İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKSİMUM AGREGA DANE BOYUTUNUN ELASTİSİTE MODULÜNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Oğuz EROĞLU

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

HAZİRAN 2008

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKSİMUM AGREGA DANE BOYUTUNUN BETONUN ELASTİSİTE MODULÜNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
İnş. Müh. Oğuz EROĞLU
(501051091)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30 Nisan 2008
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Haziran 2008

Tez Danışmanı : Y.Doç.Dr. Hasan YILDIRIM
Diğer Jüri Üyeleri Y.Doç.Dr. Hakan Nuri ATAHAN (İ.T.Ü.)
Doç.Dr. Nabi YÜZER (Y.T.Ü.)

HAZİRAN 2008

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tezimin hazırlanması sırasında yardımlarını gördüğüm, bilgisinden ve deneyimlerinden yararlandığım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Hasan Yıldırım'a;
Çalışmalarıma olan ilgi ve yardımlarından dolayı Yapı Malzemesi Ana Bilim Dalındaki tüm hocalarım, araştırma görevlilerine ve labaratuvar çalışanlarına;
Deneysel çalışmalarım esnasında, bana olan büyük yardımlarından dolayı Seda TEBER'e;
Deneysel çalışmalarımda bana malzeme sağlayan Lafarge Aslan Çimentoya ve Chryso Kimya'ya ve;
Tüm hayatım süresince, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme teşekkür ederim.

Haziran 2008 Oğuz EROĞLU

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ii
TABLO LİSTESİ iii
ŞEKİL LİSTESİ viii
SEMBOL LİSTESİ ix
ÖZET x
SUMMARY xi

1. GİRİŞ 1

1.1. BETON **1**
1.2. BETONUN YAPISI **3**
1.2.1. Agrega 3
1.2.1.1. İdeal Agrega Standartları 4
1.2.1.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri 6
1.2.1.3. Agrega – Su Bağıntıları 6
1.2.1.4. Agregaların Birim Ağırlığı, Özgül Ağırlığı ve Kompazitesi 7
1.2.1.5. Agrega Deneyleri 8
1.2.1.6. Agregaların Granülometrisi 9
1.2.1.7. İncelik Modülü 10
1.2.1.8. Granülometri Bileşiminin Beton Özellikleri Üzerine Etkisi 12
1.2.1.9. Agregalardaki Zararlı Maddeler 13
1.2.2. Çimento 14
1.2.3. Karışım Suyu 15
1.2.4. Katkı Maddeleri 16
1.2.4.1. Kimyasal Katkı Maddeleri 16
1.2.4.2. Su Azaltıcı- Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Maddeleri 17
1.2.4.3. Priz Süresini Değiştiren Katkılar 17
1.2.4.4. Süperakışkanlaştırıcılar 17
1.2.4.5. Hava Sürükleyiciler 17
1.2.4.6. Antifrizler 17
1.2.4.7. Diğer Kimyasal Katkılar 17
1.2.4.8. Mineral Katkılar 18
1.2.4.9. Mineral Katkı Çeşitleri 18
1.3. BETONUN SINIFLANDIRILMASI **18**
1.3.1. Basınç Dayanım Sınıfları 18
1.3.2. Kıvam Sınıfları 19
1.3.3. Agrega En Büyük (Maksimum) Tane Büyüklüğü Sınıfları 19
1.4. BETONDA ARANAN ÖZELLİKLER 20
1.4.1. Taze Beton Özellikleri 20
1.4.1.1. İşlenebilme ve Kıvam 20
1.4.1.2. Segregasyon 21
1.4.1.3. Terleme 21
1.4.1.4. Birim Ağılık 21
1.4.1.5. Üniformite 21

1.4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri 22
1.4.2.1. Betonun Basınç Direnci 22
1.4.2.2. Çekme Direnci 23
1.4.2.3. Eğilme Direnci 24
1.4.2.4. Aşınma Direnci- Aşınmalara Karşı Direnç 24
1.4.2.5. Kompasite 25
1.4.2.6. Betonun Dayanıklılığı 25
1.4.2.7. Betonun Geçirimliliği 25
1.4.2.8. Çiçeklenme 26
1.4.2.9. Sülfat Etkisi 26
1.4.2.10. Karbonatlaşma Etkisi 26
1.4.2.11. Deniz Suyu Etkisi 26
1.4.2.12. Alkali- Agrega Reaksiyonu 27
1.5. BETON BASINÇ DAYANIM FORMÜLLERİ **27**
1.5.1. Graf Formülü 27
1.5.2. Bolomey Formülü 28
1.5.3. Feret Formülü 28
1.6. BETONDA ELASTİSİTE MODÜLÜ **29**
1.6.1. Betonda Elastisite Modülünün Tayini 31
1.6.2. Elastisite Modülünün Rezonans Frekansı Metodu ile Tayini 32
1.6.3. Elastisite Modülünün Ultrases Hızı Yardımı ile Ölçülmesi 34
1.6.3.1. Ultrasesin Genel Özellikleri 34
1.6.3.2. Cisimde Ses Hızı Tayini 35
1.6.3.3. Ultrases Hızını Etkileyen Faktörler 36
1.6.4. Elastisite Modülünün İyileştirilmesi 36

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR 37

2.1. KULLANILAN MALZEMELER VE ÖZELLİKLERİ **37**
2.1.1. Kullanılan Agregalar 37
2.1.1.1. Kırma Kum 37
2.1.1.2. Kırmataş 1 37
2.1.1.3. Kırmataş 2 37
2.1.1.4. Kırmataş 3 37
2.1.2. Kullanılan Çimentonun Özellikleri 38
2.1.4. Karışım Suyu 39
2.1.5. Akışkanlaştırıcılar 39
2.2. KARIŞIM AGREGALARI GRANÜLOMETRİ EĞRİLERİ **39**
2.2.1. Maksimum Dane Boyutu 31,5 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi 39
2.2.2. Maksimum Dane Boyutu 16 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi 40
2.2.3. Maksimum Dane Boyutu 8 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi 41
2.2.4. Maksimum Dane Boyutu 4 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi 42
2.3. BETON KARIŞIMLARI **43**
2.4. BETON ÜRETİMİ **45**
2.5. TAZE BETON DENEYLERİ **45**
2.5.1. Birim Ağırlık 45
2.5.2. Çökme Deneyi 46
2.6. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYLERİ **47**
2.6.1. Basınç Deneyi 47
2.6.2. Ultrases Deneyi 47
2.7. TAZE BETON DENEY SONUÇLARI **47**

2.8. SERTLEŞMİŞ BETON DENEY SONUÇLARI **50**
2.8.1. Basınç Deneyi Sonuçları 50
2.8.2. Elastisite Modülü Değerleri 51
2.8.3. Ultrases Hızı Tayini 52

3. DENEY SONUÇLARI 54

3.1. BİRİM AĞIRLIKLA BASINÇ DAYANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİLER **54**
3.2. KÜP BASINÇ DAYANIMI İLE SİLİNDİR BASINÇ DAYANIMININ KARŞILAŞTIRILM **55**
3.3. BASINÇ DAYANIMI – SU/ÇİMENTO ORANI ARASINDAKİ İLİŞKİ **56**
3.4. ELASTİSİTE MODÜLÜ – SU/ÇİMENTO ORANI ARASINDAKİ İLİŞKİ **58**
3.5. ULTRASES HIZI – BASINÇ DAYANIMI ARASINDAKİ İLİŞKİ **59**
3.6. ULTRASES HIZI – ELASTİSİTE MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİ **61**
3.7. KOMPASİTE VE BASINÇ DAYANIMLARI ARASINDAKİ İLİŞKİ **62**
3.8. BASINÇ DAYANIMLARI – BOLEMY VE FERET BAĞINTILARI KORELASYONU **63**
3.9. ULTRASES HIZI – FERET ÇARPANI KORELASYONU **68**
3.10. ULTRASES HIZI – BOLEMY ÇARPANI KORELASYONU **69**
3.11. BASINÇ DAYANIMLARI İLE ELASTİSİTE MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİ **71**

4. DENEY SONUÇLARI 75

4.1. TAZE BETON DENEYİ SONUÇLARI **75**
4.2. SERTLEŞMİŞ BETON DENEYİ SONUÇLARI **76**
4.2.1. Küp – Silindir Basınç Dayanımları Arasındaki Bağıntı 76
4.2.2. Küp ve Silindir Basınç Dayanımı ile su/çimento Oranı Arasındaki Bağıntı 76
4.2.3. Elastisite Modülü ile su/çimento Oranı Arasındaki Bağıntı 77
4.2.4.Ultrases Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki Bağıntı 78
4.2.5.Ultrases Hızı ve Elastisite Modülü Arasındaki Bağıntı 78
4.2.6. Kompasite ile Basınç Dayanımı Arasındaki Bağıntı 79
4.2.7. Basınç Dayanımları ile Bolemy ve Feret Bağıntıları Arasındaki İlişki 79
4.2.8. Utrases Hızı ile Bolemy ve Feret Bağıntıları Arasındaki İlişki 80
4.2.9. Basınç Dayanımları ile Elastisite Modülleri Arasındaki İlişki 80
4.2.9.1. Elastisite Modülü Basınç Dayanımı İlişkisi 80
4.2.9.2. Elastisite Modülü Basınç Dayanımının Karekökü İlişkisi 80
4.2.9.3. ACI Formülü Kullanılarak Bulunan Elastisite Modülü ile Deneysel Olarak Bulunan Elastisite Modülü İlişkisi 81
4.2.9.4. TS 500 Formülü Kullanılarak Bulunan Elastisite Modülü ile Deneysel Olarak Bulunan Elastisite Modülü İlişkisi 81
4.3. SONUÇLAR 81

KAYNAKLAR 84
ÖZGEÇMİŞ 86

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1	**:** Çimento hamuru, harç ve betonun genel tanımları ……	3
Tablo 1.2	**:** İncelik Modülü- Granülometri Eğrisi …….	11
Tablo 1.3	**:** ENV 197-1'e Göre Çimento İçinde Bulunabilecek Maddeler……	15
Tablo 1.4	**:** Basınç Dayanım Sınıfları……	19
Tablo 1.5	**:** Kıvam Sınıfı- Çökme İlişkisi ….....	20
Tablo 1.6	**:** Agrega Tane Büyüklüğü Sınıfları……...	20
Tablo 2.1	**:** Agregaların Granülometri Değerleri ……..	38
Tablo 2.2	**:** Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri……	39
Tablo 2.3	**:** Çimentonun Basınç Dayanım Sonuçları ……	39
Tablo 2.4	**:** Elek Analizi Maksimum 31.5 mm……...	40
Tablo 2.5	**:** Elek Analizi Maksimum 16 mm …….	41
Tablo 2.6	**:** Elek Analizi Maksimum 8 mm ……...	42
Tablo 2.7	**:** Elek Analizi Maksimum 4 mm ……...	43
Tablo 2.8	**:** Üretilen Betonun Kodlanması…….	45
Tablo 2.9	**:** Taze Beton Deneyi Sonuçları……..	49
Tablo 2.10	**:** Üretilen Betonların Karışımına Giren Gerçek Malzeme Miktarları	50
Tablo 2.11	**:** Üretilen Betonların Basınç Deneyi Sonuçları……..	51
Tablo 2.12	**:** Üretilen Betonların Elastisite Modülü Değerleri…….	52
Tablo 2.13	**:** Üretilen Betonların Ultrases Değerleri…….	53
Tablo 3.1	**:** Küp-Silindir Basınç Dayanımı Feret, Bolemey Katsayı Korelasyonu……..	64

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 1.1	**:** Betonun Yapısı	3
Şekil 1.2	**:** İncelik Modülü- Granülometri Eğrisi İlişkisi.....	12
Şekil 1.3	**:** Beton, agrega ve çimentonun tipik gerilme- deformasyon eğrileri……...	31
Şekil 1.4	**:** Beton için tanımlanan elastisite modülleri.....	31
Şekil 1.5	**:** Rezonans Frekansı Metodu Deney Düzeneği.....	34
Şekil 2.1	**:** Agregaların Granülometri Eğrileri.....	38
Şekil 2.2	**:** Elek Analizi Maksimum 31,5 mm.....	41
Şekil 2.3	**:** Elek Analizi Maksimum 16 mm	42
Şekil 2.4	**:** Elek Analizi Maksimum 8 mm	43
Şekil 2.5	**:** Elek Analizi Maksimum 4 mm…….	44
Şekil 3.1	**:** Birim Hacim Ağırlık Küp Basınç Değeri İlişkisi…….	54
Şekil 3.2	**:** Birim Hacim Ağırlık Silindir Basınç Değeri İlişkisi……	54
Şekil 3.3	**:** Silindir ve Küp Basınç Dayanıımı İlişkisi……	56
Şekil 3.4	**:** Küp Basınç Dayanımı w/c İlişkisi……	57
Şekil 3.5	**:** Silindir Basınç Dayanımı w/c İlişkisi……...	58
Şekil 3.6	**:** Elastisite Modülü w/c İlişkisi……...	59
Şekil 3.7	: Ultrases Hızı ile Küp Dayanımı Arasındaki İlişki……	60
Şekil 3.8	**:** Ultrases Hızı ile Silindir Dayanımı Arasındaki İlişki……..	60
Şekil 3.9	**:** Ultrases Hızı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişki……...	61
Şekil 3.10	**:** Küp Basınç Dayanımı ile Kompasite Arasındaki İlişki……	62
Şekil3.11	**:**	63
Şekil 3.12	**:** Silindir Basınç Dayanımı ile Kompasite Arasındaki İlişki……...	65
Şekil 3.13	**:** Küp Basınç Dayanımı ile Feret Katsayısı Arsındaki İlişki……...	65
Şekil 3.14	**:** Silindir Basınç Dayanımı ile Feret Katsayısı Arasındaki İlişki…	66
Şekil 3.15	**:** Küp Basınç Dayanımı ile Bolemy Katsayısı Arasındaki İlişki….	
Şekil 3.16	**:** Silindir Basınç Dayanımı ile Bolemy Katsayısı Arasındaki İlişkisi……	67 68
Şekil 3.17	**:** Ultrases Hızı Küp ile Feret Katsayısı Arasındaki İlişki…….....	69
Şekil 3.18	**:** Ultrases Hızı Silindir ile Feret Katsayısı Arasındaki İlişki……..	70
Şekil 3.19	**:** Ultrases Hızı Küp ile Feret Katsayısı Arasındaki İlişki……	70
Şekil 3.20	**:** Ultrases Hızı Silindir ile Bolemy Katsayısı Arasındaki İlişki…..	71
Şekil 3.21	**:** Basınç Dayanımı Elastisite Modülü Arasındaki İlişkisi……...	72
Şekil 3.22	**:** Karekök Basınç Dayanımı-Elastisite Modülü Arasındaki İlişki...	72
Şekil 3.23	**:** ACI I -Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki……...	73
Şekil 3.24	**:** TS500 -Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki…….....	73
Şekil 3.25	**:** ACI II -Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki……..	
Şekil 3.26	**:** ACI (I), ACI (II), TS500, Deneysel Elastisite Modülü İlişskisi…	74
Şekil 3.27	**:** Elastisite Modülü Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki…….	75
Şekil 3.28	**:** Elastisite Modülü Karekök Basınç Dayanımı Arasındaki İlişkisi…….75	

SEMBOL LİSTESİ

W : Su Ağırlığı
C : Çimento Ağırlığı
U : Kum Miktarı
V : Agrega Miktarı
h : Hava Miktarı
δ : Özgül Ağırlık
Δ : Birim Ağırlık
ε : Şekil Değiştirme
σ : Gerilme
R : Maksimum Basınç Dayanımı
$\mathbf{f_{cs}}$: Silindir Basınç Dayanımı
$\mathbf{f_{ck}}$: Küp Basınç Dayanımı
E : Elastisite Modülü
$\mathbf{K_f}$: Feret Katsayısı
$\mathbf{K_b}$: Bolemy Katsayısı
$\mathbf{f_{cc}}$: Çimento Norm Dayanımı
$\mathbf{K_G}$: Graf Katsayısı
V : Ultrases Hızı
f : Frekans
t : Zaman
g : Yerçekimi İvmesi
L : Uzunluk
d : Çap
v : Poisson Oranı
R : Korelasyon Katsayısı

MAKSİMUM AGREGA DANE BOYUTUNUN BETON ELASTİSİTE MODÜLÜNE OLAN ETKİSİ

ÖZET

Bu araştırmada ana başlıkta "maksimum agrega dane boyutunun beton elastisite modülüne etkisi" incelenmiştir. Küp ve silindir numunelerinde laboratuvar ortamında aşağıdaki konvansiyonel deneyler yapılarak sonuçları en uygun eksponensial eğri formülüyle korelasyon katsayıları bulunmuştur.

1. Taze beton numunelerinde mukavemet – birim ağırlık bağıntısı
2. Sertleşmiş beton numunelerinde mukavemet – birim ağırlık bağıntısı
3. Basınç dayanımı – su/çimento oranı bağıntısı
4. Elastisite modülü - su/çimento oranı bağıntısı
5. Basınç dayanımı – ultrases hızı bağıntısı
6. Elastisite modülü - ultrases hızı bağıntısı
7. Basınç dayanımı – kompasite bağıntısı
8. Basınç Dayanımı – Bolemy&Feret Katsayıları bağıntısı
9. Ultrases hızı - Bolemy&Feret Katsayıları bağıntısı
10. Basınç Dayanımı - elastisite modülü bağıntısı

Araştırmada tüm numunelerde değişken agrega, kum, çimento, suya ilaveten kimyasal akışkanlaştırıcılar da kullanılmıştır.

Laboratuvarda yapılan numunelerden elde edilen sonuçlara göre bulunan elastisite modülleri yürürlükteki TS (türk Standartları) ve ACI (American Concrete Institue) formül sonuçları ile karşılaştırılmış aralarındaki bağıntılar korelasyon katsayıları değerlendirilmiştir.

Araştırmada tüm laboratuvar deneyleri ASTM (American Standart Testing Material) ilgili deney standartları, ASTM deney ekipmanları ve düzenleriyle yapılmıştır.

Araştırmada kullanılan çimento, akışkanlaştırıcılar tek kaynaktan alınmış ve kimyasal raporları aynen kabul edilerek kullanılmıştır.

Arastırma sonucu laboratuvar ortamında yapılan deneylerle bulunan betonun statik elastisite modül değerleri ile TS500 formülü kullanılarak bulunan değer arasındaki farkın, uygulamada betonarme yapı elemanlarının projelendirmesinde emniyetli yönde farklılık gösterebileceği mevcut yapıların güçlendirilmesinde düşük donatı ve kesit gereksinimi çıkarabileceği yönde yorumlanabilir.

THE EFFECTS OF MAXIMUM AGREGATE SIZE ON MODULUS OF ELASTICITY OF CONCRETES

SUMMARY

In this research the main topic is “effects of maximum aggregate size on modulus of elasticity of concretes”. As following conventional tests have been conductedin the laboratory conditions on the cubes and the cylinders samples. The test results have been evaluated by correlations nımbers drowns from best fitted curves by using exponencial functions.

1. compresive strength of fresh concrete samples versus unit weights
2. compresive strength of cured concrete samples versus unit weights
3. compresive strength of concrete samples versus water cement ratios
4. elasticity modulus of concrete samples versus water cement ratios
5. compresive strength of concrete samples versus ultra-sound velocity
6. elasticity modulus of concrete samples versus ultra-sound velocity
7. compresive strength of concrete samples versus compasite index
8. compresive strength of concrete samples versus Bolemy&Feret index
9. ultra-sound velocity of concrete samples versus Bolemy&Feret index
10. compresive strength of concrete samples versus elasticity modulus

In additional to the using of variable quantity of aggregate, sand, cement and water in the concrete samples also additives have been used in research concrete samples.

The elasticity modulus of concrete samples test results in the laboratory conditions have been compared by current TS (Turkish Standart) and ACI (American Concrete Institute) formula values by finding correlation numbers among them.

ASTM (American Standarts of Testing Materials) test equipments, procedures and set-ups have been used in this research. In this study all cements, and additives used from single sources and their chemical reports have been accepted as given from suppliers in all tests.

As a result of this research comparing the elastic elasticity modulus of concrete samples found in the laboratory conditions by using TS 500 formula, the results as follows.

The elasticity modulus found by given formula by using TS 500 is extremely safe for design stage of concrete structural members.,

The elasticity modulus found by given formula by using TS 500 gives extremely unsafe results by size and reinforcement in strengthening stage of damaged members of concrete structures.

1. GİRİŞ

1.1 Beton

İnsanoğlu M.Ö.3000 yılından itibaren kalsiyum (Ca) esaslı bağlayıcı maddeleri yapı malzemesi olarak kullanmaktadır. Modern Portland Çimentosu ise ilk kez 1824 yılında üretilmesine rağmen ilk betonarme yapı ancak 1857 yılında yapılmıştır. Hazır beton, dünyada ilk kez yüzyıl başında (1903) Almanya'da ortaya çıkmış, sonraki birkaç yıl içersinde de ABD'de görülmeye başlamıştır; 1914 yılında , Stephan Setephanian adında, Ermeni asıllı bir Türkiye göçmeni tarafından beton taşıma amaçlı "transmikser" aracının geliştirilmesi, hazır beton endüstrisinin Amerika'daki yaygınlığını artırmış, özellikle savaş yıllarından sonra , bazıları bugün de faaliyette olan pek çok hazır beton firması kurulmuştur. İzleyen yıllarda hazır betonun yapıların temel inşaat malzemesi olarak benimsenip, yaygınlaşmaya başlaması uzun sürmemiş, kısa zamanda pek çok ülkede hazır beton üretilip, kullanılır olmuştur. Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısıyla birlikte hız kazanan kentleşme ve altyapı çalışmaları, hazır beton ve beton ürünlerinin daha çok üretilip, yaygınlaşmasını sağlamış, dolayısıyla bu alanda pek çok teknolojik gelişme kaydedilmiştir(1).

Beton çağdaş toplumlarm temelini oluşturan malzemelerin en önemlilerinden biridir. Çevremize baktığımızda, binalar, yollar, köprüler, barajlar, santraller, istinat duvarları, su depoları, limanlar, hava alanları, vb'nin betondan yapıldığını görürüz. Günümüzde, dünyada her yıl yaklaşık 5.5 milyar ton beton üretilmektedir. Bu miktar dünya nüfusuna bakıldığında kişi başına 1000 kg beton üretildiği ortaya çıkar. Ancak, bu kadar yaygın kullanılan bir malzeme olmasına karşın, çoğunlukla betonun öneminin farkına varmayız.

Beton neden bu derece yaygın kullanılan bir yapı malzemesidir? Bunun çesitli nedenleri vardır: Diğer bir çok yapı malzemesine göre, (i) daha kolay şekil verilebilir

olması, (ii) ekonomik olması, (iii) dayamklı olmasi, (iv) uretiminde daha az enerji tüketilmesi, (v) her yerde üretilebilir olması ve (vi) estetik ozelikleri nedeniyle beton en çok kullanılan yapi malzemesidir (2).

Betonarme taşıyıcı iskeletin yerinde yapı üzerinde inceleme ve deneylerle özellik ve niteliğinin belirlenmesi gereken belgeleme eksiklikleri, şüpheli malzeme kullanılmış olması hasar görme, ek yük taşıtma isteği gibi durumlar yapım aşamasından başlayarak yapının faydalı ömrü boyunca inşaat mühendisini sürekli ilgilendirmektedir (3).

Taze haldeyken plastik bir kıvama sahip olması betona istenilen herhangi bir şeklin verilmesini saglar. Diger bir deyişle, taze beton sertleştiğinde içine konulduğu kalıbın şeklini almış olur. Boylece, kirişler, kolonlar, karmaşık şekilli hiperbolik kabuklar, döşemeler, kazıklar, kütle betonlar v.b. yapmak mümkün olur. Beton üretiminde büyük ölçüde yerel malzemeler kullanılır. Bu husus maliyetinin diger yapı malzemelerine oranla düşük olmasındaki en onemli noktalardan biridir. Iyi bir beton dayanıklı bir yapı malzemesidir. Uygun bir şekilde tasarlanmış, uretilmiş, yerleştirilmiş, sıkıştılmış ve bakımı yapılmışsa uzun yıllar herhangi bir bakım, onarım gerektirmeden hizmetini sürdürür. Betonu bir hazır beton santralında olduğu kadar ülkenin en ücra bir köşesinde de kalite kontroluna özen gostermek koşuluyla üretmek mümkündür. lm^3 aluminyum, çelik ve cam uretimi için, sırasiyla, yaklaşık 360 GJ, 300 GJ ve 50 GJ enerji harcanırken, aynı miktardaki bir beton için yaklaşık 3.5 GJ enerjiye gereksinim vardir. Enerji maliyetlerindeki hızlı artış göz önünde bulundurulduğunda, betonun bu özelliğinin önemi de anlaşılır. Beton, aynı zamanda, bir çok estetik olanaklara sahip bir malzemedir. Istenilen şeki1, renk ve yüzey ozeliklerini vererek degişik goruntüler elde etmek mümkündür.

