlaştırıcı katkı maddesi olarak SİKADETEKS Yapı Kimyasalları A. Ş.'nin ürettiği Sikament 300 Yüksek Performanslı Hiper Akışkanlaştırıcı katkısı kullanılmıştır. Kullanılan katkı maddesi hakkında üretici firmanın verdiği bazı özellikler aşağıda verilmiştir (Sika Kataloğu, 2000). Deney betonlarında ağırlıkça çimentonun % 1.76'sı kadar akışkanlaştırıcı kullanılmıştır.

Tip	: Sentetik dispersiyon
Renk	: Kahverengi
Yoğunluk	: 1.23 ± 0.005 kg/lt
pH	: 9.5 ± 0.5

Sikament 300 dozajına uygun olarak kullanıldığında avantajları aşağıdaki gibi listelenebilir.

- Erken sertleşen, plastik pompa betonu olarak yüksek kaliteli akışkan beton imalatı,
- Sikament 300, çimentoyu beton içerisinde homojen dağılarak betonun plastik özelliğini kaybetmemesini sağlar,
- 8-24 saat arası basınç dayanımları oldukça yüksektir,
- Betonun sıkıştırma basınç değerini %15 artırır,
- Betonda yüksek kompasite sağlayarak su geçirimsizliğini artırır.

3.2. Beton Karışım Oranları

Beton karışım oranları TS 802 (1985)'nin verdiği beton karışım hesabına göre hazırlanmıştır. TS 802 (1985)'ye göre 1 m³ sıkıştırılmış betonda bulunacak malzeme miktarı mutlak hacime göre aşağıdaki bağıntı ile bulunur.

$$\frac{C}{\gamma_c} + W + \frac{W_a}{\gamma_a} + A = 1000 \quad (\text{dm}^3) \quad (3.1)$$

Burada;

C	: Karışım a girecek çimento miktarı	(kg)
γ_c	: Çimentonun yoğunluğu	(kg/dm ³)
W	: Karışım a girecek suyun hacmi	(dm ³)
W_a	: Karışım a girecek agreganın miktarı	(kg)
γ_a	: Agreganın yoğunluğu	(kg/dm ³)
A	: Betondaki toplam hava miktarı	(dm ³)

Karışım hesapları TS 706 (1980)'da belirtilen A, B ve C eğrileri ve tuvenan agrega olmak üzere 4 farklı agrega grubu için yapılmıştır. Beton dayanımı 400 kgf/cm², işlenebilirliği slump konisi ile 7 cm çökme olacak şekilde seçilmiş ve kullanılan agrega özellikleri kullanılarak TS 802 (1985)'nin verdiği yöntemle göre beton karışım hesabı bulunmuştur. Teorik hesap sonucu bulunan karışım oranları aşağıdaki Çizelge 3.7.'de verilmektedir. Bu oranlar ile taze beton karışımları hazırlanmış olup, işlenebilirlikleri çökme konisi ile ölçülerek sabit işlenebilirliği sağlamak amacı ile karışımlara gerektiğinde su ilavesi yapılmıştır. Su ilavesi sonucu değişen su çimento oranını sabit tutmak amacıyla karışımlarda ayarlama yoluna gidilmiştir. Ayarlama sonucu bulunan bu karışım oranları ile tekrar karışım hazırlanıp çökme değerleri ölçülmüş ve sabit işlenebilirliği sağladıkları görülmüştür. Ayarlama sonucu bulunan beton karışım oranları Çizelge 3.8.'de verilmiştir.

Çizelge 3.7. Teorik hesap sonucu bulunan beton karışım oranları

Karışım Adı	İncelik Modülü	Çimento (kg)	Agrega (kg)	Su (lt)
A Karışımı	4,61	340	1923	147
B Karışımı	3,66	388	1825	167
C Karışımı	2,75	444	1700	191
T Tuvenan	3,36	416	1803	179

Çizelge 3.8. Sabit işlenebilirliği sağlamak için bulunan ayarlanmış beton karışım oranları

Karışım Adı	İncelik Modülü	Çimento (kg)	Agrega (kg)	Su (lt)	Birim Ağ.
A Karışımı	4,61	402	1810	173	2,48
B Karışımı	3,66	460	1685	198	2,39
C Karışımı	2,75	549	1499	236	2,27
T Tuvenan	3,36	507	1622	218	2,34

Yukarıda Çizelge 3.8.'de verilen A, B, C ve T karışımları Çizelge 3.8.'de verilen su miktarları için hazırlanmıştır. Ayrıca aynı Çizelgede verilen malzeme miktarları ve Çizelge 3.9.'da verilen optimum su-çimento oranları ile slump konisi ile sıfır çökmeye sahip optimum A, B, C, T karışımları hazırlanmıştır. Optimum su çimento oranlarının bulunuşu (3.4.) Optimum Su-Çimento Oranlarının Bulunması başlığı altında verilmektedir. İlave olarak, slump konisi ile sıfır çökmeye sahip

optimum A, B, C, T karışımları hiper akışkanlaştırıcı kullanımı ile işlenebilirlik kazandırılarak tekrar hazırlanmıştır. Hiper akışkanlaştırıcı miktarı çimentonun ağırlıkça % 1.76'sıdır.

Hiper akışkanlaştırıcı yardımıyla işlenebilir hale getirilen betonların çökmesi slump konisiyle ölçülmüş ve aşırı çökme elde edildiğinden, işlenebilirlik sarsma tablası ile ölçülme yoluna gidilmiştir. Sarsma tablasından elde edilen işlenebilirlik değerleri 550-600 mm arasında olmuştur.

İlave olarak maksimum tane çapının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisini tespit etmek amacıyla beş ayrı maksimum tane çapı için (64 mm, 32 mm, 16 mm, 8 mm, 4 mm) tuvenan agregadan sabit su ve çimento miktarıyla beton karışımları hazırlanmıştır. Beton karışımlarında bir metreküp birim hacim beton içinde 507 kg çimento kullanılmış ve su çimento oranı ise 0.43 olarak alınmıştır. Toplam agrega miktarı ise 1622 kg'dır.

T beton karışımı için optimum su muhtevasının bulunuşu bir ileriki kısımda anlatılmaktadır. T karışımının optimum su miktarında hazırlandığı daha önce belirtilmişti. Optimum su-çimento oranının altında ve üstünde kalan su-çimento oranlarının beton basınç dayanımını hangi yönde etkilediğinin irdelenmesi için sözü edilen su-çimento oranlarında T karışımı ile yeni karışımlar hazırlanmıştır. Özetle, T karışımı (S/Ç : 0.31, 0.34, 0.37, 0.40, 0.43) su-çimento oranlarında ayrıca üretilmiştir.

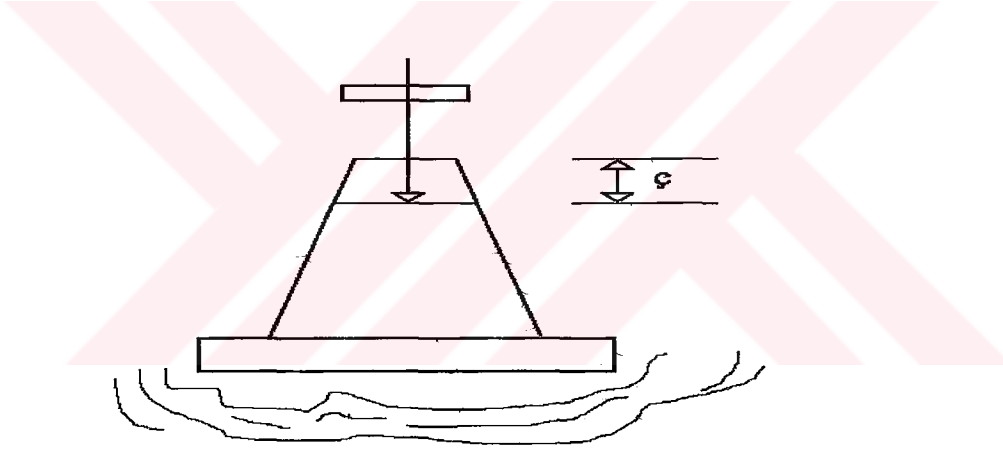
3.3. Optimum Su Miktarının Bulunması İçin Titreşimli Sarsma Yöntemi

Zemin mekaniği filozofisinden hareketle, herhangi bir taze beton karışımı için maksimum sıkışmayı sağlayacak optimum bir su çimento oranının olabileceği düşünülerek her bir karışıma ait maksimum sıkışmayı sağlayan minimum su miktarları bulunmuştur. Yukarıda belirlenen dört karışım için optimum su-çimento oranları aşağıda açıklanan titreşimli sarsma metodu kullanılarak bulunmuştur.