Betonun bir çok olumlu özelliğinin yanı sıra, elbetteki, bazı olumsuz özelikleri de bulunmaktadtr. Ancak, bunların üstesinden gelebilmek için beton üreticiye ve kullanıcıya bir çok olanak saglar. Çelik donati kullanılarak düşük çekme dayanımı dezavantajının azaltılması, çeşitli kimyasal katkı maddeleri kullanılarak çeşitli özeliklerinin daha da iyileştirilmesi bu olanaklara örnek olarak verilebilir.

Beton çimento, ince agrega, kaba agrega, su ve gerektiginde çeşitli kimyasal ve/veya mineral katkilar içeren bir kompozit malzemedir. Çogu zaman, konuyla ilgisi olmayan siradan insanlar, hatalı bir biçimde, çimento harcı ve çimento

hamurunu da beton olarak nitelendirmekledirler. Bu üç malzemenin, genel hatlarılya tanımı Tablo 1.1 verilmiştir.

Tablo 1.1. Çimento hamuru, harç ve betonun genel tanımları

Malzeme	Bileşimi
Çimento hamuru	Çimento + Su
Harç	İnce agrega + çimento hamuru
Beton	Kaba agrega + İnce agrega + çimento hamuru

İyi bir betonun, tüm ince agrega tanelerinin çimento hamuruyla, tüm kaba agrega tanelerinin de harçla kaplanmış olması gerekir. Bu sistem içindeki bağlayıcı malzeme olan çimentonun suyla reaksiyonu sonucunda beton dayanım kazanır (2).

1.2. Betonun Yapısı



Şekil 1.1. Betonun Yapısı

Beton, kendisini oluşturan agrega (kum ve çakıl), çimento ve suyun belirli ölçülerde karıştırılması sonucu elde edilir. Beton özelliklerine etkili olmak için bazı durumlarda kimyasal katkı maddeleri de karışıma eklenir (4).

1.2.1. Agrega

Doğal, yapay veya her iki cinsiyoğun mineral malzemesinin genellikle 100 mm'ye kadar çeşitli büyüklüklerdeki kırılmamış ve/veya kırılmış tanelerinin bir yığınıdır.. Doğal Agrega: Doğal taş agrega; teraslardan, nehirlerden, denizlerden, göllerden ve taş ocaklardan elde edilen kırılmış veya kırılmamış agregadır (5). Yapay Agrega: Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış agregadır. (Yapay taş veya Yapay kum da denir.)

İri Agrega: 4 mm açıklıklı kare delikli elek üzerinde kalan agregadır. Çakıl: Kırılmamış tanelerden meydana gelen iri agregadır. Kırma Taş: Kırılmış tanelerden

meydana gelen iri agregadır. Kum: Kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Kırma Kum: Kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Kırma kum, çakılın kırılması ile elde edilir. Karışık Agrega: İnce ve iri agrega karışımıdır. Doğal Karışık Agrega: Agrega ocağından, kırıcıdan veya sanayiden doğrudan doğruya elde edilen karışık agregadır. Maksimum tane büyüklüğünden büyük taneleri ayırmak için elenmiş agregalara da doğal karışık agrega denir. Hazır Karışık Agrega: İnce ve iri agreganın veya birkaç tane sınıfına ayrılmış bu agregaların belirli tane dağılımı (granülometri) sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır.

Doğal agrega oldukları bilinen kumlar ve çakıllar, atmosferik etkenlerin ve zamanın etkisiyle kayaların, taşların parçalanıp sürüklenerek ufalanmasından meydana geldiklerine göre en dayanıklı ve sağlam minerallerden meydana gelirler. Harç ve betonlarda kullanılan kum ve çakılların çoğu ırmak, çay, dere gibi su akımlarının bıraktıkları ve dere kumu adı verilen çeşit veya buz kütlelerinin sürükleyip yığdıkları kum yataklarından çıkarılanlardır. Diğer kaynaklar, ufalanmış gevrek kumtaşı (gre) ile plaj ve sahillerde bulunan deniz kumudur. Deniz kumu, agrega olarak değerli bir malzeme olmakla beraber bulaşık bulunduğu çözelti ve tuzlar dolayısıyla mimari yapılarda ve ev inşaatında oldukları gibi kullanımları doğru değildir. Ancak, bol tatlı su ile yıkandıktan sonra sözü geçen yapılara ait harç ve betonlarda kullanılabilirler. Öyle olmazsa nemden kurtulmak çok güçtür.

1.2.1.1. İdeal Agrega Standartları

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bilişim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 EN 12620 standartının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca, suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Tane Dağılımı: Agreganın tane dağılımı, grnülometri eğrileri (elek eğrileri) ve gerektiğinde bu eğrilere bağlı oalrak tayin edilen incelik modülü, özgül yüzey ve su istek katsayıları ile belirtilir.

Tane Şekli: Agrega tanelerinin şekli, olabildiği kadar küresel ve kübik olmalıdır. Tanenin en büyük boyutunun en küçük boyutuna oranı 3'den büyük olan tanelere şekilce kusurlu taneler denir. Şekilce kusurlu taneler (yassı veya uzun taneler) oranı, 8 mm'nin üzerindeki agregalarda ağırlıkça %50'den çok olmamalıdır.

Tane Dayanımı: Agrega taneleri, istenilen özellikli bir betonun yapımına elverişli olacak kadar dayanıklı olmalıdır. Bu özellik, doğal olarak oluşmuş kum ve çakılda veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalarda, doğada uğradıkları ayıklanma olayı ile sağlanmaktadır. Betonun yapımında kullanılacak agregalar %30'dan, diğer agregalar için ağırlıkça %45'den az kayıp bulunmuş ise agrega yeterli olarak kabul edilir.

Dona Dayanıklılık: Bir agreganın dona dayanıklılığı öngörülen kullanma amacı için yeterli olmalıdır. Doğal olarak oluşmuş kum ve çakıl veya bunlardan kırılarak elde edilen agregalar, doğada uğradıkları ayıklanma olayı dolayısıyla çoğunlukla çok az miktarda dona duyarlı taneler içerir. Sürekli donma ve çözünme olamayan yörelerde bu özellik aranmaz.

Zararlı maddeler: Betonun prizine (katılaşmasına) veya sertleşmesine zarar verern, betonun dayanımını veya doluluğunu (kompositesini) azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşüren maddelerdir. Dağılış ve miktarlarına bağlı olarak zararlı etkileyen maddeler şunlardır. Yıkanabilir maddeler, organik kökenli maddeler, sertleşmeye zarar veren maddeler, bazı kükürtlü bileşikler, yumuşayan, şişen ve hacmi artıran maddeler, klorürler gibi korozyona sebep olan maddeler ve mikalar.

Yıkanabilir Maddeler: Yıkanabilir maddeler, agregada ince halde dağılmış veya topak halinde veya agrega tanelerine yapışık olarak bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur.

Organik Kökenli Maddeler: Humuslu ve diğer organik maddeler ince dağılmış halde iken betonun sertleşmesine zarar verebilirler. Taneli halde bulundukları zaman renk değişmesine veya şişerek betonun yüzeyinde patlamalara neden olabilir.

Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

Sert, dayanıklı ve boşluksuz olmaları,

Zayıf taneler içermemeleri (deniz kabuğu, odun, kömür... gibi)
Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları,
Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri,
Yassı ve uzun taneler içermemeleri,

Çimentoyla zararlı reaksiyona girmemeleridir.

Agreganın kirli (kil, silt, mil, toz,...) olması aderansı olumsuz etkilemekte, ayrıca bu küçük taneler su ihtiyacını da arttırmaktadır.Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir. Betonda kullanılacak agregalar TS 706 EN 12620'ye uygun olmalıdır. (6)

1.2.1.2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Agreganın Porozitesi : Agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Agrega tanelerindeki boşluk su emme deneyi yapılarak belirlenir. Buna göre kurutulmuş iri agrega tanelerinden W ağırlığında (2-5 kg arasında) malzeme alınarak 24 saat su içinde bırakılır. Bir havlu ile tanelerin yüzeyinden su alınır ve taneler böylelikle kuru yüzey doygun duruma getirilir. Bu tanelerden W1 ağırlığında malzeme alınarak etüvde kurutulur. Kurutulan malzemenin W0 ağırlığı bulunur.

O halde agreganın ağırlıkça su emme miktarı (W1-W0) / W0 ifadesiyle % cinsinden bulunur. Agreganın porozitesi (P) ise, agreganın gr/cm3 cinsinden özgül ağırlığı, W1 ve W0 gr. cinsinden ağırlıklar olduğuna göre; P=((W1-W0)/W0)*100 olarak ifade edilir.

İri agrega tanelerinin porozitesinin küçük olması ile bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer alması sağlanır. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak üretilen betonların mekanik mukavemeti de artırılabilir.(6)

1.2.1.3. Agrega – Su Bağıntıları

Agreganın emdiği su miktarı tanelerin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Agrega taneleri arasındaki boşluklarda su dört şekilde bulunur.

a) Tamamen kuru taneler**:** Agrega tanelerinde herhangi bir şekilde hiç su bulunmamaktadır.

b) Kuru yüzeyli taneler**:** Tanelerin içindeki boşluğun bir kısmı su ile doludur, fakat tanenin yüzeyi tamamen kurudur.

c) Kuru yüzeyli doygun taneler: Tanelerin boşluklarının su ile dolması ve yüzeyinin tamamen kuru olması halidir. (YKSD)

d) Islak taneler: Agregadaki boşluklar su ile dolu olduğu gibi yüzeyde de su vardır.

Agregadaki su miktarı agreganın birim ağırlığına, hatta özgül ağırlığına da etki eder. Birim ve özgül ağırlık doygun kuru yüzey hal için verilir. Agregada boşlukların fazla olması agreganın donma ve çevre etkilerine karşı dayanıklılığını azaltır. Agrega su emme yüzdesinin limiti kum ve çakıl için % 1'dir. Su emme yüzdesi yüksek olan agreganın betonda kullanılması beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır.(6)

1.2.1.4. Agregaların Birim Ağırlığı, Özgül Ağırlığı ve Kompazitesi

Birim Ağırlık: Belirli bir hacmi dolduran agreganın ağırlığına birim ağırlık denir. Agregayı kuru halde iken gevşek olarak bir kaba boşaltarak bulunan birim ağırlığa "gevşek birim ağırlık" ve yine kuru iken belli sayıda çubuk darbesi ile sıkıştırılarak bulunan birim ağırlığa ise "sıkışık birim ağırlık" denir.

Birim ağırlıktan agrega içindeki boşluk miktarı hesaplanabildiği gibi, özel amaçlar için agreganın uygun olup olmadığı da değerlendirilebilir. Ayrıca agreganın granülometri bileşimi ve kusurlu malzemenin varlığı hakkında fikir vermektedir.

Birim ağırlığa etki eden faktörler ;

1. Agreganın granülometrisine bağlı olarak boşluk miktarı değişmektedir. Boşluk miktarının az olması birim ağırlığı arttırır.
2. Kusurlu malzemenin fazla miktarda olması boşluğu arttırdığından birim ağırlığı düşürecektir.
3. Agrega V hacmine sahip bir kalıba yerleştirilirken sarsıntıya maruz bırakılırsa ve çubukla şişlenirse kabı az boşluk bırakarak doldurur. Bu da birim ağırlığın büyük bir değer almasıdır.

4. Agreganın özgül ağırlığının fazla olması agrega ağırlığının büyük olduğunu gösterir. Dolayısıyla birim ağırlık artar.

Birim ağırlığı yüksek bir betonun dayanımı, dayanıklılığı ve taşıma gücü fazladır. Beton agregalarının birim ağırlığı 1300 – 1850 kg/m3 arasında değişir. Agreganın sıkışma oranı ne kadar yüksek olursa basınç dayanımı ve dış etkilere dayanımı da o kadar yüksek olur.

Özgül Ağırlık : Belli hacim ve sıcaklıktaki bir malzemenin, havadaki ağırlığının aynı hacim ve sıcaklıktaki damıtık suyun havadaki ağırlığına oranıdır. Bu özellik agrega kökeni hakkında bilgi verir ve beton bileşenlerinin hesabında kullanılır. Betonda kullanılacak agreganın özgül ağırlığının 2,2 – 2,7 kg/dm^3 arasında olması istenir.

Özgül ağırlık, agreganın uygunluğunu belirtir. Düşük özgül ağırlık sağlam olmayan malzemeyi, yüksek özgül ağırlık ise kaliteli betona uygun agregayı tanımlar. Özgül ağırlık beton karışım hesabında, bu hesapların düzeltilmesinde ve beton homojenliğinin zorunluluğu durumlarında gereklidir. Düşük özgül ağırlık agreganın boşluklu ve zayıf olmasına bir işarettir.

Agreganın Kompasitesi : Agreganın kompositesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın özgül ve birim ağırlıkları bilinmek suretiyle kompasitesi hesaplanabilir. Agreganın birim ağırlığı her zaman için özgül ağırlıktan küçüktür. Dolayısıyla kompasite birden küçüktür. V toplam hacim, Vd dolu hacim olmak üzere, birim ağırlık, $\Delta = W/V$ ve özgül ağırlık $\delta = W/Vd$ olduğuna göre komposite $k = \Delta/\delta$ den Vd/V özgül ve birim ağırlık cinsinden hesaplanabilir. (Δ) birim ağırlık ve (δ) özgül ağırlıktır. Agreganın sıkıştırma işlemine tabi tutulmadan yerleştirilmesi sonucunda kompasite 0,40 – 0,70 arasında değer alır.

Agreganın kompasitesinin küçük olması şu zararları meydana getirir ;

1. Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur.
2. Kullanılan çimento miktarı artar.
3. Betonun maliyeti yükselir.
4. Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur.
5. Dış etkilere karşı dayanıklılık azalır.

1.2.1.5. Agrega Deneyleri

- Yüzey nem oranı tayini (TS 3523)
- Özgül ağırlık ve su emme deneyi (TS 3526 EN 1097-6)
- Su emme deneyi (TS 3526 EN 1097-6)
- İnce madde oranı tayini (TS 3527)(Yıkama ile)
- İnce madde oranı tayini (TS 3527)(Çökeltme ile)
- Hafif madde oranı tayini (TS 3528)
- Birim ağırlık deneyi (TS 3529)
- Tane büyüklüğü dağılımının tayini (TS 3530 EN)(Granülometri)
- Dona dayanıklılık deneyi (NaSO4,MgSO4)(TS 3655)
- Dona dayanıklılık deneyi (Soğutma dolabında) (TS 3655 EN 1367-1)
- Organik madde tayini (TS 3673 EN 1744-1)
- Aşınma deneyi (TS 3694 EN 1097-2 (Los Angeles)
- Tane şekli sınıfı tayini (KT I, KT II, KT III içeren ocak için)
- Beton agregaları yeterlilik deneyi (TS 3821)
- Kil toprakları deneyi (eski TS 707)
- Alkali agrega reaktivite deneyi (TS 2517)
- Ufalanma deneyi
- Pirinç çubukla sertlik deneyi

1.2.1.6. Agregaların Granülometrisi

Agregaların granülometri bileşimi ile şunu anlıyoruz. Agregayı teşkil eden taneler muhtelif boyuttadır. Fakat aynı bir agrega numunesinde belirli büyüklükteki taneler

daima belirli miktarda bulunur. İşte granülometri bileşim bize boyutlan belirli limitler arasında bulunan tanelerin ne miktarda agrega içinde bulunduğunu açıklar. Bu maksatla agregalar üzerinde «granülometri deneyleri» yapılır.

İleride açıklanabileceği gibi bir agreganın granülometri bileşiminin o agregayı kullanarak üretilen betonun özelikleri üzerinde gayet önemli etkileri vardır. Bu itibarla kullanılmadan evvel bir agreganın granülometri bileşiminin muhakkak saptanması gereklidir. (6)

1.2.1.7. İncelik Modülü

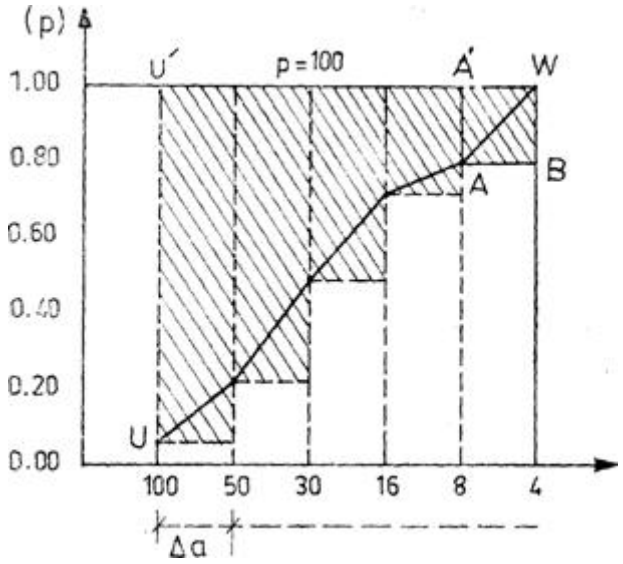
Agregaların granülometri bileşimi en iyi ve en doğru bir şekilde granülometri eğrileri ile gösterilir. Fakat granülometri bileşimini daha pratik bir şekilde gösteren başka karakteristikler de vardır ki bunlar arasında en önemlisi incelik modülüdür. İncelik modülü ancak elek boyutlarının bazı şartları yerine getirmesi halinde bahis konusu olabilir. Bu şartlardan en önemlisi birbirini izleyen elek boyutlarının birbirinin belirli katı olmasıdır. Bu eleklerle yapılan deneyler sonunda elde edilen granülometri eğrisinin her bir eleğe ait ordinatını (1) den çıkaralım. Bu şekilde elde edilen değerlerin toplamı o agreganın incelik modülüdür. TS 707 elek serisine göre yapılan bir deneyde agreganın granülometri eğrilerinin ordinatı olarak aşağıdaki değerler elde edilmiş olsun. Bu değerlerden itibaren incelik modülü 1 — p teşkil edilerek hesaplanmaktadır.

İncelik modülünün bu tanımından kolaylıkla anlaşılmaktadır ki bir agregada taneler inceleştikçe veya boyutları küçük olan tanelerin miktarı arttıkça bu karakteristik küçük değerler almaktadır. Tabiatıyla iri tanelerin miktarının artması ise incelik modülünün büyük değerler almasına sebep olur.İncelik modülünün ifade ettiği anlamı burada açıklamakta fayda görüyoruz.

Tablo 1.2. İncelik Modülü- Granülometri Eğrisi

Elek No.su	**Granülometri Eğrisi** Ordinatı=p	**1-p**
4	1,00	0,00
8	0,80	0,20
16	0,72	0,28
30	0,48	0,52
50	0,22	0,78
100	0,05	0,95

Bu maksatla granülometri eğrisini gösteren eksen takımında (y) ekseninde herhangi bir değişiklik yapmayalım. Buna karşılık x ekseni (d) yerine lgd değerlerine göre ölçeklenmiş olsun. Bu durumda kolaylıkla görülür ki Şekil 1–2'deki birbirini izleyen (a) değerini gösteren noktalar arasında sabit bir Δa mesafesi kalmaktadır. Burada (Δa) log2 den başka bir şey değildir. (x) ekseni üzerinde herhangi bir U noktası ile 100 No.lu elek boyutu gösterildikten sonra bundan itibaren Δa ,2 Δa ... Vs. mesafelerde diğer elek boyutları kolaylıkla işaret edilir. Bu eksen takımında yukarıda granülometri bileşimi verilen agreganın granülometri eğrisini çizelim. 0,20 X Δa çarpımını teşkil edersek, [burada 0,20 (8) no.lu elek'e ait (1-p) değeridir], AA'WB alanının değerini verir. Diğer eleklerin (1-p) değerleri için de aynı işlemi yaparak bunların toplamını alırsak 2,73X Δa çarpımını elde ederiz.



Şekil 1.2. İncelik Modülü- Granülometri Eğrisi İlişkisi

Bu çarpımı Şekil 1.2.'nin taranmış alanının S ile gösterilen yüz ölçümünü vermektedir. Buna göre incelik modülünü şu şekilde ifade etmek mümkündür.

$$\text{İncelik modülü} = \frac{S}{\Delta a} \qquad (1.1)$$

Elek boyutları arasında fark çok azaltılacak olursa granülometri eğrisi devamlı bir eğri olacaktır ve S bu eğri ile p = 1.00 doğrusu arasında kalan 100 no.lu eleğin sağ tarafında bulunan alan gösterecektir. Buradan incelik modülü için şu yeni tanımını buluyoruz. İncelik modülü granülometri eğrisi ile p == 1.00 doğrusu arasında kalan alan ile doğrudan doğruya orantılı olan bir karakteristiktir. İncelik modüllerinin bu muhtelif tanımlarından kolaylıkla anlaşılmaktadır ki granülometri bileşimi muhtelif olan agregaların incelik modülleri birbirine eşit olabilir. Diğer bir deyişle incelik modülü aynı olan, fakat granülometri bileşimleri birbirinden çok farklı olan agregalar vardır. Şu halde incelik modülü agreganın granülometri bileşimini yeterli derecede belirten bir karakteristik olmaktan uzaktır. Bununla beraber incelik modülü bize agregan granülometri bileşimi hakkında kaba bir fikir vermektedir. Bu karakteristiğin büyük değerler alması agrega içinde iri tanelerin fazla miktarda bulunduğunu gösterir. Bundan dolayı çakılların incelik modülü kumlarınkinden daima büyük bir değere sahiptir. Granülometri eğrilerinin dar bir bölge içinde bulunması halinde agregaların incelik modülü ancak o malzemenin granülometri bileşimini oldukça iyi bir şekilde gösterebilir. Bu bakımdan bu karakteristiğin granülometri bileşimi az değişiklik gösteren agregalarda saptanması

faydalıdır. Örneğin, aynı ocaktan gelen çakılın granülometri bileşimi incelik modülünün bulunmasıyla iyi ve kolay bir şekilde kontrol edilebilir. (6)

1.2.1.8. Granülometri Bileşiminin Beton Özellikleri Üzerine Etkisi

Beton strüktür malzemesi olarak düşünüldüğü vakit, bu malzemenin yüksek bir basınç mukavemetine sahip olması istenir. Betonun mukavemetinin istenilen değerden büyük olabilmesi için tabiatıyla betonun üretiminde bazı şartların yerine gelmesi gerekir. Şimdiye kadar yapılmış pek çok araştırma ve çalışmalardan gayet kesin olarak anlaşılmıştır ki beton üretiminde kullanılan yoğurma suyu miktarı mukavemet üzerine büyük bir etki yapmaktadır. Kullanılan su miktarı arttıkça, belirli bir değerden küçük olmamak üzere, beton mukavemeti önemli azalmalar gösterir. Betona konulan suyun birçok fonksiyonu vardır. Evvela su çimentonun hidratasyonunu sağlar sonra kum ve çakıl tanelerini ıslatır ve taze betonun kalıbına yerleşmesini kolaylaştırır. İşte agrega tanelerini ıslatmak için kullanılan su agreganın granülometri bileşimine bağlı olarak bulunmaktadır. Buradan granülometri bileşimin betonun mukavemeti üzerinde ne kadar büyük bir etki yapabileceği kolaylıkla anlaşılır.

Bir cismin mukavemeti bilinmelidir ki içinde bulunduğu boşlukla ilgilidir. Boşluk fazla ise veya kompasite düşük ise malzeme büyük bir mukavemete sahip olamaz. Betonlarda da aynı durum vardır. Betonlarda kompasitenin büyük olması ancak betonu teşkil eden agreganın kompasitesinin büyük olması ile mümkündür. Agreganın kompasitesi ise agreganın granülometri bileşimine bağlıdır. Granülometri bileşiminin bazı durumları kompasitenin büyük değerler almasına, bazı durumları ise bu karakteristiğin küçülmesine sebep olur. Agreganın kompasitesinin çimento miktarı veya çimento dozajı üzerinde de önemli bir etkisi bulunmaktadır.

Düşük kompasiteli bir agrega ile beton üretilecekse fazla miktarda boşlukların doldurulması için çimento miktarını arttırmak gerekir. Bu tedbir aşikârdır ki betonun maliyet fiyatını arttırır. Ayrıca fazla miktarda çimento kullanmanın teknik bakımdan, rötreyi artırması gibi, önemli sakıncaları da vardır.

Betonda aranılan önemli özeliklerden biri de işlenebilme özeliğidir. Diğer bir deyişle taze betonun kalıbına kolaylıkla yerleştirilebilme kabiliyetine sahip olmalıdır.

Betonun bu özeliğe sahip olmasında, o betonun yapımında kullanılan agreganın granülometri bileşiminin rolü büyüktür. Bileşim bazı şartları yerine getirmediği takdirde beton işlenebilme özeliğinden kısmen veya tamamen yoksun kalır. Böyle bir beton kalıbına iyi bir şekilde yerleştirilemez ve bundan dolayı malzeme içinde meydana gelen boşluklar betonun yüksek bir mukavemet kazanmasına engel olur.

Kısaca yapılan bu açıklamadan kolaylıkla anlaşılmaktadır ki agrega granülometri bileşiminin bazı şartları yerine getirmemesi halinde betonun mukavemeti düşecek, fazla miktarda çimento kullanmak zorunluluğu hâsıl olacak, bu ise çatlakların teşekkülünü kolaylaştırmak gibi bir takım sakıncaları ortaya çıkaracaktır. Granülometri bileşiminin beton için en elverişli durumunu saptayabilmek için,

1.Granülometri bileşimi ile su miktarı

2.Granülometri bileşimi ile kompasite

3.Granülometri bileşimi ile işlenebilme özeliği arasında nasıl bir bağıntı bulunduğunu araştırmak lazımdır.

1.2.1.9. Agregalardaki Zararlı Maddeler

Alkali- Silika Reaksiyonu: Betonarme veya beton yapı elemanlarının zamanla bozulup işlevlerini beklenen servis ömürlerine ulaşamadan yitirmelerine birçok faktör sebep olabilir. Yapı elemanının durabilitesini belirleyen etkenler arasında beton bileşimini oluşturan malzemelerin fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklanan iç etkiler ve çevreden kaynaklanan dış etkiler sayılabilir. Bazı durumlarda, beton bileşimini oluşturan malzemelerin kendi aralarında veya çevreden gelen zararlı maddelerle kimyasal reaksiyonlar yapabildiği, böylece yapının yada yapı elemanının hacim sabitliğinin bozulması nedeniyle zarar görebildiği bilinmektedir. Alkali-Silika Reaksiyonu, bu tür kimyasal bozulma nedenlerinden biridir (6).

1.2.2. Çimento

Öğütülmüş kalker ve diğer hammaddelerin belirli oranlarda karıştırılıp döner fırınlarda pişirildikten sonra elde edilen klinkerin, alçı taşı ve diğer katkılarla karıştırılıp öğütülmesiyle elde edilen toz halindeki bağlayıcıya çimento denir.

Çimento, su ile karıştırıldığında, hidratasyon reaksiyonları ve işlemleriyle priz alarak sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleştikten sonra dayanım ve kararlılığını su içerisinde bile sürdürebilen öğütülmüş inorganik malzemedir.(7)

Çimentonun beton içerisindeki işlevi; agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapmaktır (8).

Çimento birçok beton karışımında hacimce en küçük yeri işgal eden bileşendir; ancak beton bileşenleri içinde en önemlisidir. En çok kullanılan çimento tipleri Portland Kompoze Çimento, Katkılı Çimento, Cüruflu Çimento ve Sülfata Dayanıklı Çimento'dur, bunun dışında özel amaçlar için Beyaz Portland Çimentosu, ve diğer bazı tip çimentolar kullanılmaktadır.(9)

Betonarme yapılarda kullanımı en yaygın çimento, Portland Çimentosudur. Portland çimentosu belirli oranda kalkertaşı (CaO) ve kilin (SiO_2 ve Al_2O_3) karıştırılıp pişirilmesinden sonra klinkerde öğütülmesiyle elde edilir. Çimentonun sertleşmesini geciktirmek üzere klinkere bir miktar alçı taşı da eklenir. Bu tezin hazırlanmasında da CEM I 42,5R çimentosundan yararlanılmıştır (10).

Tablo 1.3. ENV 197-1'e Göre Çimento İçinde Bulunabilecek Maddeler (11)

ENV 197-1'e Göre Çimento İçinde Bulunabilecek Malzemeler

Malzeme	Kısaltma	Sınırlamalar	
PÇ Klinkleri	K	$C_3S + C_2S \geq \%66.7$ $CaO / SiO_2 \geq 2.0$ $MgO < \%5$	
Granüle Yüksek Fırın Cürufu	S	Camsı faz miktarı ≥ %66.7 $CaO + SiO_2 + MgO \geq \%66.7$ $(CaO + MgO) / SiO_2 > 1.0$	
Doğal Puzolan	P	Reaktif $SiO_2 \geq \%25$	
Endüstriyel Puzolan	Q		
Silisli Uçucu Kül	V	KK≤ %5 Reaktif CaO ≤%5 Reaktif $SiO_2 \geq \%25$	
Kireçli Uçucu Kül	W	%5 ≤ Reaktif CaO ≤ %15 Reaktif $SiO_2 \geq \%25$ KK≤ %5 Hacim Genleşmesi < 10mm	$\sigma_{28} \geq 10 N/mm^2$ Reaktif CaO ≥ %15 KK≤ %5 Hacim Genleşmesi < 10mm
Pişirilmiş Şeyl	T	$\sigma_{28} \geq 25 N/mm^2$ Hacim Genleşmesi < 10mm	
Kalker	L	CaCO3 ≥ %75 Kil Miktarı ≤ 1.2 g/100 g Organik madde miktarı ≤ %0.2	
Silis Dumanı	D	Amorf $SiO_2 \geq \%85$ KK ≤ %4 Özgül Yüzey (BET) ≥ $15 m^2/g$	
Minör İlave Bileşen	F		
Kalsiyum Sülfat			
Katkılar			

1.2.3. Karışım Suyu

Betonda kullanılan suyun hidratasyonu başlatıp sürdürmek ve betonun işlenebilirliğini sağlamak gibi iki önemli işlevi vardır.

Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değisik tuz v.b. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir. Karma suyunda aranan özellikler kısaca aşağıdaki gibidir.

- En iyisi içilecek sudur
- Su-asit reaksiyonu göstermemeli (ph>7 olmalı)
- Sülfat içermemeli ($BaCl_2$ damlatıldığında beyaz çökelek vermemeli)
- Şüpheli durumlarda karşılaştırmak için priz ve mukavemet deneyleri yapılmalı
- Zorunluluk halinde deniz suyu karma suyu olarak kullanılabilir ancak;
    - Donatının korozyon riskini oluşturur. Bu yüzden öngerilmeli beton yapılarda kullanılmamalı ve ayrıca sıcak iklimlerde kullanılmamalı
    - Alüminli çimentoyla kullanılmamalı
    - Yapının sürekli olarak rutubet tutmasına sebep olur
    - Beton yüzeyinde lekelenmelere neden olur
    - En son mukavemette %15'e kadar düşüşe neden olabilir
- Deniz suyu, kalıbına yerleşmiş betonun sulanmasında kullanılmamalıdır
- Karma suyu TS500 ve TS1247 de belirtilen kimyasal şartları sağlamalıdır (12).

1.2.4. Katkı Maddeleri

1.2.4.1. Kimyasal Katkı Maddeleri

Betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek amacıyla beton içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli kimyasallar katkı maddesi olarak adlandırılırlar. Katkı maddeleri çoğunlukla beton karışım suyuna katılır. Gereğinden fazla kullanıldığında aksi etkiler oluşturabileceği gibi yine gereğinden az kullanıldığı taktirde hiç bir faydası olmayabilir. Ancak şunun iyi bilinmesi gerekir ki kurallara uygun üretilmeyen bir betonun özelliklerini katkı maddeleri ile iyileştirmek mümkün değildir. Kurallarına uygun üretilen betonların da katkı maddeleri ile uyumu önceden yapılan deneylerle belirlenmelidir.

Beton üretiminde kullanılan kimyasal katkı maddeleri aşağıda belirtildiği şekilde gruplandırılır.

1.2.4.2. Su Azaltıcı- Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı Maddeleri

Bu guruba giren katkılar çoğunlukla çimento ağırlığının %0.2 -0.5 arası oranlarda kullanılır. Taze betonun işlenebilirliğini arttıran bu katkılar aynı zamanda beton karma suyu ihtiyacını azalttıklarından betonun dayanımını da arttırırlar.

1.2.4.3. Priz Süresini Değiştiren Katkılar

Taze betonun priz adı verilen sertleşme sürecinin bazı koşullarda hızlandırılması veya geciktirilmesi istenir. Özellikle yaz aylarında, uzun taşıma mesafelerinde priz geciktiriciler, kış aylarında ise priz hızlandırıcılar kullanılır.

1.2.4.4. Süperakışkanlaştırıcılar

Daha çok yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılan bu katkılarla betonun su/çimento oranını 0.25'lere düşürmek olanaklıdır. Ancak süper akışkanlaştırıcılar normal akışkanlaştırıcılara kıyasla %1-%3 gibi çok daha yüksek dozajlarda kullanılır.

1.2.4.5. Hava Sürükleyiciler

Soğuk iklim koşullarında donma-çözülme tehlikesine karşı koruyan bu maddeler, aynı zamanda betonun işlenebilirliğini arttırırlar

1.2.4.6. Antifrizler

Bu tip katkılar beton içindeki suyun donma sıcaklığını düşürerek suyun donmasını ve betonun çatlamasını engeller. Ancak soğuk hava şartlarında betona sadece antifiriz katkı ilave edilmesi kesin çözüm olmayıp döküm yerinde betonun korunması için özel önlemlerin alınması gereklidir.

1.2.4.7. Diğer Kimyasal Katkılar

Geçirimsiz beton, rötreyi önleyici, aderansı artırıcı, renklendirici, su tutucu, su geçirimsizlik vb... değişik kimyasal katkı maddeleri vardır.

1.2.4.8. Mineral Katkılar

Betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak amacıyla kullanılan ince malzemeler mineral katkı olarak adlandırılırlar. Bu katkıların betona ek dayanım kazandırma özelliği olduğu kadar, betonun durabilite (kalıcılık) anlamında da performansını arttırırlar. Tüm dünyada ve ülkemizde mineral katkılar zaman içinde her türlü fiziksel, kimyasal ve elektro-kimyasal dış etkilere karşı uzun ömürlü betonarme yapıların üretiminde portland çimentosu veya portland çimentosu klinkeri ile birlikte kullanılmaktadır.

1.2.4.9. Mineral Katkı Çeşitleri

- Silis dumanı
- Uçucu kül
- Yüksek fırın cürufu
- Tras (13)

1.3. Betonun Sınıflandırılması

1.3.1. Basınç Dayanım Sınıfları

Tablo 1.4. Basınç Dayanım Sınıfları

Basınç Dayanımı Sınıfı	**F_{ck}, silindir (N/mm2)**	**f_{ck}, küp (N/mm2)**
C 14	14	16
C 16	16	20
C 18	18	22
C 20	20	25
C 25	25	30
C 30	30	37
C 35	35	45
C 40	40	50
C 45	45	55
C 50	50	60
C 55	55	67
C 60	60	75
C 70	70	85
C 80	80	95
C 90	90	105
C 100	100	115

Betonun basınç mukavemeti standart kür koşullarında saklanmış (20 °C ±2°C kirece doygun su içerisinde), 28 günlük silindir (15 cm çap, 30 cm yükseklik) veya küp (15 cm kenarlı) numuneler üzerinde ölçülür.

Hazır betonda basınç dayanımı sınıfları, karşılığı silindir ve küp mukavemetleri tablo 1.4.'te özetlenmiştir (14).

1.3.2. Kıvam Sınıfları

Betonun işlenebilme özelliği kıvamı ile tayin edilebilmektedir. Kıvam, betonun kullanım yerine (kalıp geometrisi, demir sıklığı, eğim), betonu yerleştirme,

sıkıştırma, mastarlama imkanlarına ve işçiliğine, şantiyede beton iletim imkanlarına (pompa, kova) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. Hazır Beton Standardı TS EN 206' da beton kıvamı çökme, vebe, sıkıştırılabilme ve yayılma sınıflarına göre belirlenir. Çökme sınıfları S1, S2, S3, S4 ve S5 sembolleri ile tanımlanan bu kıvamlar çökme (slump) konisi deneyi ile ölçülmektedir.

Tablo 1.5. Kıvam Sınıfı- Çökme İlişkisi

Kıvam Sınıfı	Çökme (mm)
S1	10-40
S2	50-90
S3	100-150
S4	160-210
S5	>=220

1.3.3. Agrega En Büyük (Maksimum) Tane Büyüklüğü Sınıfları

TS EN 206-1' e göre agrega en büyük tane büyüklüğüne göre sınıflanırılır. Örneğin: $D_{en\ çok}$ 22 cm olan beton.Beton içinde kullanılacak en iri agrega tane büyüklüğünün kalıp en dar boyutu, döşeme derinliği, pas payı, en sık donatı aralığı gibi unsurlarla uyumlu biçimde, TS 500 de belirtilen şekilde seçilmesi gerekir.

Piyasada yaygın biçimde kullanılan hazır beton "2 No Agregalı "olandır. Çok sık donatılı veya ince kesitli elemanlarda bazı bilinçli müşteriler " 1 No Agregalı " hazır beton siparişi vermektedir (6).

Tablo 1.6. Agrega Tane Büyüklüğü Sınıfları

En Büyük Agraga Tane Büyüklüğü Sınıfı	**Dmax. (mm)**
D1 (1 No.lu)	12
D2 (2 No.lu)	22
D3 (3 No.lu)	32
D4 (4 No.lu)	

1.4. Betonda Aranan Özellikler

1.4.1. Taze Beton Özellikleri

1.4.1.1. İşlenebilme ve Kıvam

İşlenebilme; Taze betonun kolayca karılabilmesi, segregasyona uğramadan taşınabilmesi, pompalanabilirliği, kalıba yerleştirilebilmesi, sıkıştırabilirliği ve yüzeyinin düzeltilebilmesi betonun ne ölçüde işlenilebilir olduğunu göstermektedir. O nedenle, bu özelliklerin tümü,işlenebilme adı altında tek bir özellik olarak ifade edilmektedir. Betonda işlenebilme özelliği relatif bir özelliktir.

Kıvam; taze beton karışımının ıslaklık derecesi anlamına gelmektedir.Kıvamı çok yüksek olan bir taze beton, düşük kıvamdaki bir betona göre daha rahat karılabilmekte, pompalanabilmekte ve çoğu kez daha rahat yerleştirilebilmektedir. Ancak beton kıvamının çok yüksek olması betonun işlenebilirliğinin mutlaka yeterli olduğu anlamına gelmemektedir.

İşlenebilmeyi ve Kıvamı ölçme yöntemleri aşağıdaki gibidir;

1. Çökme Deneyi
2. Vebe Deneyi
3. Sıkıştırma Faktörü Deneyi
4. Akıcılık Deneyi (Sarsma Tablası Deneyi)

1.4.1.2. Segregasyon

Beton karışımı içerisinde yer alan malzemelerin homojen bir tarzda dağılmış olmaları ve betonun yeterli kohezyona sahip olması istenir. Beton teknolojisinde taze betonun içerisinde yer alan iri agrega ile çimento harcının herhangi bir nedenle ayrışma göstermesi segregasyon olarak adlandırılmaktadır.

1.4.1.3. Terleme

Taze betonun yerine yerleştirilmesinden hemen sonra, katı parçacıkların yer çekimi etkisiyle dibe doğru ve suyun yukarı doğru hareket etme eğilimi bulunmaktadır. Taze betonun üst yüzeyine kadar erişebilen bir miktar su, bazen çok sığ bir su birikintisi yaratıp buharlaşmakta, bazen de doğrudan doğruya buharlaşarak kaybolmaktadır. Beton üst yüzeyine erişemeyen bir miktar su da yüzeye yakın bir bölgede toplanmış

olmakta ve bu bölgenin su / çimento oranı yüksek ve dolayısı ile zayıf bir betondan oluşmuş olmasına yol açmaktadır.

Taze betonun içerisindeki suyun beton yüzeyine çıkma eğilimine " terleme " denilmektedir. Bu olay kanama, su alma veya kusma olarak da anılmaktadır.

1.4.1.4. Birim Ağılık

Taze betonunun birim ağırlığı, bir birim hacim içerinde yer alan taze betonun ağırlığıdır. Betonun birim ağırlığı, genellikle kg / m^3 veya ton / m^3 olarak ifade edilmektedir. Taze betonun birim ağırlığının düşük veya yüksek olması, betonu oluşturan malzemelerin özelliklerine, beton içerisinde yer alan boşluk miktarına ve de tasarlanmış beton karışımına bağlıdır. Özgül ağırlığı yüksek olan agregaların oluşturduğu betonun birim ağırlığı da yüksek olmaktadır. Öte yandan içerisinde çok hava boşluğu bulunduran betonunun birim ağırlığı da düşük olmaktadır.

1.4.1.5. Üniformite

Taze betonda " üniformite " aynılık, tamamen benzerlik anlamına gelmektedir. Kaliteli, standartlara uygun beton üretilebilmesi için malzeme özelliklerinin ve oranlarının doğru seçilmiş olmalarının yanı sıra , malzemelerin uygun yöntemlerle ve uygun tarzda bir araya getirilmeleri ve kırılmaları gerekmektedir. Bir beton karışımını oluşturacak miktardaki malzemelerin topluluğuna " beton malzemeleri harmanı " denilmektedir. Bir beton malzemeleri harmanını oluşturan malzemelerin karılması ile elde edilen belirli miktardaki taze betona ise " beton harmanı " ismi verilmektedir (15).

1.4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Yapının projelendirmesi aşamasında saptanan ve hizmet yüklerinin taşınması yeteneğini simgeleyen dayanımlar, kullanılarak betonun sınıfının belirleyici öğedir. Dayanım değimiyle çoğunlukla 28 günlük kazanılan değerler anlaşılır. Bununla birlikte erken priz ve erken kalıp sökme gibi uygulamalarda, genç dönemdeki direnç değerleri de önem kazanır. Yapıda kullanılacak olan betonun sahip olması gereken dayanım yanı sıra, dayanım kazanımında rol oynayan, ayrıca hizmet ömrü boyunca maruz kalacağı zorlamalara karşı görevini başarıyla sürdürmekte yardımcı olan doluluk, dayanıklılık, geçirimsizlik, elastiklik, ısıl genleşme, sünme ve büzülme gibi

özelliklerinin de şartname ve standartlarda ön görülen sınırlar dahilinde bulunması gerekmektedir.

1.4.2.1. Betonun Basınç Dayanımı

Betonu tanımlamada kullanılan önemli kavramların başında basınç dayanımı kavramı gelir. Betonlar karakteristik basınç dayanımına göre simge alıp sınıflandırılırlar. Bu değer TS 500'e göre "denenecek numunelerden bulunacak basınç dirençlerinin, bu değerden düşük olma olasılığının %10 olduğu değerdir". Basit anlatımla karakteristik dayanım 100 numuneden oluşan bir grupta 90 numunenin üzerinde kaldığı minimum dayanım değerdir. Beton sınıfları, karakteristik dirençleri ve eşdeğer küp dirençleri tablo 1.4 te gösterilmiştir.

- Betonda Basınç Mukavemetinin Önemi;

Yapıdaki beton çeşitli zorlamalara maruz kalmaktadır. Bu zorlamaların cinsine göre malzemenin çeşitli özelliklere sahip olması gerekir. Bu değişik özellikler birbirinden bağımsız değildir, aralarında yakın ilişkiler bulunur.

Betonun mekanik mukavemetleri arasında basınç mukavemeti değer bakımından en büyük olandır. Bu sebepten dolayı beton yapılarda daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılarak kullanılır. Betonun çekmeye karşı mukavemeti zayıf olduğundan betonarme yapı sistemi oluşturulmuştur. Bu yapı sisteminde, çekme gerilmelerini çelik armatürler almaktadır.

Bazı yapı çeşitlerinde ise beton basınç gerilmelerinden başka çekme, eğilme zorlamalarına maruz kalmaktadır. Bunların dışında beton sademe ve aşınma olaylarının etkisi altında da bulunabilir. Betonun basınç gerilmelerinden başka çekmeye, sademeye ve aşınmaya karşı yeterli mukavemete sahip olması gerekir.

- Basınç Mukavemetine Etki Eden Faktörler

Bu faktörlerin incelenme amacı basınç mukavemeti yüksek olan beton elde etmek için özellikle beton bileşiminin ne gibi kaidelere uyarak tayin edilmesi gerektiğini anlamaktır. Beton mukavemeti bileşimin dışında değişik birçok faktörün etkisi altındadır.

- Basınç mukavemetini etkileyen faktörler şunlardır:

  1.Çimento ile ilgili faktörler

  2.Su miktarı

  3.Betonun kompasitesi. (16)

1.4.2.2. Çekme Dayanım

Çekme kırılması sırasındaki beton numunenin uzaması yaklaşık 0,1 mm/m mertebesinde kalır. Bu uzamanın 2/3'nün elastik bölgede, 1/3'nün plastik bölgede oluştuğu saptanmıştır. Betonun çekmeye maruz bırakılması önlenmiş olduğundan çekme direnci betonun önemsiz bir karakteristiği olarak kabul edilmiştir. Ancak bu tür direnç bir çok nedenden dolayı üzerinde durulması gereken bir özelliktir. Bu nedenlerden en önemlileri aşağıda verilmiştir: Meydana gelen çatlakların önemli bir sebebi çekme direncinin yetersizliğidir. Çatlak oluşumu ise malzemenin dış etkilere karşı dayanıklılığını ve kimyasal direncini azaltan bir özellik olup betonun ömrünü önemli mertebede kısaltır.

1.4.2.3. Eğilme Dayanımı

Öncelikle çekme deneylerinin yapılmasında teknik zorunluluklarla karşılaşılır. Bu nedenle eğilmeye maruz kalan malzemenin durumu en güvenilir biçimde, doğrudan doğruya eğilme deneyi uygulanarak incelenir. Malzemenin tamamen gevrek cisim olduğu, ancak kırılma anına kadar Hooke Yasasına uygun davrandığı kabul edilir. Eğilme zorlanmasını oluşturan (M) eğilme momenti giderek artan tekil yükler olarak uygulandığında, (Mk) momentine erişildiği zaman kesit direncini kaybedecektir. Bu durumda (W) kesitin mukavemet momenti ise:

$$D_c = \frac{M_k}{W} \qquad (1.2.)$$

ifadesiyle hesaplanacak (Dc) karakteristiğine malzemenin eğilme direnci denir. TS 500 ve diğer yeni standartlarda eğilme direnci kavramı yer almamaktadır. Bununla birlikte özellikle yol ve hava meydanı pist kaplamalarının tasarımında betonun en az basınç direnci kadar "eğilme-çekme" direnci veya "kopma-kırılma modülü" kavramına gereksim duyulur.

1.4.2.4. Aşınma Direnci- Aşınmalara Karşı Direnç

Aşınma direnci: yüklü taşıt dingillerinin beton yüzeyde oluşturduğu aşınmaya abrasyon da denir. Betondaki aşınma direnci, doğrudan doğruya agrega tanelerini aşınmaya karşı dayanıklılıklarının fonksiyonudur. Çimento harcından daha sert agrega tanelerinin varlığı beton üzerindeki etkileri durdurur.Aşınmaya karşı direncin yeterli olabilmesi için:

- Kullanılan hidrolik bağlayıcının basınç direncinin ve inceliğnin yüksek olması,
- Bağlayıcı dozajının bütün agrega tanelerini tamamen saracak düzeyde saptanması,
- Aşınmaya dayanıklı sert agregaların kullanılması ve sertliğin agregada uniform biçimde dağılması gerekir.

Darbelere karşı direnç: darbelere karşı direnç tayini, beton döşeme ve plakların, ani tekil yüklere karşı davranışlarının değerlendirilmesinde geçerli olan bir kavramdır. Genel olarak darbeye dirençli betonun çekme direnci de yüksektir. Bu bakımdan çekme direncini arttıran önlemler betonun darbeye de dayanıklı olmasını sağlar.

1.4.2.5. Kompasite

Betonun birim hacimde yer alan çimento, kum ve iri agreganın gerçek (mutlak) hacimlerinin toplamına doluluk "kompasite" denir.