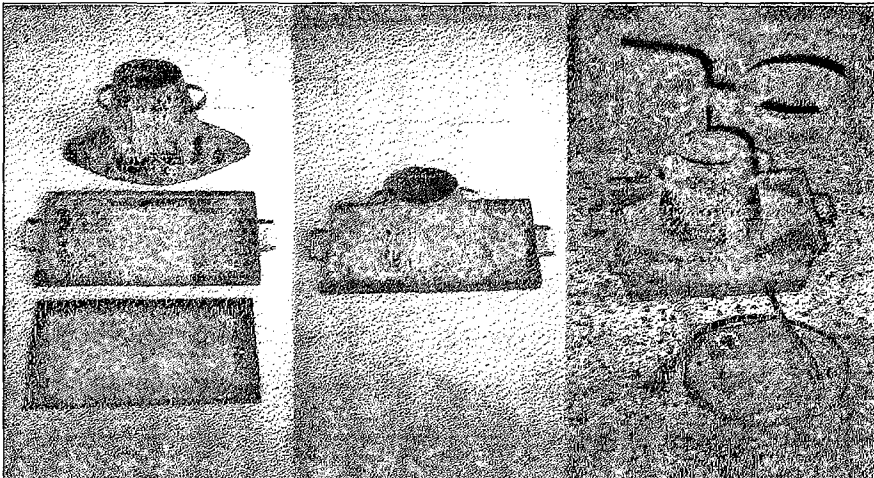
Cabrera ve Lee (1985), tarafından sunulan titreşimli sarsma metodu deneyinde, V-B için mevcut olan ekipmanlar biraz değiştirilerek kullanılmaktadır. Standart çökme konisinin ayak basma kısmı, V-B vibratörü üzerine kelebek vidayla

sabitlenebilmesi için delinmiştir. Vibratör üzerine yerleştirilirken koni altına metal taban plakası yerleştirilmekte, koni ile taban plakası arasına lastik bir conta konulmaktadır. Aparat aşağıdaki Şekil 3.4.'da görülmektedir.

Deneyde, standart çökme deneyinde olduğu gibi denenecek beton karışımı ile doldurulan çökme konisi 20 sn V-B aparatında sarsılır. Sarsılma sonucu betonun yüksekliğindeki düşme mm cinsinden Cabrera çökme değeri olarak tanımlanır. Şekil 3.3.'de Cabrera çökme değerinin şematik görünüşü bulunmaktadır. Herhangi bir karışım için titreşimli sarsma çökmesi deneyi en az beş su-çimento oranı için tekrarlanır. Cabrera çökme değeri ile su-çimento oranının kartezyen koordinatlardaki grafiği maksimum sıkıştırılma için optimum su muhtevasını verir.



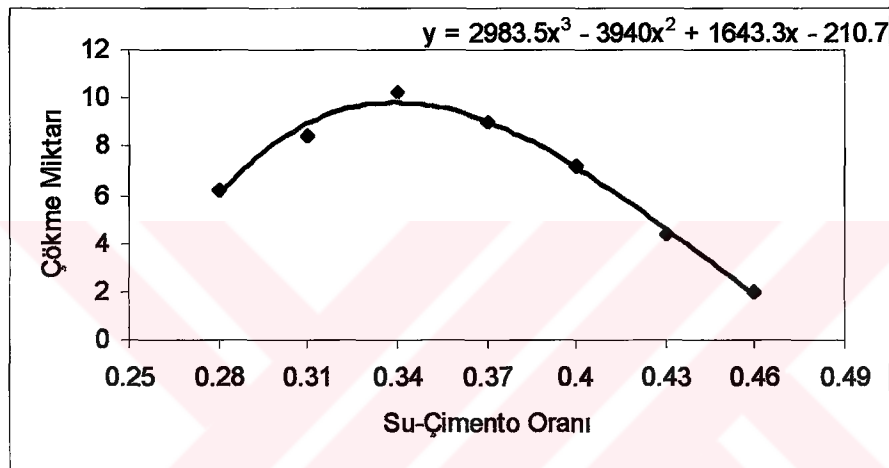
Şekil 3.3. Titreşimli sarsma deneyi çökme değerinin ölçülmesi



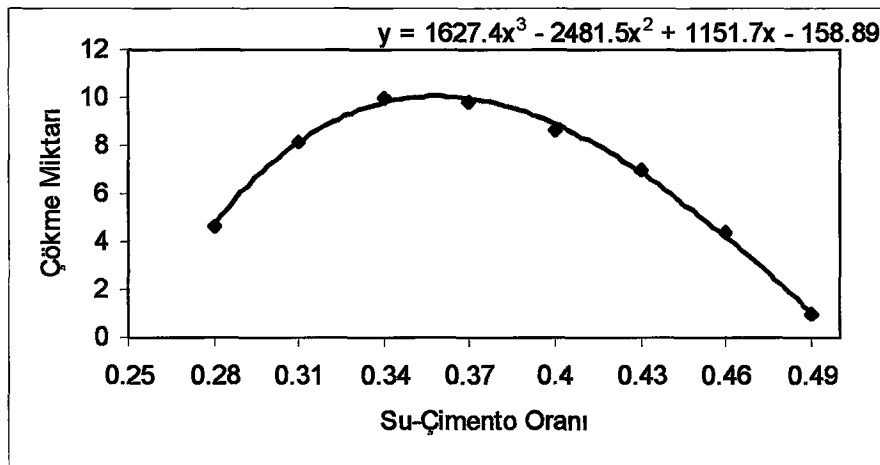
Şekil 3.4. Titreşimli sarsma metodu deney aparatı

3.4. Optimum Su Miktarının Bulunması

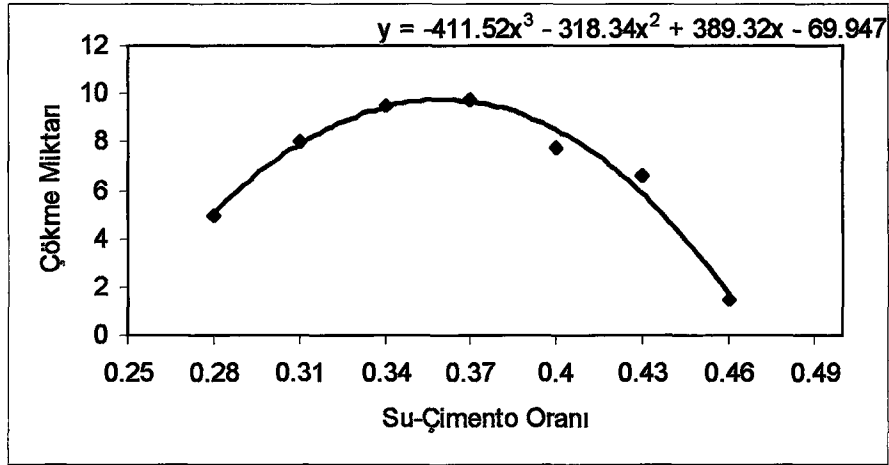
Her bir karışım için çimento ve agrega miktarları korunarak optimum su-çimento miktarları yukarıda bahsedilen sarsma çökmesi deneyi yardımı ile bulunmuştur. Bu deneylerden elde edilen su-çimento oranı çökme grafikleri Şekil 3.5.-3.8.'de verilmektedir. Bu grafiklerden elde edilen her bir karışıma ait optimum su-çimento oranları Çizelge 3.9.'da verilmiştir.



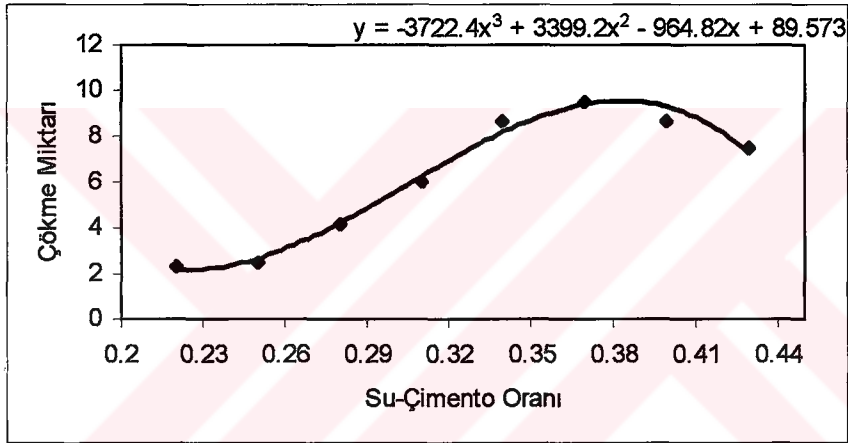
Şekil 3.5. A karışımı için titreşimli sarsma deneyi sonucu



Şekil 3.6. B karışımı için titreşimli sarsma deneyi sonucu



Şekil 3.7. C karışımı için titreşimli sarsma deneyi sonucu



Şekil 3.8. Tuvenan Agregası için titreşimli sarsma deneyi sonucu

Çizelge 3.9. Titreşimli sarsma deneyi sonucunda bulunan Optimum su muhtevaları

	İ.M.	Opt. S/Ç
A Karışımı	4,61	0,34
B Karışımı	3,66	0,35
C Karışımı	2,75	0,36
T Karışımı	3,36	0,38

3.5. Ölçülen Özellikler

Bu çalışmada çimento prizi ölçülmüş ve Çizelge 3.2.'de verilmiştir. Taze betonda birim ağırlık (TS 2941, 1978), sarsma tablası ile işlenebilirlik ölçülmüş (TS EN 12350-5, 2000) ve karışımların kanama yapıp yapmadığı gözlenmiştir. Birim ağırlık Çizelge 3.8.'de verilmektedir. Katı betonda beton küp ve silindirik numuneler

yardımı ile beton basınç dayanımları ve kiriş ve silindir numune yardımıyla sırasıyla eğilme çekme ve silindir yarmada çekme dayanımları bulunmuştur. Basınç dayanımı TS 3114 (1978)'e göre eşitlik 3.2, silindir yarma dayanımı TS 3129 (1978)'a göre eşitlik 3.3, eğilmede çekme dayanımı ise TS 3284 (1979)'e göre eşitlik 3.4 yardımıyla bulunmuştur.

$$f_{cc} = \frac{P}{A_c} \quad (3.2)$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi * \lambda * d} \quad (3.3)$$

$$\sigma_{EC} = \frac{PL}{bh^2} \quad (3.4)$$

Burada:

- f_{cc} , Basınç dayanımı
- P , Deney presinde kırılma anında okunan en büyük yük
- A_c , Numunenin basınç yükü uygulanan kesit alanı
- f_{ct} , Yarmada çekme dayanımı
- λ , Numunenin temas hattı uzunluğu
- d , Numunenin kesit boyutu
- σ_{EC} , Eğilme çekme dayanımı,
- L , Yükleme tablası mesnetleri arasındaki açıklık,
- b , Kırılma kesitinin ortalama genişliği
- h , Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği

Beton basınç ve çekme dayanımında kullanılan numuneler TS 2940 (1978)'a uygun olarak alınmıştır. Numuneler (15X15X15) cm boyutlarındaki küp, (15X30) cm boyutlarındaki silindir ve (10X10X50) cm boyutlarındaki kiriş kalıplara dökülmüştür.

Laboratuvar ortamında 24 saat bekletilen numuneler kalıplardan alınarak sıcaklığı $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$ olan kür havuzunda test edileceği zamana kadar bekletilmiştir.

Beton basınç dayanımları ilgili standarda uygun olarak (TS 3114, 1978) numunelerin 300 tonluk preste kırılmasıyla bulunmuştur. Bazı beton karışımları (A, B, C) için sadece 28 günlük beton basınç dayanımları ölçülmüştür. T tuvenan karışımı küp numuneler için 1, 3, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları bulunmuştur.

Kükürt başlık yapılarak basınç dayanımı bulunan silindir numunelerde 7 ve 28 günlük basınç dayanımları bulunmuştur.

Silindir yarmada çekme dayanımları ilgili standarda uygun olarak (TS 3129, 1978) T tuvenan karışımı için 7 ve 28 günlerde bulunmuş olup, A, B, C karışımları için 28 günde bulunmuştur. Eğilme çekme dayanımları 10x10x50cm boyutlarına sahip prizma kırış numuneleri ile ilgili standarda (TS 3284, 1979) uygun olarak T tuvenan karışım için 7 ve 28 günlerde bulunmuştur.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Sabit İşlenebilirlik ve Sabit S/Ç İçin Beton Dayanımları

Sabit işlenebilirlik ve sabit S/Ç için elde edilen beton basınç ve çekme dayanımları Çizelge 4.1.'de verilmektedir. Çizelge 4.1.'de elde edilen değerler TS 802 (1985)'ye göre 28 günlük silindir numune dayanımı 400 kgf/cm^2 , küp numune dayanımı 450 kgf/cm^2 olacak şekilde yapılan beton karışım hesabından elde edilen S/Ç oranı ile bulunmuştur. TS 802 (1985)'nin öngörüsüne göre küp numunelerin en az 450 kgf/cm^2 ve silindir numunelerin en az 400 kgf/cm^2 dayanım göstermesi gerekmektedir. Çizelge 4.1.'den görüleceği üzere 28 günlük küp numune dayanımları T karışımı haricinde TS 802 (1985)'nin tahmin ettiği gibi en az 450 kgf/cm^2 dayanımı sağlamıştır. TS 802 (1985), normlara uyan agrega dağılımı için belirli basınç dayanımını sağlamak üzere S/Ç oranının oldukça makul bir yaklaşımla tahmin edebildiği anlaşılmaktadır. T karışımının basınç dayanımının TS 802 (1985) tarafından iyi tahmin edilememesinin nedeni, tuvenan agrega ile yapılan T karışımının agramasının granülometri değişiminin dağılımına ve esasen agrega içinde bulunan kil ve organik madde miktarının fazlalığına bağlanmıştır. Silindir numunelerden elde edilen değerlerin TS 802 (1985)'nin öngördüğü dayanımları sağlamadığı da görülmüştür. Buradan silindir numunelerden elde edilen sonuçların küp numuneye göre sapma ve dağılımın daha yüksek olduğu düşünülmekte olup, bu dağılımın yüksek olmasının esas nedeninin ise silindir numune hazırlamanın zorluklarının yanı sıra, silindir numune üzerinde yapılan kükürt başkıklamadan kaynaklandığı varsayılmıştır. T karışımı, silindir numunelerde de kendini göstermiş ve diğer karışımlara göre en düşük dayanımı vermiştir.