Doluluk yüzdesinin küçük olması, betonda su veya hava ile işgal edilmiş boşlukların çok olmasına kanıt oluşturur. Boşluk oranının büyük olmasının malzemenin direncini azalttığı bilinmektedir. Betonda bu olgu son derece belirgindir.

Bir karışımın doluluğunun yüksek olması, o karışımı oluşturan tanelerin granülometrik dağılımına bağlıdır. Betonun yüksek bir doluluğa sahip olabilmesi için granülometrik yönden aşağıdaki koşullar sağlanmalıdır:

- İri agrega olabildiğince fazla olanılıdır.
- Kum, iri agrega taneleri arasındaki toplam boşluğu dolduracak miktarda olmalıdır. Bu miktardan fazla veya eksik kullanılması doluluğu azaltır.
- İri agrega boyutları kum danelerinin boyutlarına göre ne kadar büyükse doluluk yüzdesi o denli büyük olur (17).

1.4.2.6. Betonun Dayanıklılığı

Beton, hizmet göreceği koşullara göre tasarlanmış ve iyi bir kalite kontrol sistemi içinde hazırlanmış, yerleştirilmiş ve bakılmış ise, uzun yıllar hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak, çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur. Dayanıklı bir beton bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenilen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısı ile, betonun dayanıklılığı mekanik yükler dışındaki kimyasal ve fiziksel etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir.

1.4.2.7. Betonun Geçirimliliği

Betonun dayanıklılığında tek başına en etkili olan parametre su/çimento oranıdır. S/Ç oranı arttıkça çimento hamurunun gözenekliliği ve dolayısı ile betonun geçirgenliği artar. Geçirgenliği yüksek olan betonlara zararlı sıvı ve gazların nüfuz etmesi çok daha kolaydır. Ayrıca, S/Ç oranı yüksek olan betonun dayanımı düşük olacağından, çeşitli kimyasal ve fiziksel etkilerle beton içinde meydana gelebilecek içsel gerilmelere yeterli direnç gösteremeyecek ve çatlayacaktır.

1.4.2.8. Çiçeklenme

Çiçeklenme suyun beton içinde hareketleri ile yüzeye getirilip biriktirildiği çeşitli tuzlar nedeni ile ortaya çıkan çoğunlukla beyaz renkteki leke ve akıntılardır. Çiçeklenme daha çok estetik bakımdan önemli olmakla birlikte, suyun beton içindeki hareketi sonucunda taşıdığı kalsiyum, potasyum sülfatlar ve karbonatların yüzeye çıkması ile bunların daha önce betonda işgal ettikleri yerlerin boşluk olarak kalmasına neden olması dolayısıyla, dayanıklılık açısından da önem arz eder.

1.4.2.9. Sülfat Etkisi

Gerek doğal sularda gerekse atık sularda çeşitli sülfatlar az veya çok miktarlarda bulunur. Bu sülfat iyonları betona nüfuz ederek burada çimentonun hidratasyonu ile elde edilen kalsiyum hidroksit (CH) ve kalsiyum aluminat hidratla (C-A-H) reaksiyona girerek, sırasıyla alçı ve etrinjit adı verilen ürünler oluşturur. Bu ürünlerin her ikisi de betonda genleşmelere ve dolayısı ile çatlama ve bozulmalara yol açarlar.
Sülfat etkisinin azaltılması için iki önlem türü bulunur. Bunlardan birincisi, çimentodaki C_3A miktarının azaltılması, ikincisi ise çimentonun hidratasyonu

sonucunda oluşan kalsiyum hidroksitin çeşitli mineral ve katkı içeren çimentolar kullanılarak azaltılmasıdır.

1.4.2.10. Karbonatlaşma Etkisi

Çimentonun hidratasyonuyla ortaya çıkan kalsiyum hidroksit ile havadaki karbon dioksit reaksiyona girerek kalsiyum karbonatı meydana getirir. Bu olaya karbonatlaşma adı verilir. Karbonatlaşmanın betona önemli bir etkisi yoktur. Ancak, alkalin bir madde olan betonun pH değerini 12-13'den 8-9'a düşürerek daha asidik bir ortam yaratır ve böylece beton içindeki donatıların paslanmasını kolaylaştırıcı bir olumsuz etki yaratır. Karbonatlaşmayı azaltmak için betonun geçirimsiz olması gerekir. Diğer bir önlem ise karbonatlaşmanın donatılara daha geç ulaşmasını sağlamak için pas payını arttırmak düşünülmelidir.

1.4.2.11. Deniz Suyu Etkisi

Deniz suyunun zararlı etkisi betonun bizzat kendisinden çok betonarme donatılarında meydana gelen paslanma nedeni ile kendini gösterir. Donatı paslanmasının iki sonucu bulunur: Donatı yüzeyinde oluşan pas orijinal donatı hacmine göre daha fazladır. Bu nedenle, genleşme ve betonda çatlamalara neden olur. Bu çatlamalar zararlı sular ve gazların beton içine nüfuz etmesini ve dolayısı ile paslanmayı hızlandırır. Paslanma nedeni ile donatı kesit alanında meydana gelen azalma donatıların yük taşıma kapasitesini düşürür. Donatı paslanmasını azaltabilmek için betonun geçirimliliğini azaltmak, paspayı kalınlığını arttırmak gibi önlemler alınabilir.

1.4.2.12. Alkali- Agrega Reaksiyonu

Amorf silisli yapıya sahip opal, çakmaktaşı gibi agregalarla çimento içindeki alkali oksitler (Na_2O ve K_2O) reaksiyona girerek alkali-silika jeli adı verilen bir ürün meydana getirirler. Alkali-silika jeli çok yüksek su emme kapasitesine sahiptir. Gerek beton içinden gerekse atmosferden emdiği rutubetle sürekli genleşir. Amorf silisli agregalarla alkali oksitlerin reaksiyonu çok yavaş gelişir. Dolayısıyla, beton sertleştikten sonra meydana gelen bu olay sonucunda genleşmeler içsel gerilmelere ve betonda çatlamalara yol açar.Alkali-agrega reaksiyonunun olumsuz etkilerini ortadan kaldırabilmek için betonda ya söz konusu zararlı agregaları kullanmamak

veya alkali miktarı düşük çimento kullanmak gerekir. Ayrıca, puzzolan içeren çimentolar da bu etkiyi azaltmakta yararlı olur (18).

1.5. Beton Basınç Dayanım Formülleri

Beton basınç dayanımının bileşimine dayanılarak tahmin edilmesinde kullanılan formüllerdir. Bileşimi belli olan bir betonun basınç dayanımın hesaplanması çok yararlıdır. Fakat bu dayanımla ilgili olarak matematiksel kesinlik taşıyan formüller bulunmamaktadır. Özellikle beton deneme amacı ile üretilmiş ve dayanımı saptanmışsa geliştirilen formüllerde bulunan katsayılar daha kesin değerler almakta ve gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir. Hemen hemen tüm formüllerde W/C oranı dikkate alınmaktadır. karışıma giren malzemelerin özellikleri ve oranları ile basınç mukavemeti arasında bir bağıntı mevcuttur.(19)

1.5.1. Graf Formülü

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} \times \left(\frac{Ç}{E}\right)^2 \quad \text{burada;} \qquad (1.3.)$$

f_c = Üretilecek betonun amaç mukavemetini, (N/mm^2)

f_{cc} = Çimentonun norm mukavemetini, (örneğin; PÇ42.5 için f_{cc}=42.5 N/mm^2'dir.)

K_G = Graf katsayısını, (4~10 N/mm^2 arasında bir değer alınır.)

Ç = Çimento miktarını, (Kg)

E = Su miktarını ifade etmektedir.

Graf formülü betonun basınç dayanımının C/E ile gösterilen çimento/su oranının karesi ile orantılı olduğunu kabul ediyor. K_G beton yaşından bağımsız olarak agreganın türüne betonun saklandığı ortam koşullarına ve çimento dozajına bağlıdır.

1.5.2. Bolomey Formülü

$$f_c = K_s\left(\frac{Ç}{E \times h} - 0.5\right) \quad \text{burada farklı olarak ;} \qquad (1.4.)$$

K_s = Bolomey katsayısını, (10~30 N/mm^2 arasında bir değer alınır.)

h = Hava miktarını, (10~35 dm^3 arasında bir değer alınır.)

Bolomey formülünde, basınç dayanımının C/W oranının doğrusal fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir. Bu formülde hava boşluğu etkisi de göz önüne alınmıştır.

1.5.3. Feret Formülü

$$f_c = K_F\left(\frac{C}{c+e+h}\right)^2 \quad \text{burada ;} \qquad (1.5.)$$

K_F = Feret katsayısını, (90~280 N/mm^2 arasında bir değer alınır.)

Paydadaki c+e+h ifadesi 1m^3 sıkıştırılmış betonda agregalar arasındaki toplam hacmi gösteriyor. Paydaki c ise bu hacimde çimento danelerinin kapladığı hacmi göstermektedir. Buna göre c/(c+e+h) oranı taze betonda çimento konsantrasyonuna karşı gelmektedir. Feret formülüne göre beton basınç dayanımı bu karışımın karesi ile onatılıdır.

Bağıntılarda küçük harf hacim, büyük harf ağırlıkları göstermektedir.

c = Hacim olarak çimento
C = Ağırlık olarak çimento miktarı
e = E Hacim = Ağırlık olarak su (20)

1.6. Betonda Elastisite Modülü

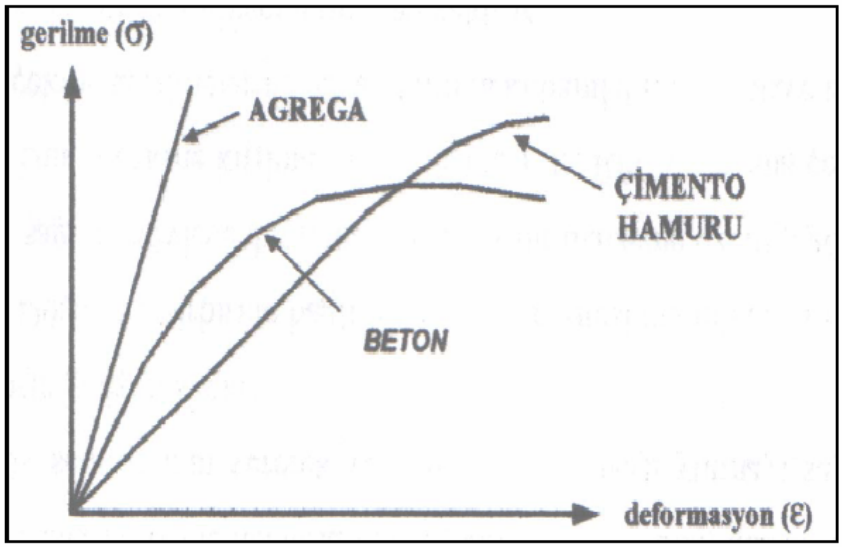
Elastisite modülü, cisimde oluşan gerilmenin boy değişimine oranıdır. Young Modülü diye adlandırılır.(16) Beton tam bir elastik malzeme olmadığından gerilme şekil değiştirme arasındaki oran sabit değildir. Betonu oluşturan agrega ve çimento hamurunun elastisite modülleri oldukça farklıdır. Betona uygulanan gerilmeye bu iki malzemenin farklı şekilde tepki vermesi, betonu yüksek gerilme mertebelerinde elastik olmayan bir davranışa itmektedir. Bu durum, betonun kompozit bir malzeme olmasının yanı sıra çimento hamuru ve agrega arasındaki bağa da bağlıdır. Basınç dayanımının %25-40'ından daha yüksek gerilmelerde beton elastik özelliğini kaybeder. Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi çok büyük gerilme seviyeleri göz önüne alınmadığı durumda betonu oluşturan bu iki temel malzemenin de (agrega ve çimento hamuru) gerilme-deformasyon diyagramlarının doğrusal olduğu söylenebilir. Araştırmalar, çimento hamuru ile agrega arasında aderanstaki düşüşün betonun elastik davranıştan uzaklaşmasına neden olduğunu göstermiştir. Öte yandan yüksek dayanımlı betonlar, elastik davranışa daha yakın davranış göstermektedir. Ayrıca agrega sertliğinin, çimento hamurunun sertliğine yakın olduğu durumda betonun elastik davranışa yaklaştığı bilinmektedir.

Elastisite modülü, basınç dayanımıyla doğrudan ilişkilidir. Basınç dayanımını etkileyen faktörlerin elastisite modülünü de benzer şekilde etkileyeceğini söylemek büyük oranda doğru bir yaklaşımdır. Su/Çimento oranı, iri agrega tip ve miktarı, betonun nem içeriği, ortam sıcaklığı ve deney sırasındaki yükleme hızı elastisite modülünü etkileyen faktörlerdir. Doğrusal ve elastik olmayan bir davranış gösteren betonun elastisite modülünü tanımlamak kolay değildir. Elastisite modülü, σ–ε eğrisinin eğimine eşit olduğuna göre gerilme mertebesine göre değişecektir. Literatürde betonun elastisite modülü ile ilgili çeşitli tanımlamalar yapılmıştır. Bunlardan bilinen üç tanesi aşağıda açıklanmıştır:

Başlangıç elastisite modülü, σ-ε eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimi olarak tanımlanabilir. İlk yükleme anındaki betonun tepkisi, ölçüm komparatöründe ani deformasyon artımlarına sebep olacağından, bu değeri dikkate almak doğru sonuçlara götürmeyebilir. Ancak beton çok düşük gerilmeler altında ise başlangıç modülü adı verilen Et ile gösterilen bu değer uygun sonuçlar verebilir. Tanjant modülü σ-ε eğrisinin herhangi bir noktasından çizilen teğetin eğimidir.

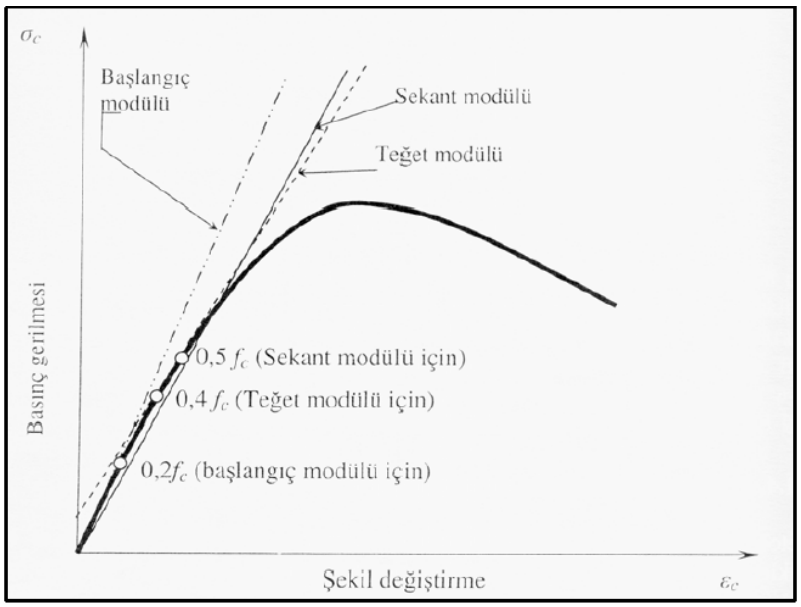
Uygulamada bu teğet yaklaşık olarak 0,4 fc gerilmesine karşıt gelen nokta esas alınarak çizilir. Sekant modülü orijinden σ-ε eğrisindeki herhangi bir noktasını koordinat merkezine birleştiren doğrunun eğimidir.

Üçüncü elastisite modulu Ed ile gösterilen dinamik elastisite modülüdür. σ-ε eğrisinin şekli gerilme hızına bağlı olduğundan, yükleme hızına bağlı olarak Et değişir. Hız artıkça Et büyük değerler alır. Yalnız Et nin bu şekilde artışının bir sınırı vardır. Gerilmenin artım hızı belirli bir değerin üzerine çıktığı zaman, elde edilecek σ-ε eğrileri hep başlangıçtaki doğruya teğet olacaktır. Bu karakteristik, bir başka değişle Et nin alabileceği en fazla değerdir. Genel olarak 2–4 dakika süren, bir deneyden elde edilen. σ-ε eğrisinin başlangıç teğetinin eğimi Ed dinamik elastisite modülü olarak kabul edilebilir. Bu modül gerilmenin büyüklüğüne ve gerilme artım hızına bağlı olmadığından, diğer elastisite modüllerine kıyasla daha güvenilirdir.



Şekil 1.3. Beton, agrega ve çimentonun tipik gerilme- deformasyon eğrileri

Başlangıç teğet modülü ve sekant modülü basınç deneyinde her zaman kolayca bulunmaz. Genellikle yüklemenin ilk aşamasında gerilme deformasyon eğrisinin başlangıcında konkavlığa neden olan bir deformasyon davranışı görülür. Böyle bir durumda kiriş modülü kullanılır. Elastisite modülü için daha güvenilir sonuç veren kiriş modülü yaklaşımında elastisite modülü, eğri üzerinden seçilen iki noktadan geçen doğrunun eğimi olarak kabul edilir (21).



Şekil 1.4. Beton için tanımlanan elastisite modülleri

1.6.1. Betonda Elastisite Modülünün Tayini

Elastisite modülü gerilme- deformasyon eğrisinin fonksiyonu saptanmışsa kolaylıkla tayin edilebilir. Bu saptanan fonksiyonun ε'a göre türevinin ε=0 için değeri elastisite modülünü verir (22).

Birçok standartta betonun elastisite modülünün saptanması için kiriş metodu önerilmektedir. Bu amaçla 150 x 300 mm silindir örnekler üzerinde 2,5 ±0,3 kg/cm2/sn sabit yükleme hızında basınç deneyi uygulanır. Deformasyonlar strengeyle ölçülür. Bu deneyden önce sünme etkisinin yok edilmesi ve strengeylerin sağlamak amacıyla en az iki (genelde üç)kez maksimum gerilme değerine kadar (dayanımın %40'ı) ön yükleme yapılması gereklidir. Birçok yönetmelikte elastisite modülü ile ilgili formülasyonlar bulunmaktadır. Formül 3.1, 3.2, 3.3, 3.4'de belirtilen bu formülasyonlarda formüllerin metrik veriler için de değerleri verilmiştir.

TS500'e göre normal betonlar için j günlük betonun elastisite modülü

$$Ecj = 3250(fckj)^{1/2} + 14000 \text{ (Mpa) metrik } 10270(fckj)^{1/2} + 14000 \qquad (1.6.)$$

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI318-95)

$$Ecj = w^{1,5}\, 1362(fckj)^{1/2} \text{ (Mpa)}$$

Normal Betonlar için,

ckj f = j günlük betonun silindir basýnç dayanýmý(MPa; metrik, kgf/cm2)

Ecj = j günlük betonun elastisite modülü (MPa)

Betonun basınç dayanımını ve ó-å ilişkisini etkileyen bütün değişkenler elastisite modülünü de etkiler. Bu nedenle beton gibi elastik ve doğrusal olmayan ve zamana bağlı deformasyonlar gösteren bir malzemenin elastisite modülünü doğru ve kesin olarak belirlemek olanaksızdır (21).

Bunun dışında betonun elastisite modülünü hesaplamakta kullanılan yaygın bağıntılardan bazıları kısaca aşağıda verilmiştir.

$$E = A' [f_b]^{B'} [\gamma_b/2400]^{1,5} = A' [f_b]^{B'} \text{ , (GPA)} \qquad (1.7)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada;

A’ = 9,5

B’ = 0,3

γ_b = betonun yoğunluğunu

f_b = betonun basınç dayanımını ifade etmektedir (23).

Ros Formülü; $E_d = 600000R_p / (200+R_p)$ (1.8)

Bu formülde R ve E kgf/cm2 cinsinden ifade edilmektedir. R_p kare kesitli yüksekliği 2a olan prizmatik beton numunelerinin basınç mukavemetidir.

L’Hermite Formülü; $E = K (R_s)^{1/2}$ (1.9)

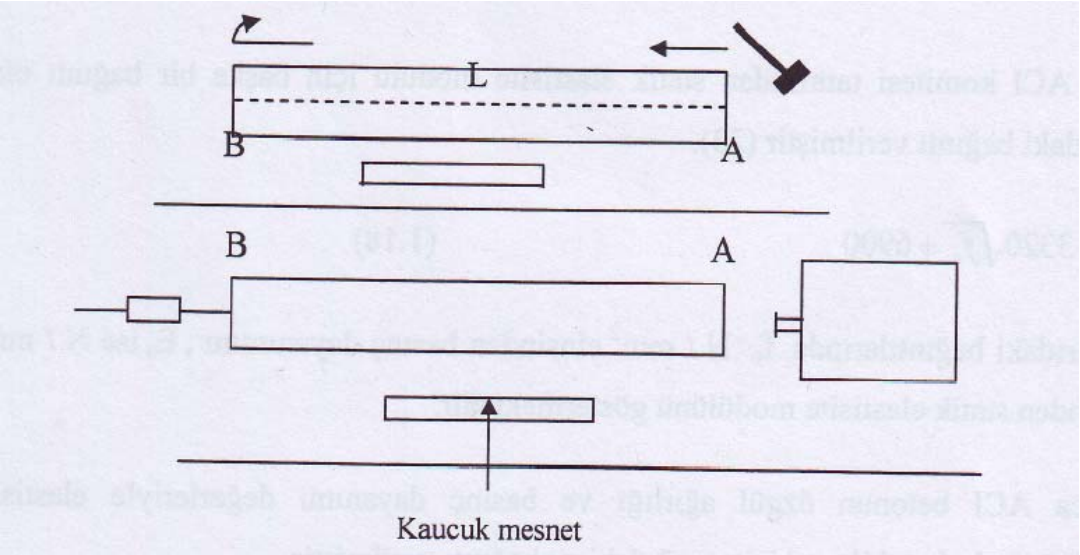
Burada da R_s kgf/cm^2 cinsinden alınacak ve E bulunacaktır. R_s çapı 15 cm yüksekliği 30 cm olan silindirin mukavemetidir(22).

1.6.2. Elastisite Modülünün Rezonans Frekansı Metodu ile Tayini

Rezonans frekansı metodu ile elastisite modülünün bulunması esnasında beton numunesi çok kritik gerilmeler ile karşı karşıya kalır. Bu nedenle bu gerilmeler altında oluşan deformasyonun, gerilme deformasyon eğrisinin o noktasındaki teğeti olan oA doğrusu boyunca oluştuğu kabul edilebilir. Bu son derece kritik gerilmeler altında betonun bünyesinde bir değişiklik meydana gelmez.

Kare kesitli beton prizma kauçuk bir mesnet üzerine yerleştirilir. Prizmanın uzunluğu kesit boyutunun 5 mislinden daha büyüktür. Boyle bir prizmanın A ucuna çekiçle vurulacak olursa meydana gelen gerilmenin oluşturduğu deformasyon dalga halinde bir'(v) hız ile numune boyunca ilerleyerek B ucuna varır.

B ucundan yansıyarak geri dönen deformasyon A’ya ulaşarak tekrar B’ye gelerek iki nokta arasında hareketine devam eder. Dalga A’ya ulaştığı zaman A noktasına ikinci bir darbe yapılırsa, iki etkinin bir araya gelmesi sebebiyle, B’de ölçülen deformasyon miktarında bir artış olur.



Şekil 1.5. Rezonans Frekansı Metodu Deney Düzeneği

Bu şekilde belirli zamanlarda A ucuna darbelerin yapılması sonucunda B noktasındaki titreşim maksimum hale gelmiş olur.