Çizelge 4.1. Sabit işlenebilirlik ve 0.43 S/Ç için 28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)

	Küp Dayanımı	Silindir Dayanımı	Silindir /Küp Oranı
A Karışımı	477	382	0.80
B Karışımı	475	360	0.76
C Karışımı	490	353	0.72
T Karışımı	373	283	0.76

Sabit işlenebilirlik ve sabit S/Ç için elde edilen beton silindir yarma dayanımı Çizelge 4.2.'de verilmektedir. Çizelge 4.2.'de silindir yarma ve basınç dayanım oranları da verilmektedir. Bu oranların ortalama %10 civarında olduğu ve literatür ile uyum içinde olduğu söylenebilir.

Çizelge 4.2. Sabit işlenebilirlik ve 0.43 S/Ç için 28 günlük çekme dayanımları, basınç dayanımları (kgf/cm^2) ve bunların oranı

Karışım Adı	Silindir Yarma	Silindir Dayanımı	Çekme/Basınç (%)
A Karışımı	36	382	9.4
B Karışımı	35	360	9.7
C Karışımı	33	353	9.3
T Karışımı	29	283	10.0

Sabit su-çimento oranı ile üretilen T karışımına ait eğilme çekme dayanımı 7 ve 28 gün için 36 ve 49 kgf/cm^2 olarak bulunmuştur. Eğilme çekme dayanımı ve küp basınç dayanımı oranları sırasıyla %11 ve %13 olarak bulunmuş olup, literatür (Neville, 1995; Postacıoğlu 1986b) ile uyum içinde olduğu anlaşılmıştır.

4.2. Optimum S/Ç Oranı İle Üretilen Beton Dayanımları

Optimum su çimento oranları kullanılarak üretilen beton karışımlarına ait 28 günlük beton basınç dayanımları Çizelge 4.3.'te verilmektedir. Elde edilen betonların oldukça yüksek dayanım geliştirdikleri ve basınç dayanımlarının 500 kgf/cm^2 üzerinde olduğu görülmektedir. Silindir ve küp dayanımları oranlarının %64 ile %80 arasında olduğu bulunmuştur.

Çizelge 4.3. Optimum S/Ç için 28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm^2)

Karışım Adı	Opt. S/Ç	Küp Dayanımı	Silindir Dayanımı	Silindir /Küp
A Karışımı	0.34	543	362	0,67
B Karışımı	0.35	590	379	0,64
C Karışımı	0.36	556	420	0,76
T Karışımı	0.38	527	422	0,80

Yukarıda Çizelge 4.3.'te 28 günlük dayanımları verilen karışımlar sıfır çökmeye sahip silindirle sıkıştırılabilen tür betonlardır. Elde edilen yüksek dayanımlara dayanarak KZÇ/A 32.5 R çimentosuyla yüksek dayanımlı silindirle sıkıştırılabilen beton elde edilebileceği kanaatine varılmış olup, silindirleenebilen betonun yol kaplamasında kullanılabilecek alternatif bir malzeme olduğu düşünülmektedir.

Optimum su çimento oranları ile üretilen betonlara ait 28 günlük silindir yarma dayanımları Çizelge 4.4.'te verilmektedir. Silindir yarma ve basınç dayanımları oranlarında yukarıda bahsedilen sabit S/Ç için elde edilen oranlara benzer sonuçlar elde edilmiştir. Oranlar literatür ile uyum içindedir (Nevil, 1995; Postacıoğlu, 1986b).

Çizelge 4.4. Optimum S/Ç için 28 günlük yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı (kg/cm^2) ve bunların oranı

Karışım Adı	Silindir Yarma	Silindir Dayanımı	Çekme/Basınç (%)
A Karışımı	41	362	11
B Karışımı	35	379	9
C Karışımı	48	420	11
T Karışımı	47	422	11

İngiliz karayolları şartnamesine (Department of Transport,1976) göre yol kaplamasında kullanılacak bir betonun 7 ve 28 günde en az 18.5 kgf/cm^2 silindir yarma dayanımı geliştirmesi istenmektedir. Ayrıca İngiliz hava yolları şartnamesinde (Calverley, M. A. A.,1977) ise beton pist yapımında kullanılacak betonun eğilme çekme dayanımının 28 günde en az 40 kgf/cm^2 olması istenmektedir. Çizelge 4.4.'te üretilen betonlara ait silindir yarma dayanımlarının 35 kgf/cm^2 ile 48 kgf/cm^2 arasında olduğu görülmektedir. Tuvenan agregaya ait 7 ve 28 günlük eğilme çekme dayanımları ise sırasıyla 49 kgf/cm^2 ve 68 kgf/cm^2 olarak bulunmuştur. A, B, C karışımları için eğilme çekme gerilmeleri ölçülememiştir, ancak bu değerlerin T karışımından elde edilen değerlerden daha yüksek olacağı basınç dayanımlarının karşılaştırılmasından anlaşılmaktadır. Böylece çalışmada elde edilen silindirle

sıkıştırılabilen betonların yukarıda bahsedilen şartnamelere göre beton yol ve pist yapımında kullanılmasında herhangi bir sakınca yoktur. Bu sonuç yukarıda dayanım sonuçları verilen sabit su-çimento oranı ile üretilen betonlar için de geçerlidir.

4.3. Optimum S/Ç Oranı ve Akışkanlaştırıcı İle Üretilen Beton Dayanımları

Optimum su çimento oranı ile akışkanlaştırıcı birlikte kullanılarak dayanımı ve işlenebilirliği yüksek karışımlar elde edilmiştir. Bu karışımlara ait beton çekme ve basınç dayanımları Çizelge 4.5.'te verilmektedir. 0.75 ile 0.81 arasında olan silindir ve küp numune basınç dayanımı oranları daha önce bahsedilen oranlar arasında kalmaktadır.

Çizelge 4.5. Optimum S/Ç akışkanlaştırıcılı beton için 28 günlük basınç dayanımı (kgf/cm²)

Karışım Adı	Küp Dayanımı	Silindir Dayanımı	Silindir /Küp
A Karışımı	513	416	0,81
B Karışımı	598	461	0,77
C Karışımı	550	407	0,74
T Karışımı	485	364	0,75

Çizelge 4.6. Opt. S/Ç ve akışkanlaştırıcı beton karışımlarının 28 günlük yarma dayanımı (kgf/cm²)

Karışım Adı	Silindir Yarma Dayanımı
A Karışımı	52
B Karışımı	53
C Karışımı	44
T Karışımı	44

Çizelge 4.6.'da çekme ve Çizelge 4.5.'de basınç dayanımları verilen betonların işlenebilirliklerinin oldukça yüksek olduğu ve sarsma tablası sonuçlarının 550mm ile 600mm arasında olduğu bilinmektedir. Bu betonlar hem yol kaplama betonu olarak kullanılabilecekleri gibi hem de bina türü yapılarda da rahatlıkla

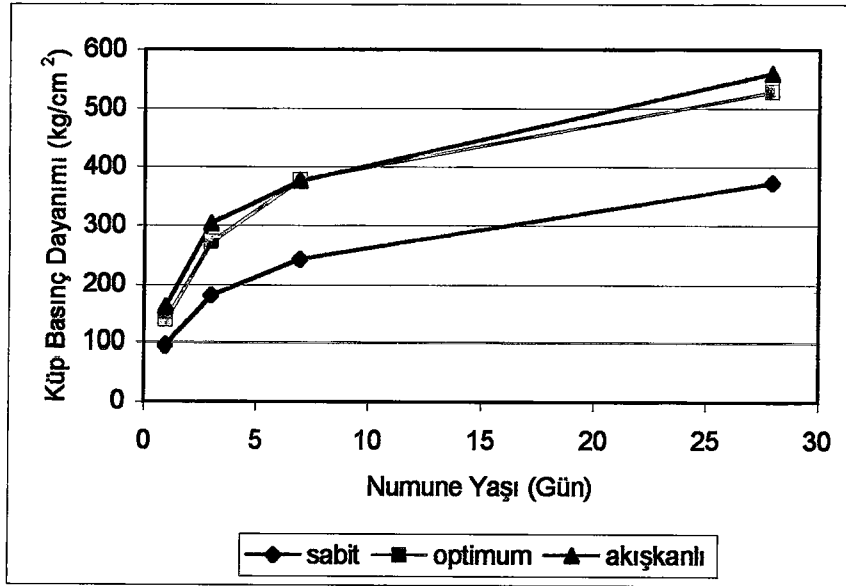
kullanılabilecektir. Yüksek işlenebilirlikleri sayesinde pompa ile yükseklerle pompalanabilmeleri mümkündür. Silindir yarma dayanımları Çizelge 4.6.'da görülmekte olup elde edilen değerler oldukça tatminkardır.

4.4. Kür Zamanının Dayanım Üzerine Etkisi

Beton basınç dayanımının zaman içinde değişimini görmek üzere T karışımının farklı zamanlarda beton basınç dayanımı belirlenmiştir. Farklı su çimento oranı ve akışkanlaştırıcı kullanımı ile elde edilen T karışımının 1, 3, 7, 28 günlük basınç dayanımları hem grafik olarak Şekil 4.1.'de, hem de tablo olarak Çizelge 4.7.'de verilmektedir. Sabit su çimento oranı 0.43, optimum su-çimento oranı 0.38 ve akışkanla birlikte kullanılan su-çimento oranı 0.38 dir. Şekil 4.1.'den görüleceği üzere optimum su-çimento oranı, ve akışkanla birlikte optimum su-çimento oranının kullanımıyla elde edilen dayanım sonuçları arasındaki farkın olmadığı ve akışkanlaştırıcının sadece betona işlenebilirlik kazandırdığı tespit edilmiştir. S/Ç oranı 0.38 olan her iki karışımın S/Ç oranı 0.43 olan betondan daha yüksek basınç dayanımı geliştirdiği görülmektedir. Bu durum 1, 3, 7, 28 günlük tüm sonuçlar için geçerlidir.

Çizelge 4.7. Farklı su-çimento ve işlenebilirlik için T karışımı beton basınç dayanımının (kgf/cm^2) zamanla değişimi

Zaman (gün)	0.43 S/Ç ve 7cm Slump değeri için	0.38 Opt. S/Ç	0.38 Opt. S/Ç ve Akışkanlaştırıcı
1	95	137	162
3	181	271	304
7	242	377	376
28	373	527	558



Şekil 4.1. Farklı su-çimento ve işlenebilirlik için T karışımı basınç dayanımının zamanla değişimi (Çizelge 4.7.'nin grafik görünümü)

4.5. Maksimum Tane Çapının Değişiminin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Sabit çimento miktarında maksimum tane çapının beton basınç dayanımına etkisini bulmak üzere farklı maksimum agrega tane çapları ile üretilen beton basınç dayanımları Çizelge 4.8.'de verilmektedir.

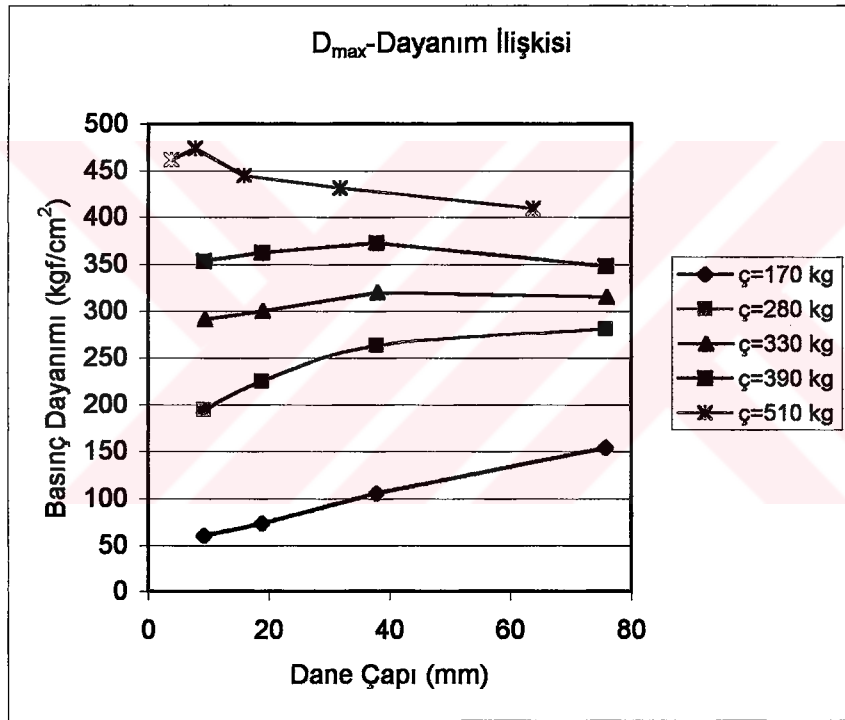
Çizelge 4.8. Maksimum tane çapı ile basınç dayanımı ilişkisi

Maksimum Tane Çapı (mm)	Basınç Dayanımı (kgf/cm ²)
4	462
8	475
16	418
31,5	432
63	409

Elde edilen bu değerler literatür de verilen sonuçlar ile karşılaştırılmış ve uyumlu olduğu görülmüştür. Karşılaştırma aşağıdaki Şekil 4.2. üzerinde yapılmaktadır. Şekil 4.2.'de verilen eğriler $\phi=510$ dışında alınan kaynağa (Neville,

1995) ait olup, kaynakta kullanılan çimentonun normal portland çimentosu olduğu ve su-çimento oranının 0.45 olduğu verilmektedir.

Şekil 4.2.'den görüleceği üzere düşük çimento miktarı için maksimum tane çapı arttıkça beton dayanımı da artmaktadır. Yanısıra çimento miktarı arttıkça eğrinin karakteristiği değişmekte ve belli bir çimento miktarı için dayanımı maksimum yapabilecek bir maksimum agrega tane çapının olduğu ve bunun tesbit edilebileceği görülmektedir. Birim hacimde kullanılan çimento miktarı arttıkça dayanımı maksimum yapacak maksimum agrega tane çapı küçülmekte olduğu kanaatine varılmıştır.



Şekil 4.2. Maksimum tane çapı ile basınç dayanımı ilişkisi

4.6. Su-Çimento Oranının Değişiminin Basınç Dayanımı Üzerindeki Etkisi

Farklı su-çimento oranı ve akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilen beton basınç dayanımları Çizelge 4.9.'da karşılaştırılmaktadır. A, B, C ve T karışımları için 0.43 S/Ç oranı ile elde edilen küp numune basınç dayanımlarının 0.38 S/Ç oranı ile elde edilen basınç dayanımlarından daha küçük olduğu Çizelge 4.9.'dan

görülmektedir. Aynı şekilde A, B, C ve T karışımları için 0.43 S/Ç oranı ile elde edilen küp numune basınç dayanımlarının 0.38 S/Ç oranı ve 0.38 S/Ç oranı ve akışkanlaştırıcı ile elde edilen basınç dayanımlarından daha küçük olduğu Çizelge 4.9.'dan görülebilir. Benzer şekilde A, B, C ve T karışımları için 0.38 S/Ç oranı ile elde edilen küp numune basınç dayanımlarının 0.38 S/Ç oranı ve akışkanlaştırıcı ile elde edilen basınç dayanımlarından çok farklı olmadıkları Çizelge 4.9.'dan görülmektedir.