Bu durumda prizma rezonans haldedir. B'deki tesir maksimum olduğu zaman A noktasına yaptığımız birbirini izleyen iki darbe arasında geçen zaman (t_1) ve prizmanın da uzunluğu (L) ise şu denklemi yazmak mümkün olur.

$$t_1 = 2L / V \qquad (1.10.)$$

A noktasına yapılan titreşimin frekansı (f) ise (t_1) ile (f) arasında şu bağıntı vardır.

$$t_1 \times f = 1 \qquad (1.11)$$

Pratikte ölçüler Şekil 1.5.'e göre yapılır. Beton prizmasının A ucuna bir hoparlör hava payı bırakılarak yüksek frekansla çalıştırılması ile titreşim başlatılır. Bu titreşim aradaki hava tabakası vasıtasıyla betona gönderilir. Numunenin B ucuna tespit edilen bir alıcı ile numunenin titreşimi tayin edilir. Frekansın değiştirilerek B'deki titreşimin genliğinin maksimum olması sağlanır. Bu durumda frekans (f_1) ise deformasyon dalgasının malzeme içindeki hızı;

$$V = 2Lf_1 \qquad (1.12)$$

Burada geçiş hızı (V) ile (E) arasında;

$$E = V^2\Delta/g \quad (1.13)$$

bağıntısı vardır. Bu formülde Δ malzemenin birim ağırlığını, g yerçekimi ivmesini göstermektedir. V km/sn, Δ kg/lt cinsinden yerine konulunca E'nin kg/cm^2 cinsinden aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$E = 10^5V^2\Delta/g \quad (1.14.)$$

1.6.3. Elastisite Modülünün Ultrases Hızı Yardımı ile Ölçülmesi

1.6.3.1. Ultrasesin Genel Özellikleri

Bilindiği gibi titreşim frekansı 20 K hz'den fazla olan ses dalgalarına ultrases denir. Malzeme testinde kullanılan ultrases, pizzo-elektrik metodu ile elde edilmektedir. Bu metodun esası kuartz kristal dilimini bir alternatif akım alanına yerleştirmektir. Bu durumda kuartz kristali, sahip olduğu bir özellik sayesinde sabit bir frekansa titreşir. Eğer elektriksel alanın frekansı kuartzın titreşim frekansına eşitse rezonans hali meydana gelir. Bu durumda insan kulağının duyabileceği titreşim frekansı 16-16000 Hz arasında bulunmaktadır. 16000 üzerine çıkıldığında kulakta duyulmayan ve ultrses denilen ses dalgaları oluşur.

Bu dalgalar boşlukta yayılmazlar. Ancak katı sıvı veya gaz halde bulunan bir cismin içinde belirli bir V hızında yayılırlar.

Ultrases dalgalarının çapı d olan disk şeklinde bir elemandır. Bu kaynaktan çıkan f frekansına sahip ultrases dalgalarının meydana getireceği enerjinin %90'nı yarı açısı θ olan bit koniğin içine koyuyoruz.

$$\text{Sin } \theta = 1.22 / d.f \quad (1.15.)$$

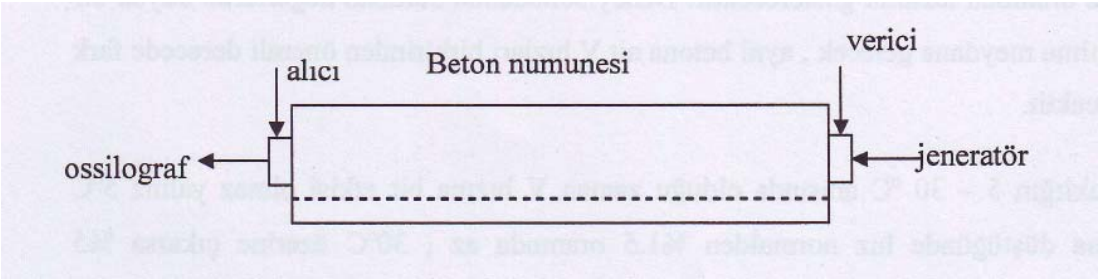
Açığa çıkan enerjinin dağılmaması ve toplanabilmesi için θ 'nın küçük olması gerekir. Yani frekansın büyük olması gerekmektedir.

Ultrases dalgaları ses dalgalarının özelliklerine sahiptirler. Bu dalgalar yansırlar, kırılırlar ve difraksiyon olayına maruz kalabilirler. Bu dalgalar üzerine, aynen ışık dalgalarına ait belli başlı kanunları uygulamak mümkündür.

Ultrases demetinde üç çeşit dalga bulunmaktadır. Boyuna dalga, sesin ilerleme doğrultusunda bulunur. Enine dalgalar sesin yayılma doğrultusuna dik düzlemlerde bulunurlar. Üçüncü tip dalgalar cismin yüzeyini takip eden dalgalardır.

1.6.3.2. Cisimde Ses Hızı Tayini

Prizma şeklinde, L uzunluğundaki bir beton numunesinin bir ucuna ultrases üreten prob, diğer ucuna da bu sesleri toplayan prob altına gress sürülerek gerçekleştirilir.



Şekil 1.6. Ultrases Hızı Tayini Deney Düzeneği

Prob tarafından oluşturulan dalgalar bir ossilografa nakledilerek sesin A'dan B'ye ulaşması için geçen zaman saniyenin milyonda biri yani mikro saniye cinsinden tayin edilir. Sesin A'dan B'ye bir t süresinde ulaştığı bulunduktan sonra yayılma hızı;

$$V = L / t \qquad (1.16.)$$

V bulunduktan sonra prizmatik çubuk halinde E;

$$E = k\ 10^{-5} V^{2}\ \Delta / 9{,}81 \qquad (1.17.)$$

V km / sn cinsinden ultrases hızı Δ kg / dm^3 cinsinden betonun birim ağırlığı olmak üzere kgf / cm^2 boyutundaki dinamik elastisite modülü bulunur. k katsayısı ses hızı prizma şeklinde olan beton numunesinde hesaplanması halinde 1'e eşittir.

1.6.3.3. Ultrases Hızını Etkileyen Faktörler

Ultrases deneyi ile bulunan hız malzemenin cinsine ve bünyesine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle ses dalgalarının karşısına bir boşluk çıktığında dalga oradan geçemez ve etrafından dolaşır. Böylece geçiş süresi uzamış olur. Hızı azaltır. Bu sayede beton ve doğal taş gibi boşluklu malzemelerdeki ses hızı bize bu malzemelerin boşlukları hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Bu hızın çok düşük olması o malzemenin çok boşluklu olduğunu gösterir.

Cismin yapısında bir değişiklik olmadıkça, cisme bir gerilmenin etkilemesi veya etkilememesi halinde bulunan ses hızları birbirinden fark etmez. Gerilmenin etkisiyle çatlakların gelişmesiyle meydana gelen yapı değişikliği ses hızının düşmesine sebep olur (24).

1.6.4. Elastisite Modülünün İyileştirilmesi

Betonun elastisite modülü ya agrega ya da beton sınıfı ile değiştirilebilir. Elastisite modülünün %20 arttırmak için dayanım sınıfını 3 sınıf arttırmak gerekmektedir. Bu maliyeti agreganın değiştirilmesiyle karşılaştırarak değerlendirmek gerekir. Yüksek elastisite modülü olan agrega kullanımı betonun elastisite modülünü arttırır. Fakat daha düşük dayanımlı betonlarda bu artış daha az olur. Pasta miktarının artışı yüksek dayanımlı betonlarda elastisite modülünü arttırır.

Betonun poisson oranı $\mu c=0,2$ olarak kabul edilir. Poisson: Dikey eksendeki elastik bölgede yanal şekil değiştirmenin boyuna şekil değiştirmeye oranı. Beton için genelde 0.2 oranındadır. Metallerde 0.25 civarındadır. (25)

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Amaç;

Bu deneyde, maksimum agrega dane boyutunun beton elastisite modulünü nasıl etkilediğini inceliyoruz.

Bu bölümde, beton üretiminde kullanılan malzemelerin özellikleri ve bu malzemeler ile ürelitilen beton numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışmalar açıklanmıştır.

2.1. Kullanılan Malzemeler ve Özellikleri

2.1.1. Kullanılan Agregalar

Bu çalışmada beton yapıpmında Silivri yöresine ait kırma kum, kırmataş 1, kırmataş 2, ve kırmataş 3 olarak 3 ayrı cins agregadan yararlanılmıştır. Aşağıda bu agregaların özellikleri yer almaktadır.

2.1.1.1. Kırma Kum

Bu çalışmada üretilen betonda ince daneli malzeme olarak kırma kum kullanılmıştır. Granülometri deneyi sonucu Tablo 2.1.'de verilmiştir.

2.1.1.2. Kırmataş 1

Yine bu çalışmada üretilen betonda kırmataş 1 malzemesinden yararlanılmıştır. Granülometri sonuçları aşağıda verilmiştir.

2.1.1.3. Kırmataş 2

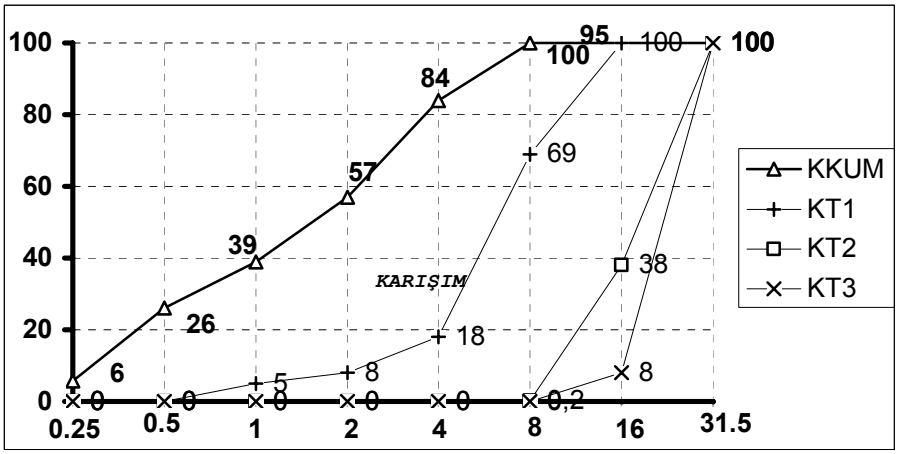
Hazırlanan betonların bir kısmında iri daneli agrega olarak kırmataş 2 malzemesinden yararlanılmıştır. Granülometri deney sonuçları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

2.1.1.4. Kırmataş 3

31,5 mm'lik granülometri karışımına göre hazırlanan betonda kırmataş 3 malzemesi kullanılmıştır. Granülometri deney sonuçları Tablo 2.1.'de verilmiştir.

K Kum	*5,7*	*26*	*39*	*57*	*84*	*100*	*100*	*100*
KTAŞ1	*0*	*0*	*5*	*8*	*18*	*69*	*100*	*100*
KTAŞ2	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0,2*	*38*	*100*
KTAŞ3	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*8*	*100*

Tablo2.1. Agregaların Granülometri Değerleri



Şekil 2.1. Agregaların Granülometri Eğrileri

2.1.2. Kullanılan Çimentonun Özellikleri

Beton numuneleri hazırlanırken PÇ 42,5 çimento kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Tablo 2.6.'da ve 2.7. 'de verilmiştir.

Tablo 2.2. Çimentonun Basınç Dayanım Sonuçları

GÜN	BASINÇ DAYANIMI ($N/mm^{2)}$
1	13,8
7	40,1
28	54,0

Tablo 2.3. Çimentonun Fiziksel, Kimyasal ve Mekanik Özellikleri

						Priz Süresi		
			2 günlük N/mm2	**7 günlük N/mm2**	**28 günlük N/mm2**	**Başlangıç (saat)**	**Son (saat)**	**Blaine (Özgül Yüzey) cm2/g**
CEM I 42,5R	**Portland Çimento**		27,5	42,0	52,1	02:28	03:08	3554
		TS EN 197-1 Standart (min.)	20,0	31,5	min.42,5 max. 62,5	1 saat	10 saat(max.)	-

2.1.4. Karışım Suyu

Beton numunelerin üretiminde şehir şebeke suyu kullanılmasında bir sakınca görülmemiştir.

2.1.5. Akışkanlaştırıcılar

Beton numunelerin üretiminde; midrage, süper akışkanlaştırıcı ve hiper akışkanlaştırıcı olmak üzere 3 ayrı akışkanlaştırıcıdan yararlanılmıştır.

2.2. Karışım Agregaları Granülometri Eğrileri

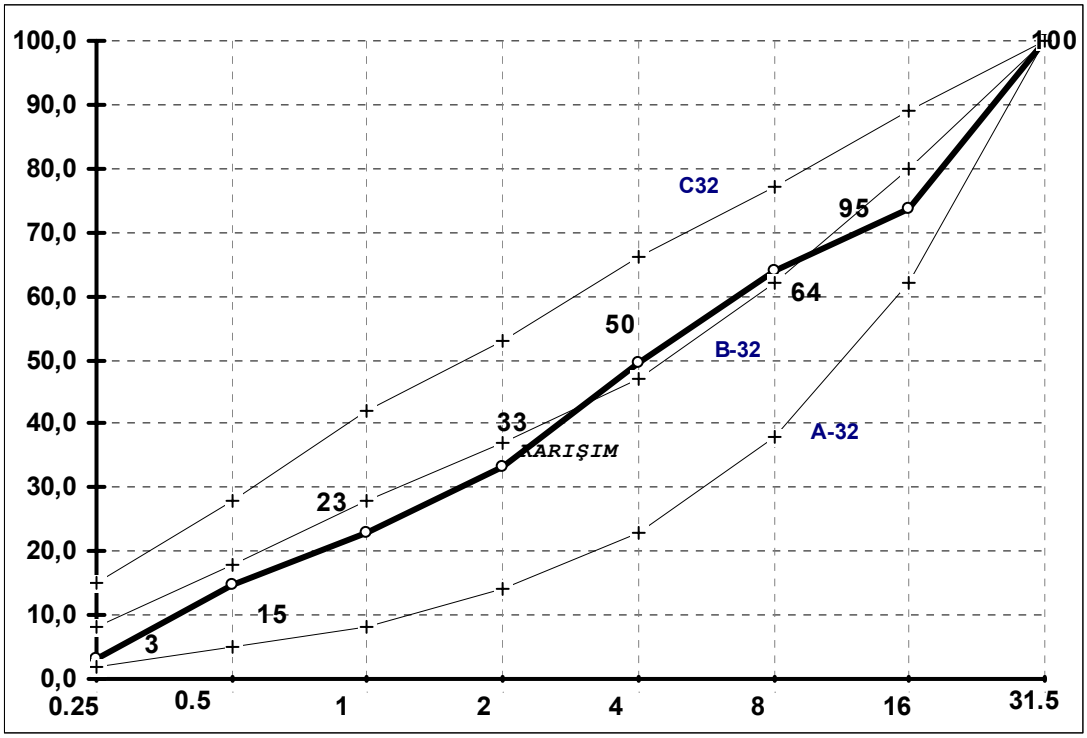
Bu çalışmada hazırlanan ve sırasıyla B32, B16, B8 ve B4 eğrileri ile yakın granülometri eğrisine sahip agrega karışımlarının karışım oranları grafikleri aşağıda verilmiştir.

2.2.1. Maksimum Dane Boyutu 31,5 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi

Maksimum dane boyutu 31,5 mm olan karışımın karışım oranları ve granülometri eğrisi aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.4. Elek Analizi Maksimum 31.5 mm

ELEK/İSİM	*0.25*	*0.5*	*1*	*2*	*4*	*8*	*16*	*31.5*	*KA %*
K Kum	5,7	26	39	57	84	100	100	100	57,0
KTAŞ 1	0	0	5	8	18	69	100	100	10,0
K TAŞ 2	0	0	0	0	0	0,2	38	100	13,0
K TAŞ 3	0	0	0	0	0	0	8	100	20,0
C32	15	28	42	53	66	77	89	100	
B32	8	18	27	37	47	67	80	100	
A32	2	5	8	14	23	38	62	100	



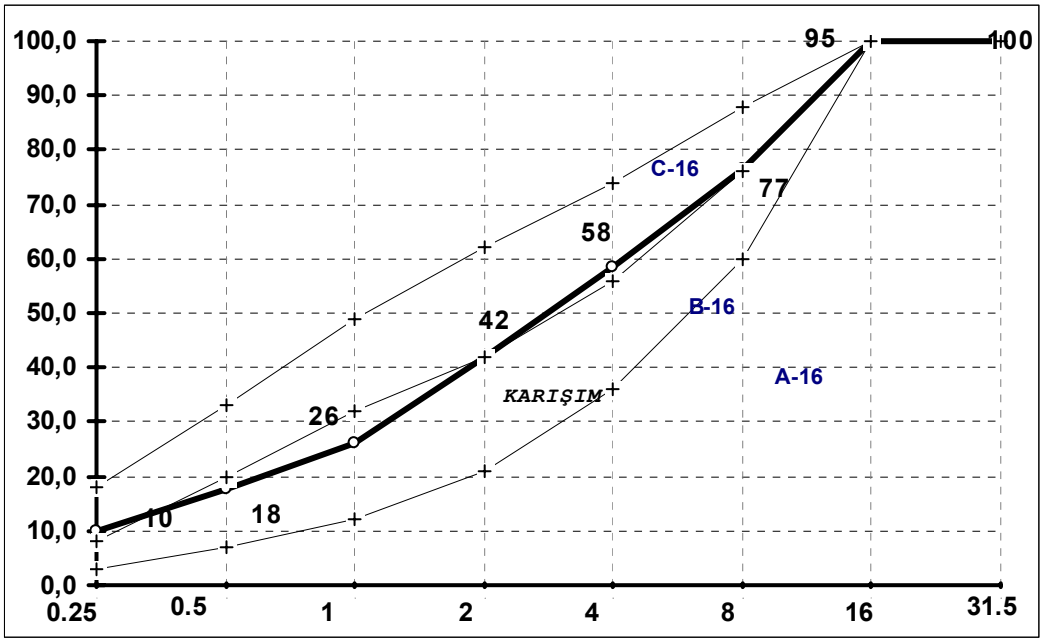
Şekil 2.2. Elek Analizi Maksimum 31,5 mm

2.2.2. Maksimum Dane Boyutu 16 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi

Maksimum dane boyutu 16 mm olan karışımın karışım oranları ve granülometri eğrisi aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.5. Elek Analizi Maksimum 16 mm

ELEK/İSİM	*0.25*	*0.5*	*1*	*2*	*4*	*8*	*16*	*31.5*	*KA %*
K Kum	15	27	40	64	89	100	100	100	65,0
KTAŞ 1	0,5	0,6	0,7	1	3	58	100	100	20,0
K TAŞ 2	0	0	0	0	0	0	100	100	15,0
C16	18	33	49	62	74	88	100	100	
B16	8	20	32	42	56	76	100	100	
A16	3	7	12	21	36	60	100	100	



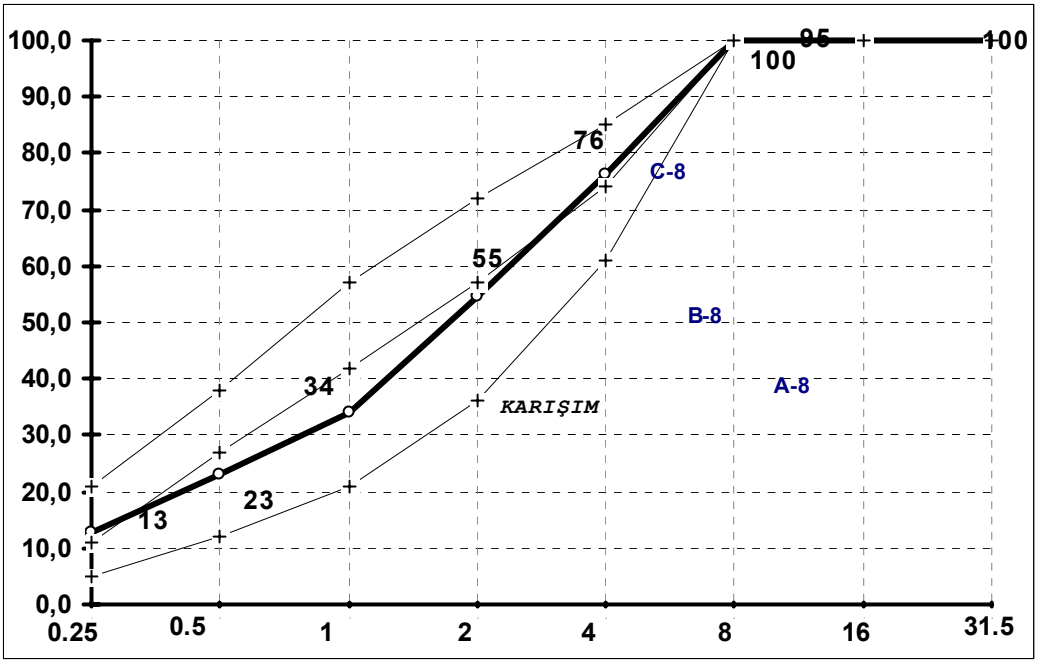
Şekil 2.3. Elek Analizi Maksimum 16 mm

2.2.3. Maksimum Dane Boyutu 8 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi

Maksimum dane boyutu 8 mm olan karışımın karışım oranları ve granülometri eğrisi aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.6. Elek Analizi Maksimum 8 mm

ELEK/İSİM	*0.25*	*0.5*	*1*	*2*	*4*	*8*	*16*	*31.5*	*KA %*
K Kum	*15*	*27*	*40*	*64*	*89*	*100*	*100*	*100*	85,0
KTAŞ 1	*0*	*0*	*0*	*1*	*5*	*100*	*100*	*100*	15,0
K TAŞ 2	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*100*	*100*	0,0
C8	21	38	57	72	85	100	100	100	
B8	11	27	42	57	74	100	100	100	
A8	5	12	21	36	61	100	100	100	



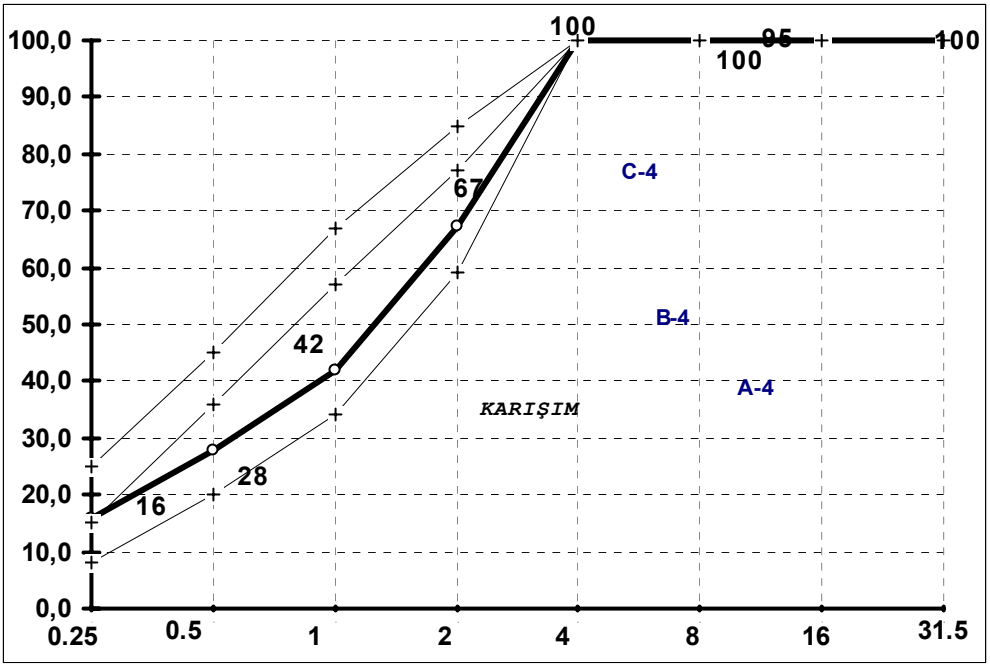
Şekil 2.4. Elek Analizi Maksimum 8 mm

2.2.4. Maksimum Dane Boyutu 4 mm Olan Karışım Granülometri Eğrisi

Maksimum dane boyutu 4 mm olan karışımın karışım oranları ve granülometri eğrisi aşağıda verilmiştir.

Tablo 2.7. Elek Analizi Maksimum 4 mm

ELEK/İSİM	*0.25*	*0.5*	*1*	*2*	*4*	*8*	*16*	*31.5*	*KA %*
K Kum	17	30	45	72	100	100	100	100	93,0
KTAŞ 1	0	0	0	2	100	100	100	100	7,0
K TAŞ 2	0	0	0	0	0	0	100	100	0,0
C4	25	45	67	85	100	100	100	100	
B4	15	36	57	77	100	100	100	100	
A4	8	20	34	59	100	100	100	100	



Şekil 2.5. Elek Analizi Maksimum 4 mm

2.3. Beton Karışımları

İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuarında, her granülometri karışımdan 4 farklı seri beton üretimi olmak üzere toplam 16 parti beton üretimi yapılmıştır. Her seride farklı su/çimento oranı ile değişik mukavemetler verecek beton üretilmeye çalışılmıştır. Yapılan tüm beton serilerinde karışımların granülometri eğrilerinin sırasıyla B32, B16, B8 ve B4 eğrilerine yakın olmasına dikkat edilmiştir.

Kodlamalar yapılırken birinci rakam 1 m^3 beton içerisinde yer alan çimento miktarını, ikinci rakam su/çimento oranını, son rakam katkı oranını ve son harf ise katkının cinsini ifade etmektedir.

Üretilen betonların çimento miktarları, su miktarları, katkı oranları ve su/çimento oranları Tablo 2.8. 'de verilmiştir.