Çizelge 4.9. 0.43 ve 0.38 S/Ç ve 0.38 S/Ç ve akışkanlaştırıcı beton için küp basınç dayanımları karşılaştırması

Karışımın Adı	0.43 S/Ç Küp Dayanımı	0.38 S/Ç Küp Dayanımı	0.38 S/Ç ve Akışkanlı Küp Dayanımı
A Karışımı	477	543	513
B Karışımı	475	590	598
C Karışımı	490	556	550
T Karışımı	373	527	485

Yukarıda yapılan karşılaştırmalar sonucunda, su-çimento oranının azaltılması ile beton basınç dayanımlarında oldukça önemli yükselmeler kaydedilmiştir. Su-çimento oranında yapılan yaklaşık %11 lik düşme (0.43 ten 0.38 e), dayanımda ortalama olarak %20 yükselmelere sebep olmuştur. Su-çimento oranının azalması ile beton dayanımının yükselme mekanizması literatürde detaylı olarak verilmektedir (Neville, 1995).

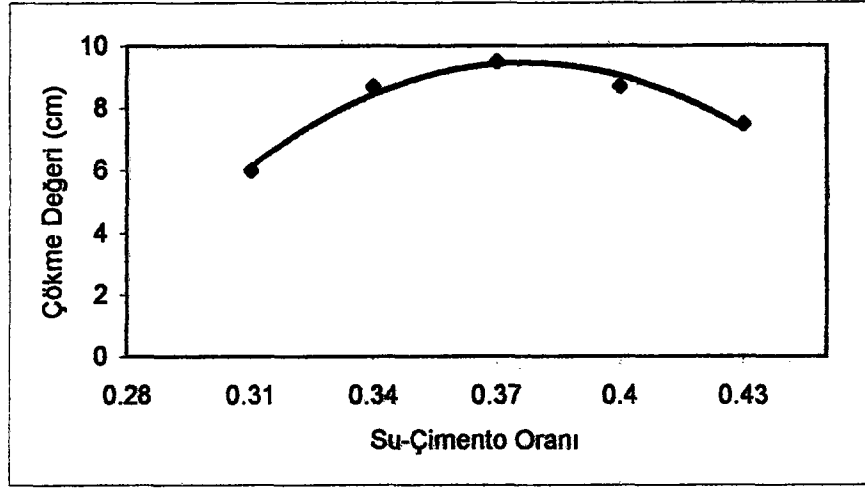
İlaveten, kullanılan akışkanlaştırıcının dayanım üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı anlaşılmıştır. Akışkanlaştırıcı burada sadece işlenebilirliği sıfır olan betona yüksek işlenebilirlik kazandırmıştır. Uygun akışkanlaştırıcı kullanımı ile işlenebilirliği slump hunisi ile sıfır olan bir karışımın çok akıcı bir beton haline getirilebileceği anlaşılmıştır.

Çizelge 4.10. 0.43 ve 0.38 S/Ç oranında silindir yarma dayanımları(kgf/cm²)

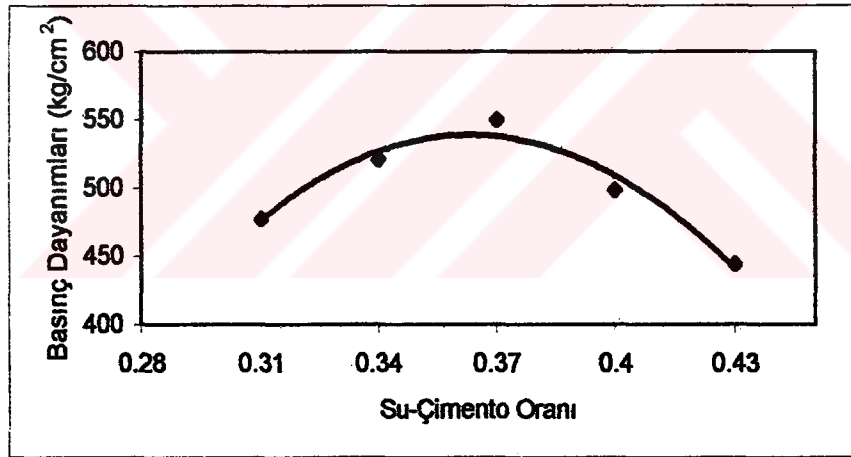
Karışımın Adı	0.43 S/Ç Silindir Yarma Dayanımı	0.38 S/Ç Silindir Yarma Dayanımı	0.38 S/Ç ve Akışkanlı Silindir Yarma Dayanımı
A Karışımı	36	41	52
B Karışımı	35	35	53
C Karışımı	33	48	44
T Karışımı	29	47	44

Elde edilen silindir yarma dayanımları için yukarıda yapılan benzer karşılaştırma yapılarak ve su-çimento oranının düşmesi ile dayanımın yükseldiği şeklindeki aynı kaniya varılmaktadır.

Pratik uygulama sınırlarının altında su miktarı ile yapılan karışımlarda basınç dayanımının nasıl etkilendiğini irdelemek amacı ile T karışımı optimum su-çimento oranının altında değişik su çimento oranlarında yeniden üretilmiş ve basınç dayanımı tespit edilmiştir. Aynı şekilde T karışımı optimum su-çimento oranının üstünde değişik su çimento oranlarında tekrar üretilmiş ve basınç dayanımı tespit edilmiştir. Elde edilen basınç dayanımları şekil 4.4.'te grafik olarak sunulmaktadır. Şekil 4.4. incelendiğinde eğrinin optimum su muhtevasını veren eğriye (Şekil 4.3.) karakter olarak benzediği görülür. Optimum su muhtevasının altında ve üstünde kalan değerler için elde edilen basınç dayanımlarının optimum değer için elde edilen basınç dayanımından daha küçük olduğu görülmektedir (Şekil 4.4.).



Şekil 4.3. T karışımı için optimum su-çimento oranı



Şekil 4.4. T karışımının optimum su-çimento oranına yakın oranlarda basınç dayanımları

Burada su-çimento oranı düştükçe dayanım düşer anlamında bir sonuç elde edilmekte ve daha önce belirtilen su-çimento oranının azalması ile dayanımın yükseldiği sonucu ile karşıt bir durum ortaya çıkmaktadır. Ancak durumun böyle olmadığı aşağıda açıklanmaktadır. Pratik uygulama sınırının altında kalan su çimento oranları ile üretilen betonların dayanımlarının daha az çıkmasının esas nedeni şudur: pratik sınırın altında olan su miktarı nedeni ile karışım hem uygun bir şekilde karıştırılamamakta hem de taze halde oldukça katı bir karışım oluşmakta ve ayrıca

numuneler hazırlanırken çok iyi sıkıştırılamamaktadır. Bütün bu sebepler dolayısı ile iyi karışmamış ve iyi sıkıştırılamamış boşluklu bir numune yapısı oluşmakta ve dolayısı ile dayanım küçük çıkmaktadır. Su-çimento oranının optimum değerden yüksek olması ile beton dayanımının düşmesi ise geleneksel olarak şu şekilde açıklanır. Optimum su-çimento oranında maksimum sıkıştırılabilirlik elde edilmektedir. Optimumdan daha fazla miktarda kullanılacak suyun burada sıkıştırılabilmeye herhangi bir faydası olmayacak sadece su-çimento oranını artıracaktır. Bilindiği üzere çimento hidratasyonu için gerekli su miktarı yaklaşık çimento ağırlığının %22 ile %25'i arasında değişmektedir (Postacioğlu, 1986b). Çimento beton içinde kullanıldığı takdirde betonun işlenebilirliğini ve sıkıştırılabilirliğini sağlamak amacıyla bir miktar fazla suya ihtiyaç duyulmaktadır. Fazladan gerekli su miktarının ve hidratasyon için gerekli su miktarının toplamı optimum su miktarıdır. Bu değer üzerinde kalan su miktarı ise daha önce belirtildiği gibi hidratasyon ya da sıkıştırılabilme için aşırı fayda sağlamaz. Optimum üzerinde kalan su miktarı katılaşmış beton içinde boşluk oranının artmasına dolayısı ile dayanımın düşük çıkmasına sebep olur.

4.7. Agregada Gradasyonunun Değişiminin Etkisi

Sabit su çimento oranı ile üretilen beton karışımları göz önüne alındığında, A karışımında 402 kg çimento, B karışımında 460 kg çimento, C karışımında 549 kg çimento ve T karışımında 507 kg çimento kullanılmıştır. Bu değerler sabit dayanım ve farklı gradasyon eğrileri için TS 802 (1985)'den elde edilmiştir. Bütün karışımların basınç dayanım sonuçlarının, T karışımı hariç, 450 kgf/cm² civarında olduğu görülmektedir. A karışımından elde edilen sonuç 402 kg çimento kullanarak 475 kgf/cm² civarında yüksek dayanımın elde edilebileceğini göstermektedir. A, B, C ve T karışımları yaklaşık olarak aynı beton basınç dayanımını geliştirmiş denilebilir. Bütün karışımlarda yaklaşık aynı basınç dayanımı elde edilmiştir, ancak çimento miktarları ise oldukça farklıdır. A karışımı iri agregası fazla olan karışım olup, C karışımı agregasının incesi fazladır. C karışımı A karışımına göre %40 fazla

çimento kullanılarak üretilmiş olmasına rağmen yaklaşık olarak aynı dayanımı sağlamaktadır.

Optimum su çimento oranı ile üretilen beton karışımları göz önüne alındığında, yukarıda belirtilen her bir karışım için çimento miktarları değişmemektedir. Butün karışımların basınç dayanım sonuçlarının T karışımı hariç 550 kgf/cm^2 civarında olduğu görülmektedir. A karışımından elde edilen sonuç 400 kg çimento kullanarak 550 kgf/cm^2 civarında yüksek dayanımın elde edilebileceğini göstermektedir. A, B, C ve T karışımları yaklaşık olarak aynı beton basınç dayanımını geliştirmiş denilebilir. Butün karışımlarda yaklaşık aynı basınç dayanımı elde edilmiştir, ancak çimento miktarları ise oldukça farklıdır. A karışımı iri agregası fazla olan karışım olup, C karışımı agregasının incesi fazladır. C karışımı A karışımına göre %40 fazla çimento kullanılarak üretilmiştir ve yaklaşık olarak aynı dayanımı sağlamaktadır.

Optimum su çimento oranı ve akışkanlaştırıcı ile üretilen beton karışımları göz önüne alındığında ve karşılaştırma yapıldığında aynı sonuca tekrar varılacaktır.

Yukarıda yapılan karşılaştırmalardan agregata tane dağılımının belli bir dayanımı sağlamak için çimento miktarını %40 artıracak mertebede etkilediği anlaşılmaktadır. Agregata fiyatları ihmal edildiğinde betonun %40 daha pahalı üretileceği anlamına gelmektedir. Çimento miktarının artması hidrasyon ısısında artacağının bir habercisi olduğu bilinmektedir.

Nevil'in (1995), belirttiğine göre verilen bir tane dağılımı için agregata/çimento oranı azalırken sabit su çimento oranı korunduğunda karışımın işlenebilirliği artacaktır. Burada yapılan çalışmada ise agregata çimento oranı azaltılmış, sabit su-çimento oranı korunmuş fakat agregata dane dağılımı değiştirilmiş ve kum-çakıl oranı yükseltilmiştir. Kum çakıl oranının yükseltilmesi kum oranını artırmış ve incelik modülünü düşürmüştür. İncelik modülü düşmesi veya kum oranı yükselmesi ile karışımın özgül yüzeyinde artacağı bilinmektedir (Mehta, 1993). Özgül yüzeyin artması bu yüzeyleri ıslatması gereken su miktarının da artması anlamına gelmektedir. Sabit su çimento oranının korunması için çimento miktarının da artırılması gerekmektedir. TS 802 (1985), bu durumu göz önüne almış ve maksimum agregata tane çapı arttıkça belli bir işlenebilirlik için su miktarını azaltmıştır. Ayrıca

agrega dane dağılımında kullanılan kum-çakıl oranı arttıkça da sabit işlenebilirlik için karışım suyu miktarını artmıştır.

Özetle agrega tane dağılımı inceldikçe sabit işlenebilirliği sağlamak için su miktarını arttırmak gerekmiş, yanısıra sabit dayanımı sağlamak için S/Ç sabit tutulmuş ve bu nedenle çimento miktarı da artırılmıştır. TS 802’de verilen A eğrisi ile C eğrisi için elde edilecek sabit dayanım için çimento miktarı oldukça farklı olmuştur. Bu ise gradasyon değişiminin pahalı sonuçlar vereceğini göstermekte olup, uygun gronülometri eğrisi ile yüksek dayanım daha az çimento miktarı ile elde edilmektedir.

Yüksek dayanımlı beton dizayn edilmek istendiğinde beton karışımı kurallarına uymak zorunluluğu olduğu bu çalışma sonucunda irdelenmiş olmaktadır. Yüksek dayanımı uygun fiyata elde etmek için S/Ç’nun düşürülmesinin yanında agrega gradasyonuna da özen göstermek gerekmektedir. Düşük su-çimento oranı için ortaya çıkacak işlenebilirlik azalması ise akışkanlaştırıcı kullanımıyla giderilebilir.

5. SONUÇ

1. TS 802 (1985), beton karışım hesabının basınç dayanımını sağlamak üzere su-çimento oranını oldukça makul olarak tahmin edebildiği anlaşılmıştır. Ancak, belirli bir işlenebilirlik için gerekli su miktarını çok iyi tesbit edememektedir. Su miktarının deneme karışımı sonucunda bulmak gerektiği ortaya çıkmıştır.
2. TS 802 (1985)' nin beton karışım hesabı PÇ 32.5 çimentosu için geçerli olduğu belirtilmektedir. Bu çalışmada bu karışım hesabının KZÇA 32.5 R ile de kullanılabileceği kanatine varılmıştır.
3. Silindir numune sonuçlarının küp numune sonuçlarından daha düşük olduğu görülmüştür.
4. Agregatane dağılımının işlenebilirliği etkilediği, tane dağılımı incelidikçe sabit su miktarında işlenebilirliğin düştüğü tesbit edilmiştir.
5. Agregatane dağılımının işlenebilirliği etkilemesi ile sabit işlenebilirlik için çimento miktarını etkilediği, agregatane dağılımı incelidikçe daha fazla çimento kullanımının gerektiği tesbit edilmiştir.
6. Belli bir çimento miktarı için dayanımı maksimum yapabilecek bir maksimum tane çapının olduğu ve bunun tesbit edilebileceği anlaşılmıştır.
7. Pratik uygulama sınırlarının altında su miktarı ile yapılan karışımlarda basınç dayanımının düşük olduğu tespit edilmiştir. Belli bir karışım da maksimum basınç dayanımını sağlayabilecek optimum bir su-çimento oranının zemin mekaniği felsefesinden hareket edilerek bulunabileceği tesbit edilmiştir.
8. Bulunabilecek optimum su-çimento oranı üzerinde su-çimento oranlarıyla elde edilen basınç dayanımının optimum değerle elde edilen basınç dayanımından daha düşük olacağı gösterilmiştir.
9. Uygun akışkanlaştırıcı seçimi ile sıfır çökme işlenebilirliğe sahip betonun akıcı hale getirilebilmesi mümkündür.