Tabloda kullanılan ve katkının cinsini veren kısaltmalar;

N : Normal Akışkanlaştırıcı
S : Süper Akışkanlaştırıcı
H : Hiper Akışkanlaştırıcı
olarak yer almaktadır.
Ayrıca tabloda, beton yapımında kullanılan katkının çimento miktarına olan oranı yüzde olarak verilmiştir.

Tablo 2.8 .Üretilen Betonun Kodlanması

BETON KODU	**Çimento (kg/m^3)**	**Su (kg/m^3)**	**w/c**	**Katkı Oranı (%)**
C131-2,19-0,6N (16 m)	130,9	287	2,19	0,6
C130-1,65-0,6N (16 mm)	130,2	215,4	1,65	0,6

C174-1,39-0,6N (16 mm)	174,3	244	1,39	0,6
C246-0,57-2,1H (16 mm)	246,4	142,1	0,57	2,1
C125-2,19-0,6N (8 mm)	125,4	275,1	2,19	0,6
C171-1,39-0,6N (8 mm)	171,1	239,5	1,39	0,6
C218-0,8-2S (8 mm)	218,6	178,9	0,81	2,0
C292-0,46-2,5H (8 mm)	292,6	136,6	0,46	2,5
C125-2,23-0,6N (31,5 mm)	125,8	280,7	2,23	0,6
C171-1,42-0,6N (31,5 mm)	171,0	244,3	1,42	0,6
C209-0,8-2S (31,5 mm)	209,7	181,1	0,86	2,0
C287-0,50-2,5H (31,5 mm)	287,3	143,6	0,50	2,5
C124-2,23-0,6N (4 mm)	124,6	278,0	2,23	0,6
C170-1,43-0,6N (4 mm)	170,5	243,6	1,43	0,6
C214-0,86-2S (4	214,6	185,3	0,86	2,0

mm)				
C290-0,50-2,5H (4 mm)	290,4	145,2	0,50	2,5

2.4. Beton Üretimi

Beton üretimi 50 dm^3 kapasiteli, düşey eksenli cebri karıştırıcılı betonyerde yapılmıştır.

- Malzemenin daha iyi karıştırılabilmesi için kum, kaba agrega ve çimento betonyere konulup kuru karışım yapılmıştır.
- Karma suyun yarısına yakını kuru karışıma eklenmiş ve karıştırılmaya devam edilmiştir.
- Kalan suya akışkanlaştırıcı eklenip karışımın içine eklenmiştir.
- Birim ağırlık deneyi yapılmıştır.
- Elde edilen beton vibre edilerek kalıplara yerleştirilmiştir.

Her karışımdan boyutları 150x150x150 mm olan beş adet küpe ve çapı 150 mm yüksekliği 300 mm olan beş silindire yerleştirilerek her üretimden toplam 10 adet numune üretilmiştir. Beton numuneleri bir gün sonra kalıptan çıkarılmış 20 °C' deki kür havuzunda 27 gün süreyle bekletilmiş 28. günde çıkartılarak başlık yapılmış başlığında mukavemetini alması için 10 gün süreyle bekletilmiştir.

2.5. Taze Beton Deneyleri

Taze betonda aşağıda açıklandığı gibi çökme ve birim ağırlık denyleri yapılmış betonun hava miktarı, kompasitesi hesaplanmıştır.

2.5.1. Birim Ağırlık

Üretilen betonların gerçek malzeme miktarlarını hesaplayabilmek için betonda birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Bu deneyde 8 lt 'lik birim ağırlık kabı kullanılmıştır.Bu kaba beton vibre edilerek yerleştirilmiş, tartılmış ve tartım sonucunda çıkan ağırlıktan kabın darası düşülmüş, kabın hacminde bölünerek birim ağırlık. bulunmuştur.

2.5.2. Çökme Deneyi

Taze betonda işlenebilmein ölçülmesi amacıyla Abrams çökme konisi ile çökme deneyi yapılmıştır. Çökme deneyinde üst çapı 10 cm, alt çapı 20 cm ve yüksekliği 30 cm olan bir kesik koni içine eşit yükseklikte 3 tabaka halinde beton doldurulur. Her tabaka doldurulduktan sonra 25 defa çelik çubuk ile şişlenerek malzemenin yerleşmesi sağlanır. Koni tamamen doldurulduktan sonra üstü mala ile düzlenir ve doldurulan beton sarsılmadan kesik koni kalıp yukarı doğru çekilir. Çökme miktarı kesik koninin üst kenarı ile yayılan betonun üstünde oluşan en yüksek, orta ve en düşük yükseklikler alınarak çökme miktarı bulunur.

Çökme miktarının fazla olması betonun kendi ağırlığı altındaki hareket etme kabiliyetinin büyük olduğunu gösterir. Bu bakımdan çökme miktarı ne kadar fazla ise işlenebilme özelliğinin derecesi de o kadar yüksek olur.

Bu deney metodu ile işlenebilme özelliği tam olarak ölçülemez. Su miktarındaki değişiklik çökmenin farklı değerler almasına sebep olur. Su miktarının çok az olduğu ancak kuvvetli vibrasyonla yerleşebilen betonlarda çökme sıfır çıkar. Çökme miktarı ne kadar fazla ise bu betonun kendi ağırlığı altında o kadar büyük bir hareket etme kabiliyetine sahip olduğu söylenebilir.

Elde edilen çökme miktarları, bu karakteristiğe etki eden karma suyu miktarı dışında, başka faktörlerin de etkisi altında bulunmaktadır. Bu da iri agrega tanelerinin biçimidir. İri agreganın kırmataş tanelerinden veya köşeli tanelerden oluşması halinde taze beton, meydana gelen kenetlenme betonun daha az çökmesine sebep olur. Buna karşılık iri agrega taneleri çakıl veya yuvarlak yüzeyli taneler şeklinde ise bu kenetlenme gerçekleşmeyecek ve çökme daha büyük bir değer alacaktır. Ayrıca agrega granülometrisi da etkili bir rol oynar (22). Tane boyutu küçüldükçe aynı dozajda bir betondan iri malzeme ile üretilmiş beton ile aynı çökme istendiğinde şu miktarının artırması veya akışkanlaştırıcı kullanılması gerekir ki bu da mukavemetin azalmasına sebebiyet verir. Taze beton deneyi sonuçları Tablo 2.9‘da verilmşitir.

2.6. Sertleşmiş Beton Deneyleri

2.6.1. Basınç Deneyi

Basınç deneylerinde 250 ton kapasiteli Amsler marka basınç presi kullanılmıştır. Bu deney hem küp hem de silindir numuneleri için yapılmıştır. Küp ve silindir numuneler kalıptan çıkarıldıktan sonra kür havuzunda 27 gün bekletilmiş, 27. gün sonunda çıkartılıp başlık yapılmıştır. Başlıkların da mukavemetini kazanması için 38. günde basınç deneyleri yapılmıştır.

Boyutları 150x150x150 mm olan küp numuneler tartıldıktan sonra sabit yükleme hızı altında pres ile yüklenmiş ve maksimum dayanımı kaydedilmiştir. Her biir beton serisinden 4 adet numune kırılmıştır.

150 mm çapında 300 mm yüksekliğinde silindir nuunelerde düşey yer değiştirmeyi de ölçmek için strane gauge takılmış ve yükleme esnasında belli aralıklarla komprator yardımıyla belli yükler altında oluşan düşey şekil değiştirmeler okunmuştur. Bu okunan değerler elastisite modğlğ hesabında kullanılmıştır.

2.6.2. Ultrases Deneyi

Ultrases hızı ölçümü basınç deneyinden önce yapılmıştır. Bu deneyde tüm numunelerin boyları ölçülmüş, karşılıklı yüzeyleri üzerine gres yağı sürülüp numune ses alıcı ve verici problar arasına yerleştirilmiştir. Sesin numune boyunca geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Boşluğu fazla olan başka bir deyişle su/çimento oranı fazla olan betonlardan sesin daha yavaş geçtiği saptanmıştır.

2.7. Taze Beton Deney Sonuçları

Tablo 2.9. Taze Beton Deneyi Sonuçları

BETON KODU	Birim Ağırlık (kg/m^3)	Çökme (cm)	Hava (%)	Kompasite (m^3/m^3)
C131-2,19-	2246	Yayıldı	3,2	0,765

0,6N (16 mm)				
C130-1,65-0,6N (16 mm)	2266	15	3,1	0,772
C174-1,39-0,6N (16 mm)	2281	17	1,0	0,785
C246-0,57-2,1H (16 mm)	2334	8	5,8	0,822
C125-2,19-0,6N (8 mm)	2140	Yayıldı	3,7	0,697
C171-1,39-0,6N (8 mm)	2238	11	2,7	0,744
C218-0,8-2S (8 mm)	2388	17	1,1	0,788
C292-0,46-2,5H (8 mm)	2421	2	2,9	0,824
C125-2,2-0,6N (31,5 mm)	2217	Yayıldı	3,8	0,698
C171-1,4-0,6N (31,5 mm)	2241	Yayıldı	2,6	0,741
C209-0,8-2S (31,5 mm)	2287	Yayıldı	5,2	0,784
C287-0,5-2,5H (31,5 mm)	2377	17	4,5	0,823
C124-2,23-0,6N (4 mm)	2116	Yayıldı	4,4	0,699
C170-1,43-0,6N (4 mm)	2227	15	2,7	0,743

C214-0,86-2S (4 mm)	2329	11	2,8	0,784
C290-0,50-2,5H (4 mm)	2387	8	3,5	0,824

Taze beton deneyi sonucunda üretilen beton numunelerinin gerçek birleşim değerleri bulunmuştur. Üretilen betonların karışıma giren gerçek miktarları Tablo 2.10'da gösterilmiştir.

Tablo 2.10 Üretilen Betonların Karışımına Giren Gerçek Malzeme Miktarları

BETON KODU	**C (kg)**	**Su (kg)**	**Kum (kg)**	**KT1 (kg)**	**KT2 (kg)**	**KT3 (kg)**	**Katkı (kg)**
C131-2,19-0,6N(16 mm)	130,9	287,0	1177,8	365,3	275,9	0	1,012
C130-1,65-0,6N (16mm)	130,2	215,4	1248,4	384,7	286,5	0	1,007
C174-1,39-0,6N (16mm)	174,3	244,0	1211,1	372,5	278,8	0	1,001
C246-0,57-2,1H (16mm)	246,4	142,1	1266,3	388,6	291,9	0	6,590
C125-2,19-0,6N (8 mm)	125,4	275,1	1481,2	260,4	0	0	0,969
C171-1,39-0,6N (8 mm)	171,1	239,5	1554,3	273,7	0	0	1,309
C218-0,8-2S (8 mm)	218,6	178,9	1693,8	298,2	0	0	5,140
C292-0,46-2,5H (8 mm)	292,6	136,6	1693,6	298,5	0	0	9,170
C125-2,2-0,6N(31,5mm)	125,8	280,7	983,1	174,2	209,0	367,8	0,987
C171-1,4-0,6N(31,5mm)	171,0	244,3	1034,2	183,7	220,9	387,0	1,329
C209-0,8-2S (31,5 mm)	209,7	181,1	1075,3	190,0	228,7	402,2	5,262
C287-0,5-2,5H(31,5mm)	287,3	143,6	1103,4	195,4	235,6	411,8	9,339

C124-2,23-0,6N (4 mm)	124,6	278,0	1593,4	120,8	0	0	0,963
C170-1,43-0,6N (4 mm)	170,5	243,6	1684,2	128,6	0	0	1,306
C214-0,86-2S (4 mm)	214,6	185,3	1793,1	136,5	0	0	5,073
C290-0,50-2,5H (4 mm)	290,4	145,2	1816,0	137,4	0	0	9,196

2.8. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

2.8.1. Basınç Deneyi Sonuçları

Üretilen betonların 38. günde yapılan basınç deneyi sonuçlarından elde edilen basınç dayanımları Tablo 2.11.'de verilmiştir.

Tablo 2.11 Üretilen Betonların Basınç Deneyi Sonuçları

BETON KODU	**$fc_{silindir}$ (N/mm^2)**	**$fc_{küp}$ (N/mm^2)**
C131-2,19-0,6N(16 mm)	7,01	7,76
C130-1,65-0,6N (16 mm)	9,16	8,86
C174-1,39-0,6N (16 mm)	14,53	14,33
C246-0,57-2,1H (16 mm)	46,22	47,75
C125-2,19-0,6N (8 mm)	4,35	4,18
C171-1,39-0,6N (8 mm)	12,13	13,32
C218-0,8-2S (8 mm)	25,71	26,81
C292-0,46-2,5H (8 mm)	47,21	48,77
C125-2,2-0,6N(31,5 mm)	4,56	4,65
C171-1,4-0,6N(31,5 mm)	10,32	11,13
C209-0,8-2S (31,5 mm)	28,14	28,93

C287-0,5-2,5H(31,5 mm)	56,88	57,98
C124-2,23-0,6N (4 mm)	4,27	3,83
C170-1,43-0,6N (4 mm)	7,17	6,03
C214-0,86-2S (4 mm)	26,44	25,43
C290-0,50-2,5H (4 mm)	49,58	41,58

2.8.2. Elastisite Modülü Değerleri

Silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyi sırasında belli aralıklarla ölçülen deformasyon değerleri ile gerilme- deformasyon diyagramı çizilmiş maksimum gerilmenin 1/3'ü bölgesinde grafiğin lineer olduğu kabul edilmiş, elastisite modülü hesaplanmış, sonuçlar Tablo 2.12.'de verilmiştir.

Tablo 2.12 Üretilen Betonların Elastisite Modülü Değerleri

BETON KODU	**E (N/mm^2)**
C131-2,19-0,6N(16 mm)	15447
C130-1,65-0,6N (16 mm)	17417
C174-1,39-0,6N (16 mm)	22655
C246-0,57-2,1H (16 mm)	40894
C125-2,19-0,6N (8 mm)	9518
C171-1,39-0,6N (8 mm)	24875
C218-0,8-2S (8 mm)	32368
C292-0,46-2,5H (8 mm)	43130
C125-2,2-0,6N(31,5 mm)	11575
C171-1,4-0,6N(31,5 mm)	25056
C209-0,8-2S (31,5 mm)	37825
C287-0,5-2,5H(31,5 mm)	44230

C124-2,23-0,6N (4 mm)	10816
C170-1,43-0,6N (4 mm)	12232
C214-0,86-2S (4 mm)	28605
C290-0,50-2,5H (4 mm)	33583

2.8.3. Ultrases Hızı Tayini

Ultrases deneyi numuneler kırılmadan hemen önce küp ve silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Sonuçlar, Tablo 2.13.'de verilmiştir.

Tablo 2.13. Üretilen Betonların Ultrases Değerleri

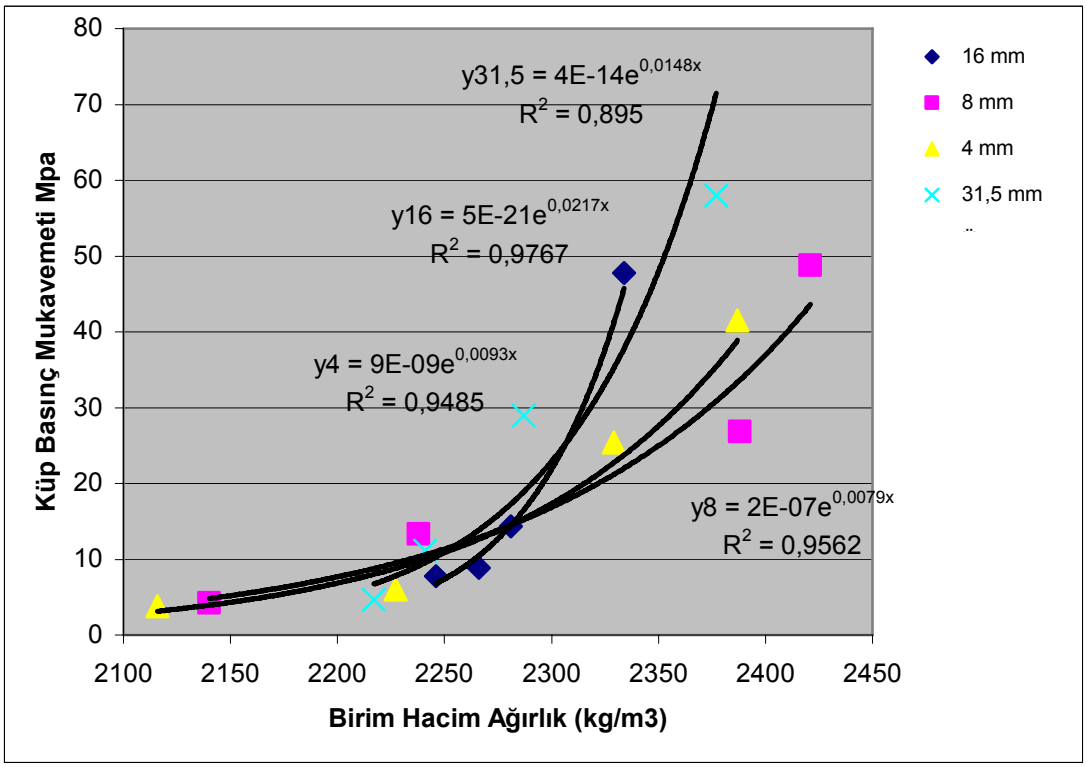
BETON KODU	**$V_{küp}$ (km/sn)**	**$V_{silindir}$ (km/sn)**
C131-2,19-0,6N(16 mm)	3,71	3,67
C130-1,65-0,6N (16 mm)	3,75	3,72
C174-1,39-0,6N (16 mm)	4,10	4,05
C246-0,57-2,1H (16 mm)	5,36	5,01
C125-2,19-0,6N (8 mm)	3,05	3,01
C171-1,39-0,6N (8 mm)	4,08	3,94
C218-0,8-2S (8 mm)	4,76	4,41

C292-0,46-2,5H (8 mm)	5,28	4,98
C125-2,2-0,6N(31,5 mm)	3,39	3,30
C171-1,4-0,6N(31,5 mm)	4,21	3,94
C209-0,8-2S (31,5 mm)	5,20	4,80
C287-0,5-2,5H(31,5 mm)	5,73	5,26
C124-2,23-0,6N (4 mm)	2,85	2,96
C170-1,43-0,6N (4 mm)	3,52	3,25
C214-0,86-2S (4 mm)	4,53	4,34
C290-0,50-2,5H (4 mm)	5,22	4,83

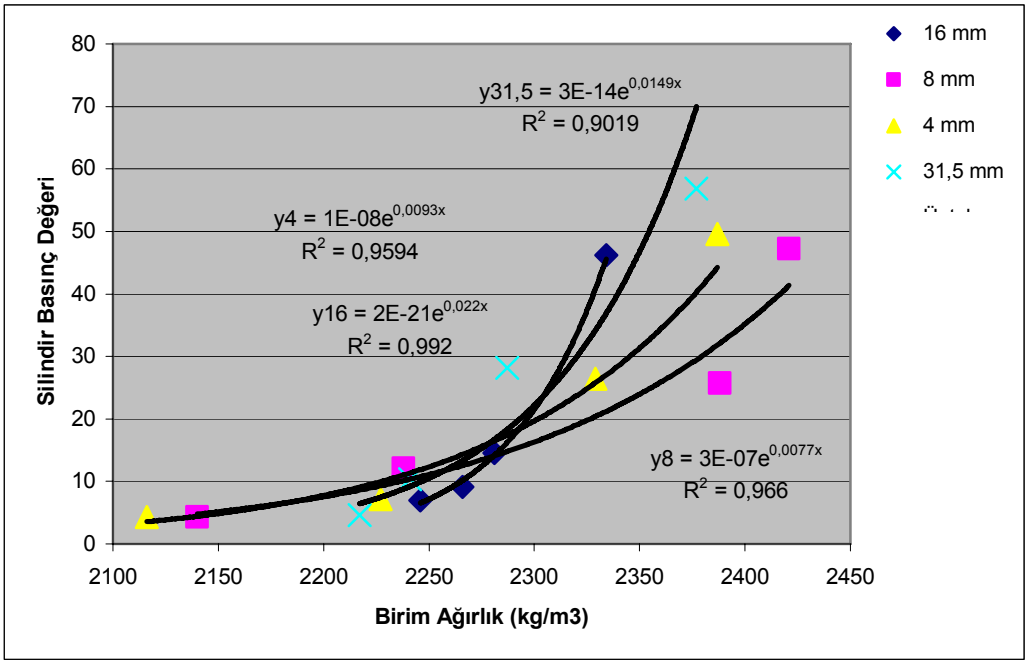
3. DENEY SONUÇLARI

3.1. Birim Ağırlıkla Basınç Dayanımı Arasındaki İlişkiler

Taze beton birim ağırlık sonuçlarının olduğu Tablo 2.9.'daki değerlerle silindir ve küp basınç dayanımlarının yer aldığı Tablo 2.11.'deki değerlerin arasındaki ilişkiyi gösteren grafik Şekil 3.1'de ve Şekil 3.2.'de yer almaktadır.



Şekil 3.1. Birim Hacim ile Küp Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki



Şekil 3.2.Birim Hacim Ağırlık Silindir Basınç Değerleri Arasındaki İlişki

Şekil 3.1.'de Şekil 3.2.'de görüldüğü gibi birim hacim ağırlık ile basınç değerleri arasında doğru orantılı bir ilişki vardır. Maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numunelerde, küp basınç dayanımı ile birim hacim ağırlık arasındaki korelasyon katsayısı R= 0,98, maksimum dane yarıçapı 8 olan numunelerde R= 0,96, maksimum dane yarıçapı 31,5 olan numunelerde R= 0,90, Maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numunelerde ise R= 0,94'tür. Bu bağıntıda f_{ck} N/mm^2 cinsinden basınç dayanımını, x ise kg/m^3 birim hacim ağırlığını göstermektedir.

$$f_{ck4} = 9x10^{-9}\, e^{0,0093x} \quad (3.1)$$

$$f_{ck8} = 2x10^{-7}\, e^{0,0079x} \quad (3,2)$$

$$f_{ck16} = 5x10^{-21}\, e^{0,0217x} \quad (3.3)$$

$$f_{ck31,5} = 4x10^{-14}\, e^{0,0148x} \quad (3.4)$$

Silindir basınç dayanımı ile birim hacim ağırlık arasındaki ilişkiye bakıldığında maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R= 0,96, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R= 0,97, maksimum korelasyon sayısı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R=0,99 ve maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R= 0,90'tir.

$$f_{cs4} = 14x10^{-8}\, e^{0,0093x} \quad (3.5)$$

$$f_{cs8} = 3x10^{-7}\, e^{0,0077x} \quad (3.6)$$

$$f_{cs16} = 2x10^{-21}\ e^{0,0220x} \quad (3.7)$$

$$f_{cs31,5} = 3x10^{-14}\ e^{0,0149x} \quad (3.8)$$

Bu bağıntıda f_{cs} N/mm^2 cinsinden basınç dayanımını, x ise kg/m^3 birim hacimidir.

3.2. Küp Basınç Dayanımı ile Silindir Basınç Dayanımının Karşılaştırılması

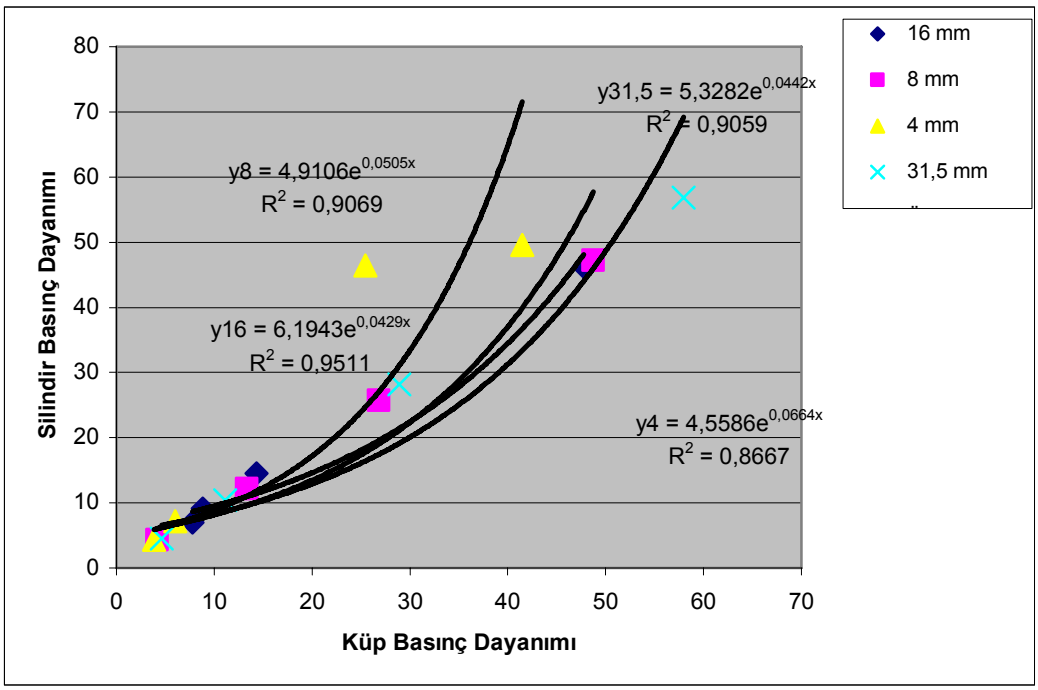
Sertleşmiş Beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler neticesinde elde edilen küp ve basınç dayanım değerleri Şekil 3.3.'de verilmiştir. Bu ilişkide, silindir basınç dayanımı ile küp basınç dayanımı arasındaki ilişkide maksimum dane boyutu 4 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,87, maksimum dane boyutu 8 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,91, maksimum dane boyutu 16 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,95, maksimum dane boyutu 31,5 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,91'dir.

$$f_{cs4} = 4,5586 \text{ x } e^{0,0664x} \quad (3.9)$$

$$f_{cs8} = 4,9106 \text{ x } e^{0,0505x} \quad (3.10)$$

$$f_{cs16} = 6,194 \text{ x } e^{0,0429x} \quad (3.11)$$

$$f_{cs31,5} = 5,3282 \text{ x } e^{0,0442x} \quad (3.12)$$



Şekil 3.3. Silindir ve Küp Basınç Dayanımları İlişkisi

3.3. Basınç Dayanımı – Su/Çimento Oranı Arasındaki İlişki

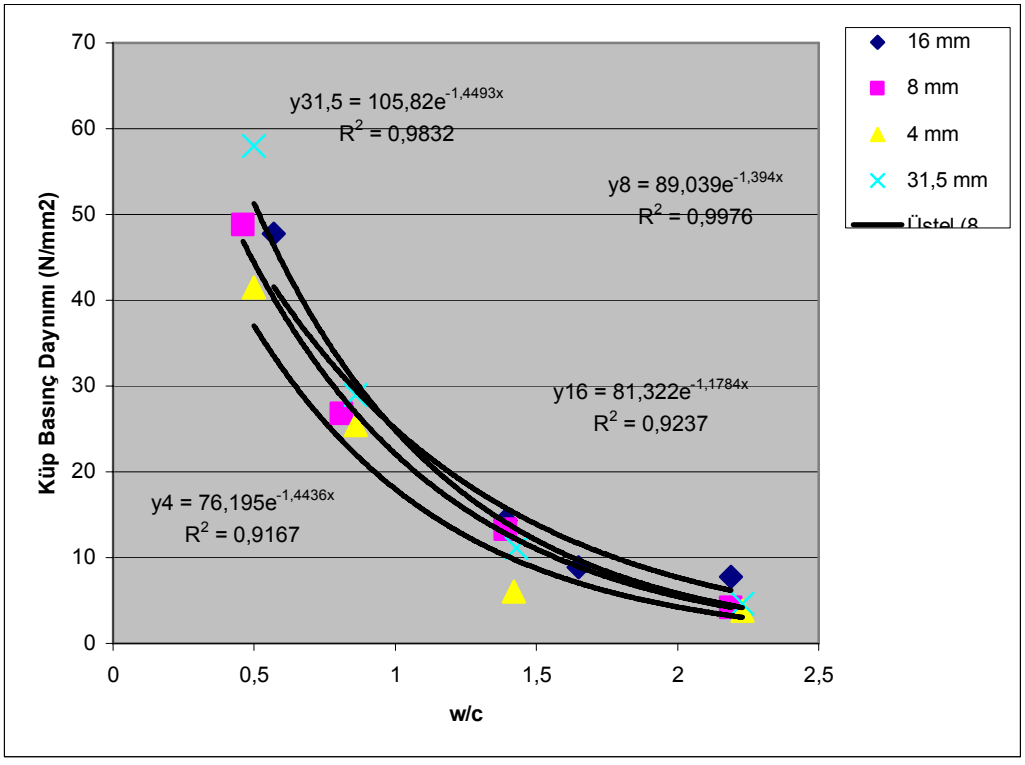
Su/Çimento oranlarıyla küp ve silindir basınç dayanımları arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 3. 4. ve Şekil 3.5.'de verilmiştir. Burada küp basınç dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki bağıntıda, maksimum dane boyutu 4 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,92, maksimum dane boyutu 8 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,99, maksimum dane boyutu 16 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,92, maksimum dane boyutu 31,5 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0, 98'dir.

$$f_{ck4} = 76{,}195\ e^{-1{,}4439x} \quad (3.13)$$

$$f_{ck8} = 89{,}039\ e^{-1{,}394x} \quad (3.14)$$

$$f_{ck16} = 81{,}322\ e^{-1{,}2082x} \quad (3.15)$$

$$f_{ck31{,}5} = 105{,}82\ e^{-1{,}4493x} \quad (3.16)$$



Şekil 3.4. Küp Basınç Dayanımı- w/c Oranı İlişkisi

Diğer taraftan silindir basınç dayanımı ile su/çimento oranı arasındaki bağıntıda, maksimum dane boyutu 4 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,93, maksimum dane boyutu 8 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,99, maksimum dane boyutu 16 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0,96,

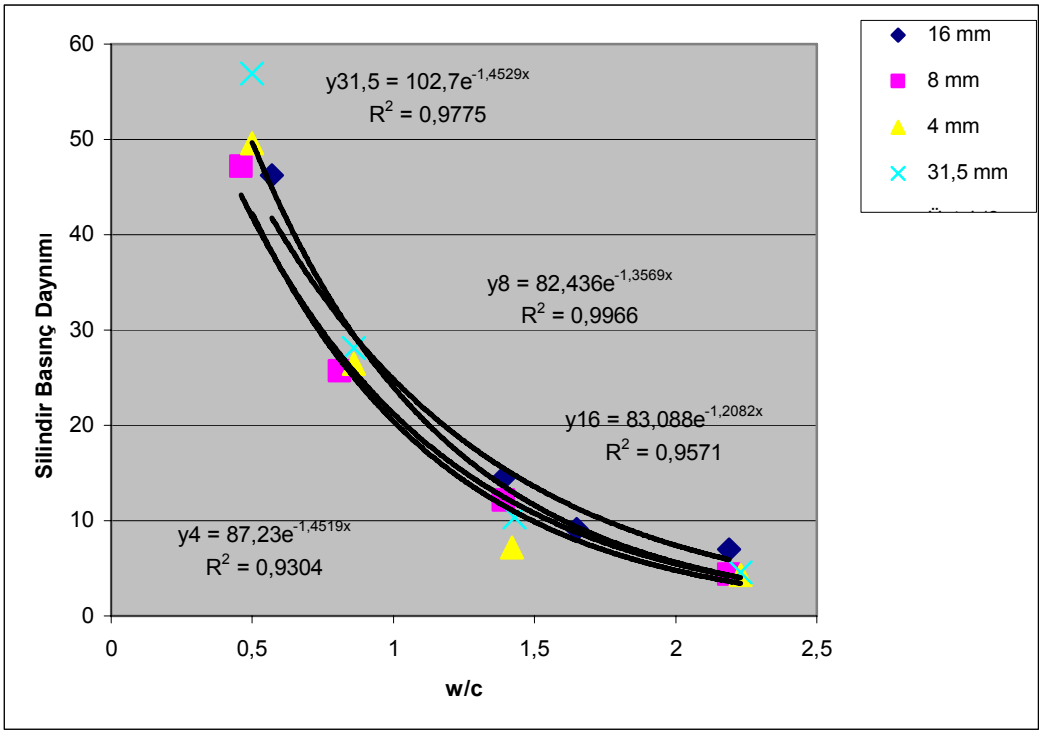
maksimum dane boyutu 31,5 mm olan numunelerde korelasyon katsayısı R= 0, 98'dir.

$$f_{cs4} = 87{,}230\ e^{-1{,}4519x} \quad (3.17)$$

$$f_{cs8} = 82{,}436\ e^{-1{,}3569x} \quad (3.18)$$

$$f_{cs16} = 83{,}088\ e^{-1{,}2082x} \quad (3.19)$$

$$f_{cs31{,}5} = 102{,}7\ e^{-1{,}4529x} \quad (3.20)$$



Şekil 3.5. Silindir Basınç Dayanımı- w/c Oranı İlişkisi

3.4. Elastisite Modülü – Su/Çimento Oranı Arasındaki İlişki

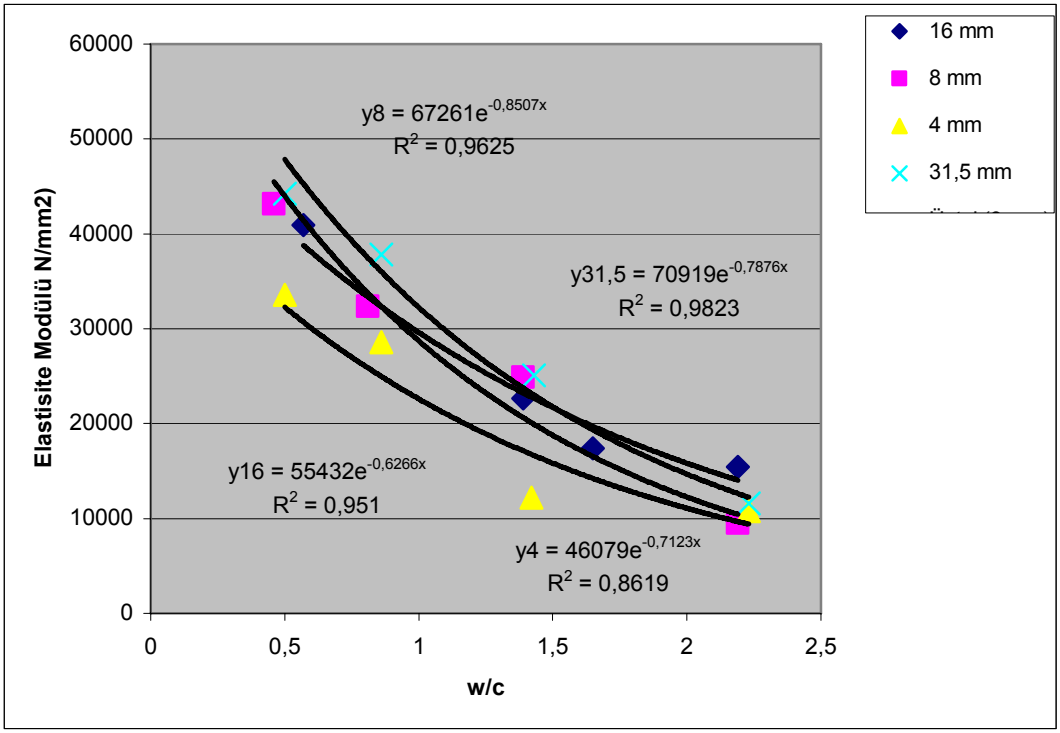
Su/çimento oranıyla silindir numunelerin elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 3.6.'da verilmiştir. Burada elastisite modülü ile su/çimento arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,86, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,96, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,95, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98'dir.

$$E_4 = 46079\ e^{-0{,}7123x} \quad (3.21)$$

$$E_8 = 67261\ e^{-0,8507x} \quad (3.22)$$

$$E_{16} = 55432\ e^{-0,6266x} \quad (3.23)$$

$$E_{31,5} = 70919\ e^{-0,7876x} \quad (3.24)$$



Şekil 3.6. Elastisite Modülü- w/c İlişkisi

3.5. Ultrases Hızı – Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

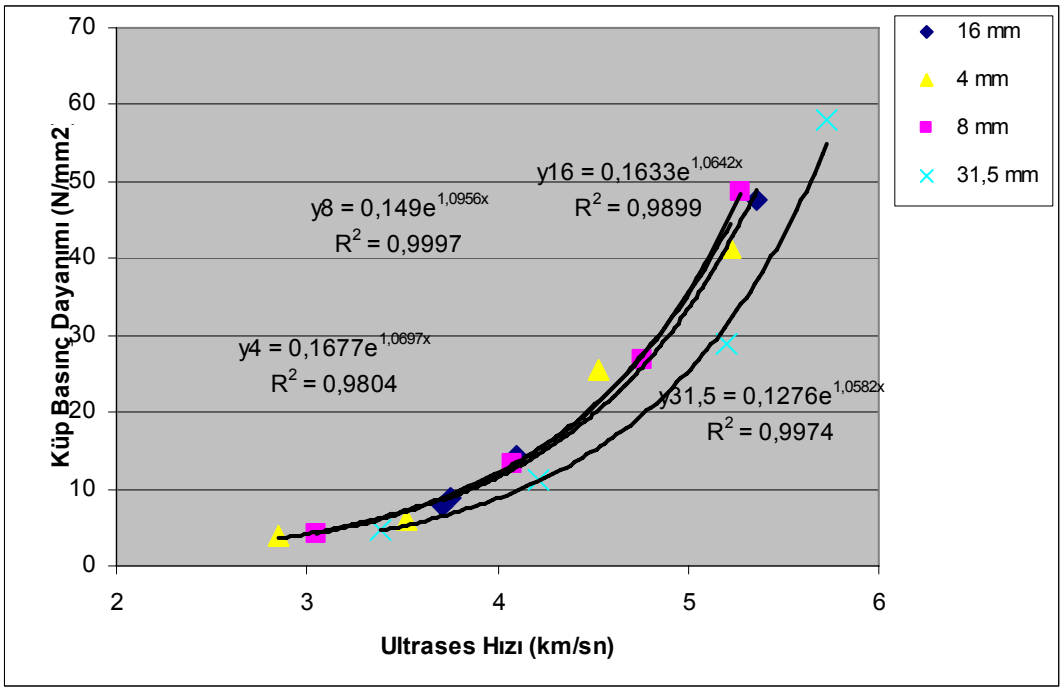
Ultrases hızları ile küp ve silindir basınç dayanımları arasındaki ilişki bu bölümde incelenmiştir. Şekil 3.7. ve Şekil 3.8'de sırasıyla verilmiştir. Burada ultrases hızı ile küp basınç dayanımı arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir

$$f_{ck4} = 0,1677\ e^{1,0697x} \quad (3.25)$$

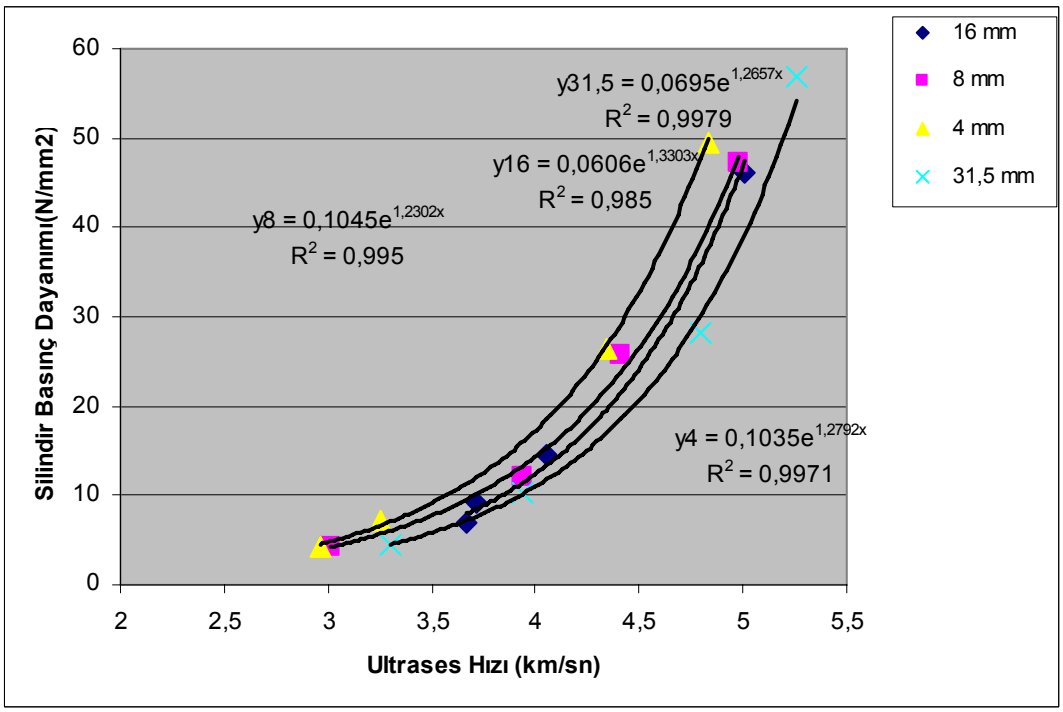
$$f_{ck8} = 0,149\ e^{1,0956x} \quad (3,26)$$

$$f_{ck16} = 0,163\ e^{1,0542x} \quad (3.27)$$

$$f_{ck31,5} = 0,127\ e^{1,0582x} \quad (3.28)$$



Şekil 3.7. Ultrases Hızı ile Küp Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki



Şekil 3.8. Ultrases Hızı ile Silindir Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

Diğer yandan silindir basınç dayanımı arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 16

mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$f_{cs4} = 0{,}1035\ e^{1{,}2790x} \quad (3.29)$$

$$f_{cs8} = 0{,}104\ e^{1{,}230x} \quad (3.30)$$

$$f_{cs16} = 0{,}0606\ e^{1{,}330x} \quad (3.31)$$

$$f_{cs31{,}5} = 0{,}0695\ e^{1{,}255x} \quad (3.32)$$

3.6. Ultrases Hızı – Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

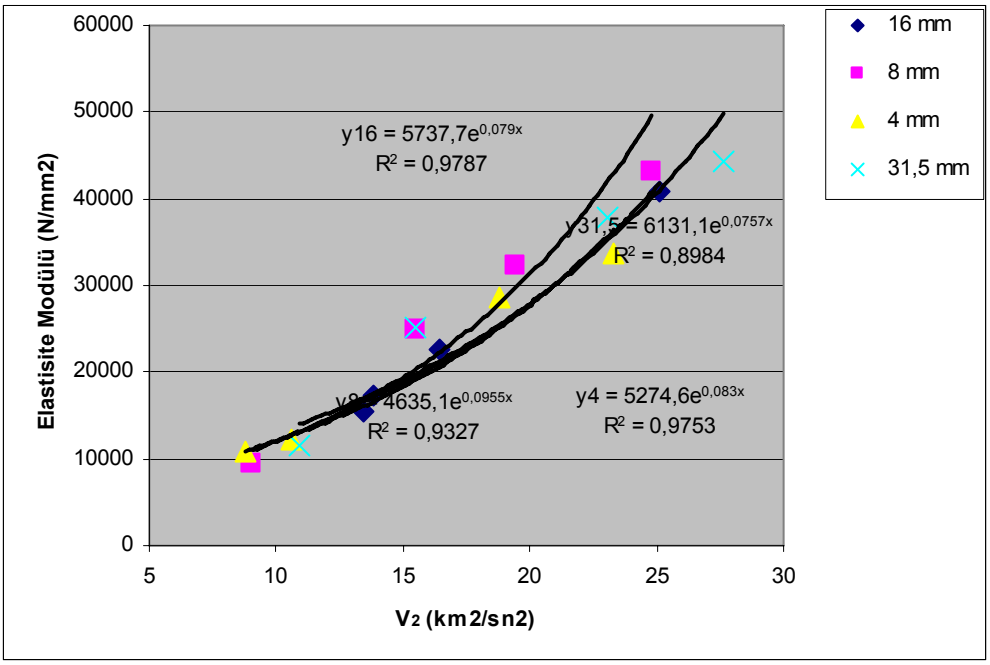
Ultrases Hızı ile elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. Burada ultrases hızı ile elastisite arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,93, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,90'dır.

$$E_4 = 5274{,}6\ e^{0{,}0830x} \quad (3.33)$$

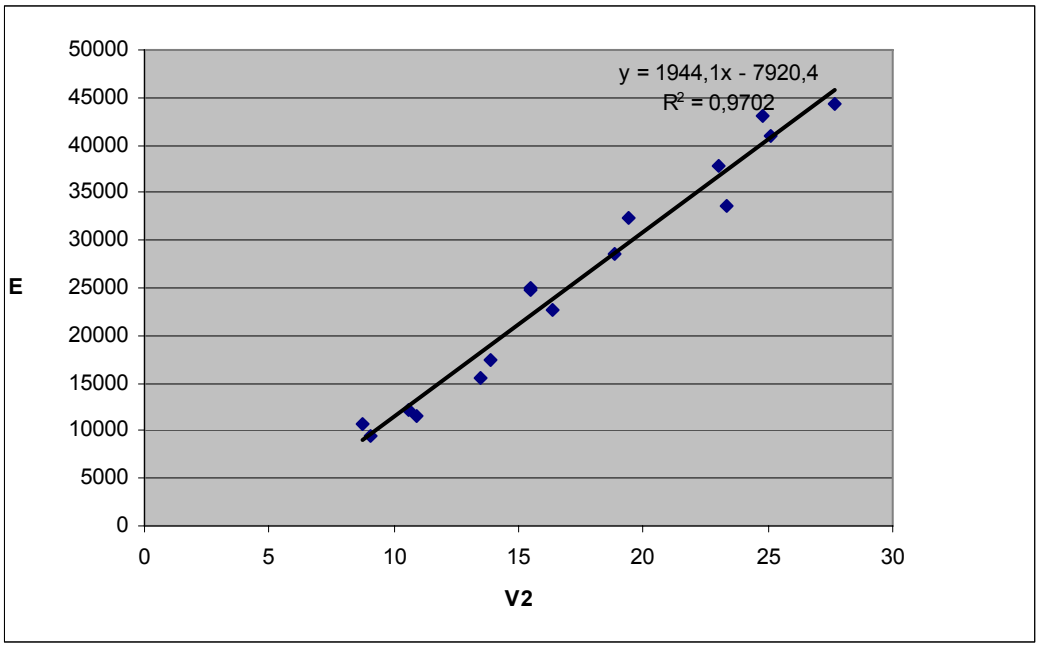
$$E_8 = 4635{,}1\ e^{0{,}0955x} \quad (3.34)$$

$$E_{16} = 5737{,}7\ e^{0{,}079x} \quad (3.35)$$

$$E_{31{,}5} = 6131{,}2\ e^{0{,}0757x} \quad (3.36)$$



Şekil 3.9. Ultrases Hızı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişki



Şekil 3.10. Ultrases Hızları ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