KAYNAKLAR

- AKMAN, S., 1990. Yapı Malzemeleri. İ.T.Ü. İnşaat Fak. Matbaası, İSTANBUL.
- ANDERSON, F. A., 1984. RCC Does More, Concrete International, Vol 6, No (5), . pp 35-37.
- ATİŞ, C. D., 2000. Yapı Malzemeleri, Ders Notu, Ç. Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, ADANA. (yayınlanmamış)
- ATİŞ, C. D., 2000. Beton Katkı Malzemeleri, Ders Notu, Ç. Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, ADANA. (yayınlanmamış).
- BERKTAY, İ., 1991. Genelde Yüksek Dayanımlı Beton. 2. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İSTANBUL, s 1-14.
- CABRERA, J. G., ATİŞ, C. D., 1999. Design and Properties of High Volume Fly Ash High-Performance Concrete. Proceedings of ACI International Conference on High Performance Concrete and Performance and Quality Control Structures, Gramado, RS, Brasil pp 21-37, SP-186.
- CABRERA, J. G., LEE, R. E., 1985. A New Method for the Measurement of Workability of High Pulverised Fuel Ash Concrete. Proceedings of 7th International Ash Utilisation Symposium, Vol.1, pp 347-360.
- CALVERLEY, M. A. A., 1977. The Design of British Airport Authority Pavements. International Conference on Concrete Pavement Design, USA, pp 97-106.
- CANNON, R. W., 1993. Air-Entrained Roller Compacted Concrete. Concrete International, Vol 15, No (5), pp 49-54.
- CORPS OF ENGINEERS, 1994. Roller Compacted Concrete, ASCE Publications, ISBN 0-37262-999-6,.
- DEPARTMENT OF TRANSPORT, 1976. Specification for Road and Bridge Works. H. M. Stationery Office, LONDON, pp 69-70.
- ERDOĞAN, T. Y., 1995. Çimentolar. Türkiye Hazır Beton Birliği, İSTANBUL, 120s.
- ERDOĞAN, T. Y., 1995. Agregalar. Türkiye Hazır Beton Birliği, İSTANBUL, 162s.
- ERDOĞAN, T. Y., 1995. Karışım ve Bakım Suları. Türkiye Hazır Beton Birliği, İSTANBUL, 67s.

- GAMBHIR, M. L., 1986. Concrete Technology. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, NEW DELHI.
- GÖKDEMİR, A., 1997. Yapı Malzemeleri ve Beton Teknolojisi. Teknik Yayınevi, ANKARA, 109s.
- GÜNER, M. S., SÜME, V., 2000. Yapı Malzemesi ve Beton. Aktif Yayınevi, ERZURUM, 333s.
- HANSEN, K. D., 1996. Roller Compacted Concrete: A Civil Engineering Innovation. Concrete International, Vol 18, No (3), pp 49-53.
- KAPUCUOĞLU, İ. K., 1998. Püskürtme Betonda, Döküntüyü Azaltmada Sentetik Elyaf Kullanımı. Beton-Çimento ve Boya Semineri, DSİ, ANKARA, s 293-296.
- MEHTA, P. K., LANGLEY, W. S., 2000. Monolith Foundation: Built to Last A 1000 Years, Concrete International, July, ss.27-32
- MUNN, R. L., 1984. Fly Ash in Roller Compacted Concrete Pavement and Slipformed Applications. Secont International Conferance on Ash Technology And Marketing, September, LONDON, pp. 445-460.
- NANNİ, A., LUDWING, D., SHOENBERGER, J., 1996. Roller Compacted Concrete for Highway Pavements. Concrete International, Vol 18, No (5), pp 33-38.
- NEVILLE, A. M., 1995. Properties of Concrete. Longman Group Limited, UK.
- NEVILLE, A. M., BROOKS, J. J., 1993. Concrete Technology. Longman Scientific and Technical, USA.
- ÖZBEBEK, İ. H., 1993. Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Kullanılan Katkı Maddelerinin Betona Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, ADANA, s 40.
- ÖZCAN, F., 1999. Niğde İli Çevresindeki İnşaat Malzemelerinin Beton Üretiminde Kullanımı, Bu Malzemelerden Elde Edilen Betonların Özelliklerinin ve Optimal Karışımlarının Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, NİĞDE, s 5.
- ÖZKUL, H., TAŞDEMİR, M.A., TOKYAY, M., UYAN, M., 1999. Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği, İSTANBUL, 119 s.
- PIGEON, M., MARCHAND, J., 1996. Frost Resistance of Roller-Compacted Concrete. Concrete International, Vol 18, No (7), pp 22-26.

- POPOVICS, S., 1992. Concrete Materials Properties Specifications and Testing.
ISBN 0-8155-1308-9, Noyes Publications, USA.
- POSTACIOĞLU, B., 1986. Beton. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İSTANBUL, c.
1, 171 s.
- POSTACIOĞLU, B., 1986. Beton. Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İSTANBUL, c.
2, 404 s.
- TS 19, 1992. Çimento-Portland Çimentoları. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 24, 1985. Çimentoların Fiziki ve Mekanik Deney Metotları. Türk Standartları
Enstitüsü, ANKARA.
- TS 130, 1978. Agrega Karışımlarının Elek Analizi Deneyi İçin Metot. Türk
Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS EN 196-3+AC, 1996. Çimento Deney Metotları-Priz Süresinin ve Hacim
Genleşmesinin Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 500, 1984. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları. Türk Standartları
Enstitüsü, ANKARA.
- TS 706, 1980. Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 707, 1980. Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunesi Hazırlama
Yöntemi. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 802, 1985. Beton Karışım Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü,
ANKARA.
- TS 2871, 1977. Taze Beton Kıvam Deneyi (Çökme Hunisi Metodu İle). Türk
Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 2872, 1977. Taze Beton Kıvam Deneyi (Sıkıştırma Faktörü Metodu İle). Türk
Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 2940, 1999. Beton Deneyleri-Deney Numuneleri- Bölüm 1: Taze Betondan
Numune Alma. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 2941, 1978. Taze betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık
Yöntemi İle Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3068, 1999. Beton Deneyleri-Deney Numuneleri-Bölüm 2: Dayanım Deneyleri
İçin Deney Numunelerinin Yapımı ve Kürü. Türk Standartları Enstitüsü,
ANKARA.

- TS 3114, 1978. Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3115, 1978. Taze Beton Kıvam Deneyi (Vebe Metodu Metodu İle). Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3129, 1998. Beton-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3284, 1979. Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Üçtebir Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle). Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3526, 1980. Beton Agregalarında Özgöl Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3527, 1980. Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3528, 1980. Beton Agregalarında Hafif Madde Oranı Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3529, 1980. Beton Agregalarında Birim Ağırlıklarının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3655, 1981. Beton Agregalarında Dona Dayanıklılık Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3673, 1982. Beton Agregalarında Organik Kökenli Madde Tayini Deney Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 3694, 1981. Beton Agregalarında Aşınmaya Dayanıklılık Aşınma Oranı Tayini Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS 4834, 1986. Beton ile İlgili Terimler. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.
- TS EN 12350-5, 2000. Beton- Taze Beton- Bölüm5: Yayılma Tablası Deneyi. Türk Standartları Enstitüsü, ANKARA.

ÖZGEÇMİŞ

1975 yılında Kadirli’de doğdum. İlk ve Orta öğrenimimi Osmaniye’de, Lise öğrenimimi Adana’da tamamladım. 1998 yılında Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldum. Aynı yıl, aynı üniversitede master programına başladım ve araştırma görevli kadrosuna atandım. Halen sistenliğe başladım Halen Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktayım.