3.7. Kompasite ve Basınç Dayanımları Arasındaki İlişki

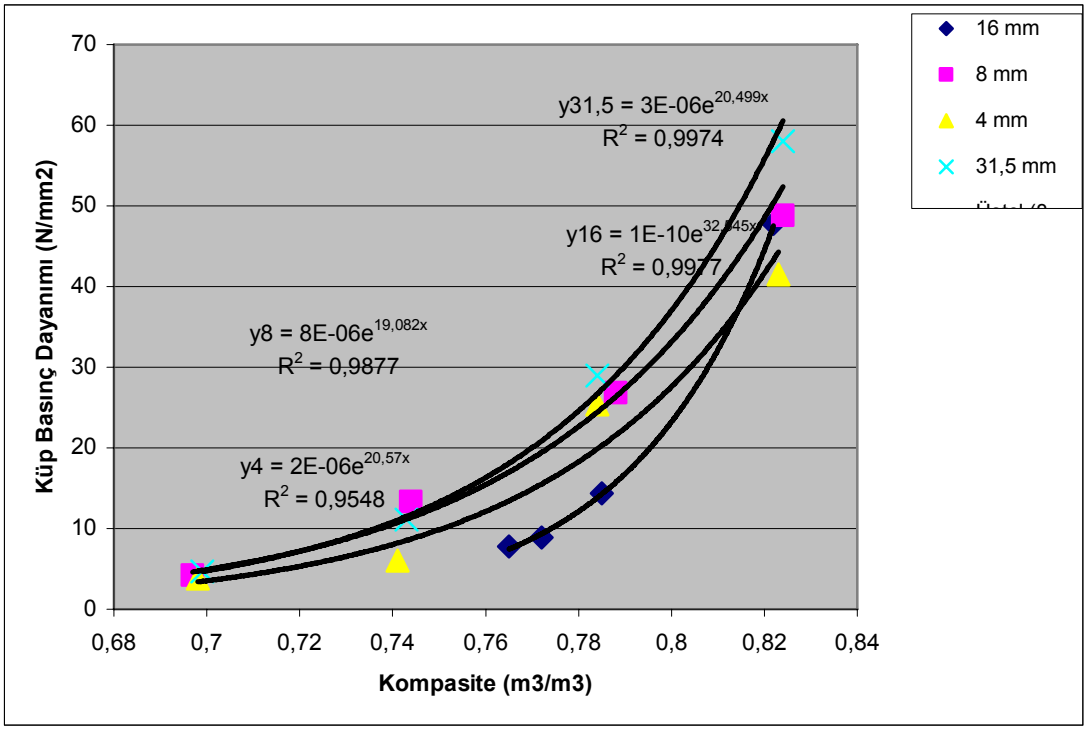
Kompasite ile küp ve silindir basınç dayanımları arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 3.10. ve Şekil 3.11.'de verilmiştir. Burada kompasite ile küp basınç dayanımı arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$f_{ck4} = 2x10^{-6}\, e^{20,570x} \quad (3.37)$$

$$f_{ck8} = 8x10^{-6}\, e^{19,082x} \quad (3,38)$$

$$f_{ck16} = 1x10^{-10}\, e^{32,548x} \quad (3.39)$$

$$f_{ck31,5} = 3x10^{-6}\, e^{20,499x} \quad (3.40)$$



Şekil 3.11. Küp Basınç Dayanımı Kompasite Arasındaki İlişki

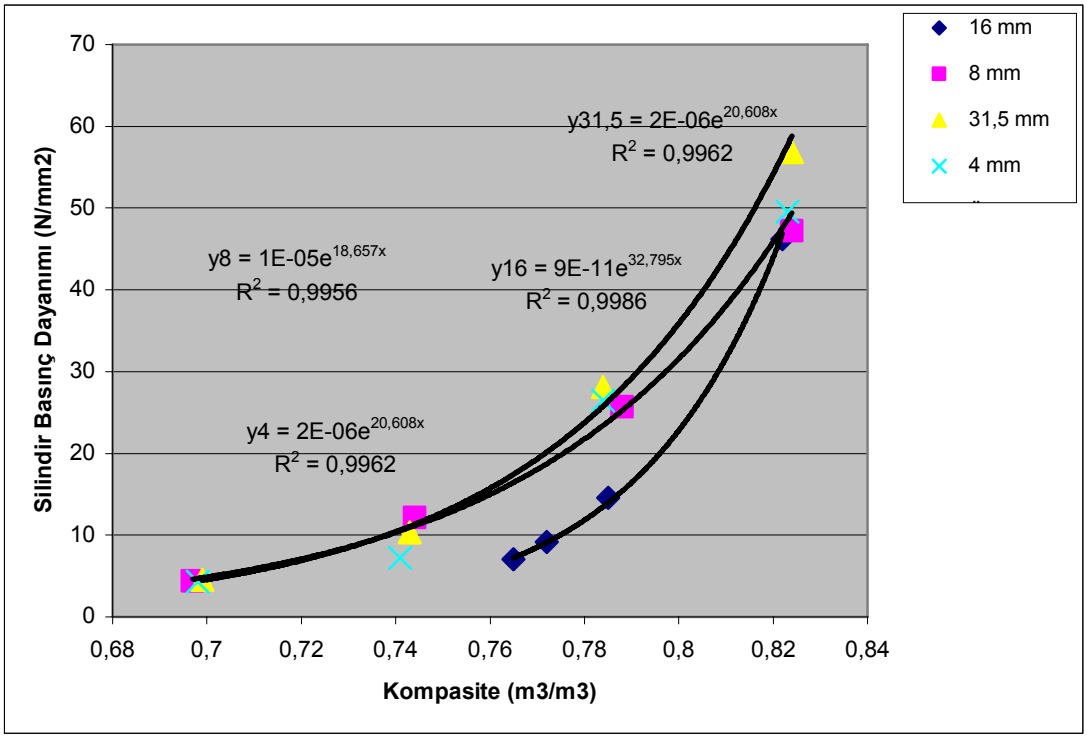
Diğer yandan kompasite ile silindir basınç dayanımı arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,95, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$f_{cs4} = 2x10^{-6}\, e^{20,608x} \quad (3.41)$$

$$f_{cs8} = 1x10^{-5}\, e^{18,657x} \quad (3.42)$$

$$f_{cs16} = 9x10^{-11}\, e^{32,795x} \quad (3.43)$$

$$f_{cs31,5} = 2x10^{-6}\, e^{20,608x} \quad (3.44)$$



Şekil 3.12. Silindir Basınç Dayanımı Kompasite Arasındaki İlişki

3.8. Basınç Dayanımları – Bolomey ve Feret Bağıntıları Korelasyonu

Feret ve Bolomey bağıntılarındaki katsayılar basınç dayanımlarının ortalama değerleriyle hesaplanmıştır. Bu katsayılar Tablo 3.1'de verilmiştir. Tabloda yer alan F_k ve F_s sırasıyla küp ve silindir Feret katsayılarını, B_k ve B_s ise sırasıyla küp ve silindir Bolemey katsayılarını gösterir.

Küp numuneler için Feret katsıyısı ile basınç dayanımları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,97, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

Tablo 3.1. Küp-Silindir Basınç Dayanımı Feret, Bolomey Katsayı Korelasyonu

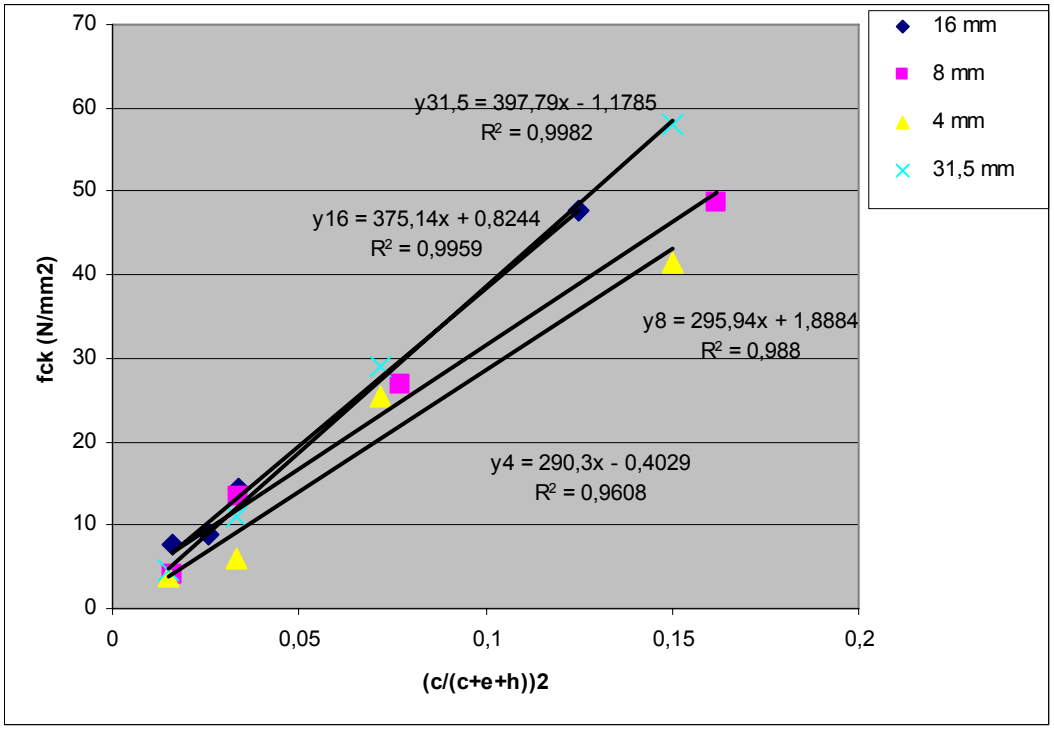
BETON KODU	F_{ck}	F_{cs}	F_k	F_s	B_k	B_s
C131-2,19-0,6N(16 mm)	7,76	7,01	485	438	-97	-88
C130-1,65-0,6N (16 mm)	8,86	9,16	341	352	421	436
C174-1,39-0,6N (16 mm)	14,33	14,53	421	427	77	78
C246-0,57-2,1H (16 mm)	47,75	46,22	382	369	64	62
C125-2,19-0,6N (8 mm)	4,18	4,35	261	272	-44	-45
C171-1,39-0,6N (8 mm)	13,32	12,13	392	357	93	85
C218-0,8-2S (8 mm)	26,81	25,71	348	334	41	39
C292-0,46-2,5H (8 mm)	48,77	47,21	301	292	38	37
C125-2,2-0,6N(31,5 mm)	4,65	4,56	310	304	-45	-44
C171-1,4-0,6N(31,5	11,13	10,32	337 68	313	28	26

$$f_{ck4} = 290{,}30x + 0{,}4029 \quad (3.45)$$

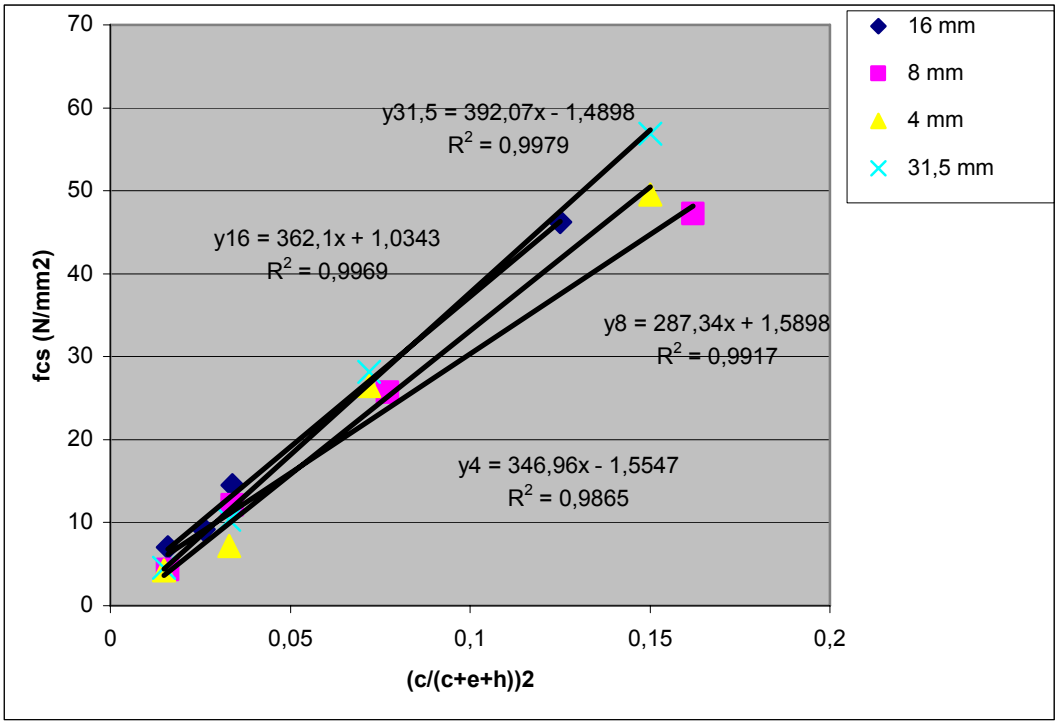
$$f_{ck8} = 295{,}94x + 1{,}888 \quad (3.46)$$

$$f_{ck16} = 375{,}14x + 0{,}8244 \quad (3.47)$$

$$f_{ck31{,}5} = 397{,}79x + 1{,}1785 \quad (3.48)$$



Şekil 3.13. Küp Basınç Dayanımı Feret Katsayısı Arasındaki İlişki



Şekil 3.14. Silindir Basınç Dayanımı Feret Katsayısı Arasındaki İlişki

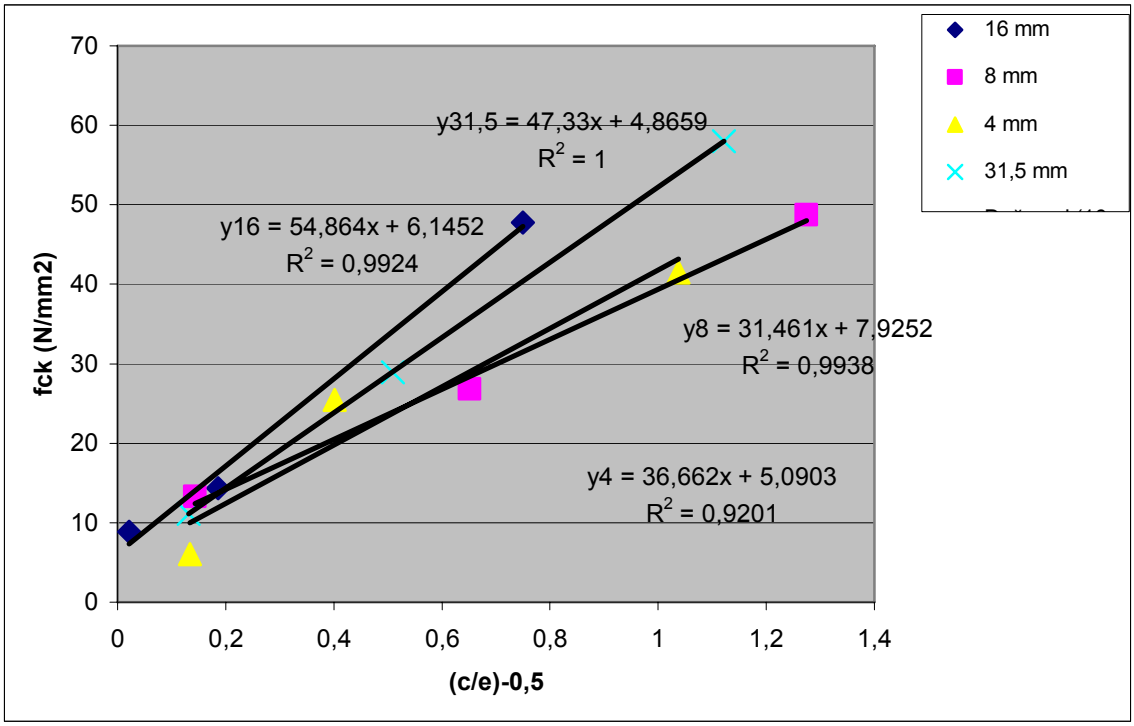
Silindir numuneler için Feret katsıyısı ile basınç dayanımları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$f_{cs4} = 346{,}96x\text{-}1{,}547 \quad (3.49)$$

$$f_{cs8} = 287{,}34x\text{-}1{,}598 \quad (3{,}50)$$

$$f_{cs16} = 362{,}1x\text{-}1{,}0343 \quad (3.51)$$

$$f_{cs31{,}5} = 392{,}07x1{,}4090 \quad (3.52)$$



Şekil 3.15. Küp Basınç Dayanımı Bolomey Katsayısı Arasındaki İlişki

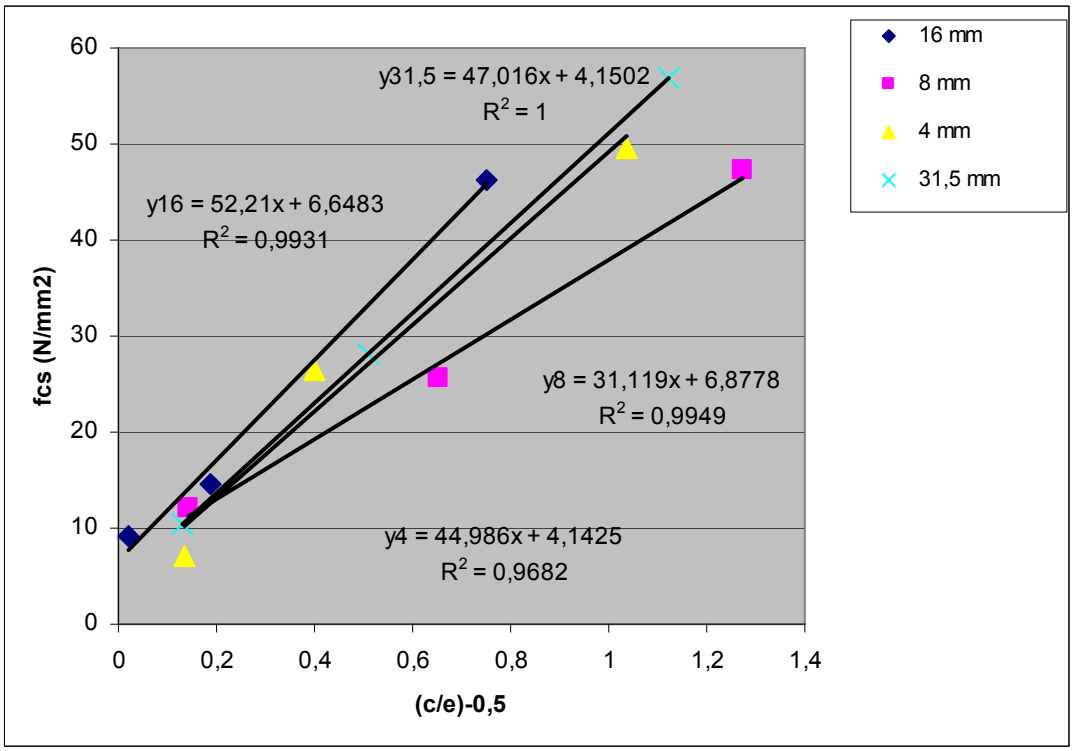
Küp numuneler için Bolomey katsıyısı ile basınç dayanımları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,93, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$f_{ck4} = 36,662x + 5,093 \quad (3.53)$$

$$f_{ck8} = 31,461x + 7,92 \quad (3.54)$$

$$f_{ck16} = 54,864x + 6,1452 \quad (3.55)$$

$$f_{ck31,5} = 47,33x + 4,8659 \quad (3.56)$$



Şekil 3.16. Silindir Basınç Dayanımı Bolomey Katsayısı Arasındaki İlişki

Silindir numuneler için Bolomey katsıyısı ile basınç dayanımları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,97, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$f_{cs4} = 44{,}986x\text{-}4{,}1425 \quad (3.57)$$

$$f_{cs8} = 31{,}119x\text{-}6{,}877 \quad (3,58)$$

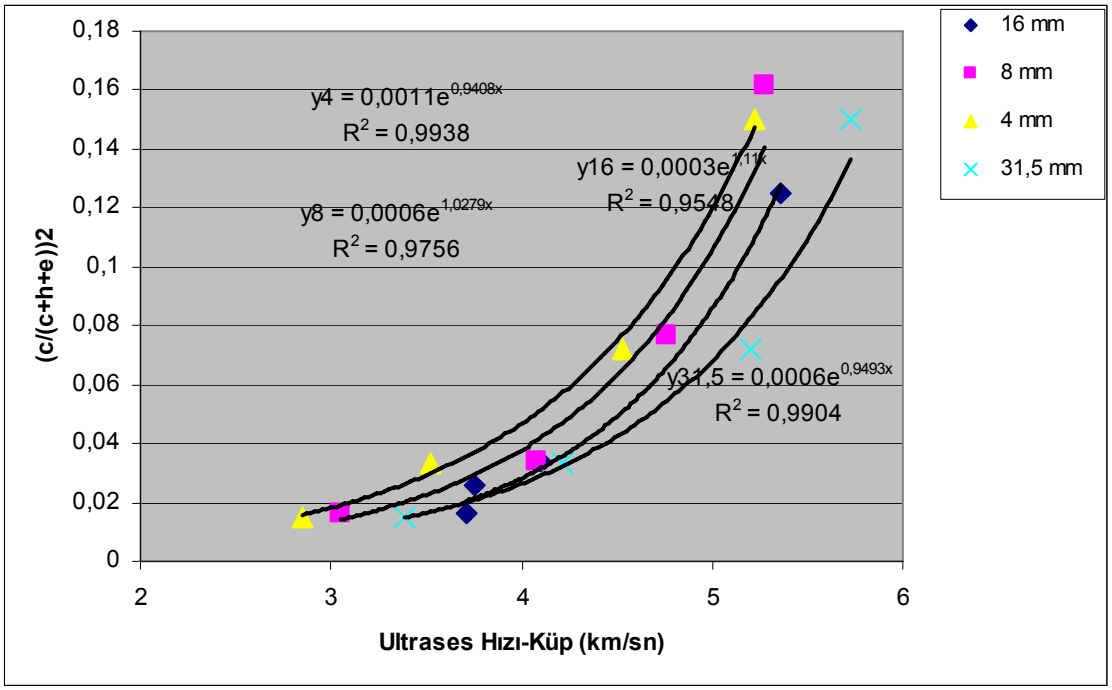
$$f_{cs16} = 52{,}21x\text{-}6{,}6484 \quad (3.59)$$

$$f_{cs31,5} = 47{,}016x\text{-}4{,}1502 \quad (3.60)$$

3.9. Ultrases Hızı – Feret Çarpanı Korelasyonu

Küp numuneler için Feret katsıyısı ile ultrases hızları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98, maksimum

dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,95, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99'dir.



Şekil 3.17. Ultrases Hızı Küp – Feret Katsayısı Arasındaki İlişki

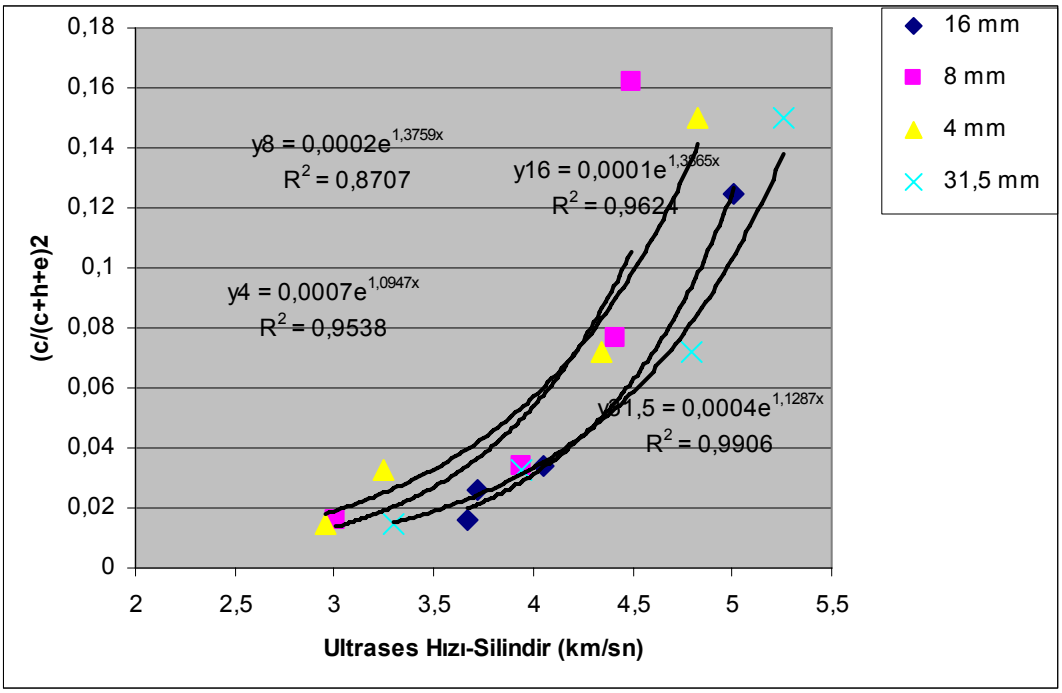
$$F_{ck4} = 0{,}0011\ e^{0{,}9438x} \quad (3.61)$$

$$F_{ck8} = 0{,}0006\ e^{1{,}527x} \quad (3.62)$$

$$F_{ck16} = 0{,}0003\ e^{1{,}410x} \quad (3.63)$$

$$F_{ck31{,}5} = 0{,}0006\ e^{0{,}949x} \quad (3.64)$$

Silindir numuneler için Feret katsıyısı ile ultrases hızları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,95, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,87, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,96, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99'dir.



Şekil 3.18. Ultrases Hızı Silindir – Feret Katsayısı Arasındaki İlişki

$$F_{cs4} = 0{,}0007\ e^{1{,}0947x} \quad (3.65)$$

$$F_{cs8} = 0{,}0002\ e^{1{,}43579x} \quad (3{,}66)$$

$$F_{cs16} = 0{,}0001\ e^{1{,}3865x} \quad (3.67)$$

$$F_{cs31{,}5} = 0{,}0004\ e^{1{,}1287x} \quad (3.68)$$

3.10. Ultrases Hızı – Bolomey Çarpanı Korelasyonu

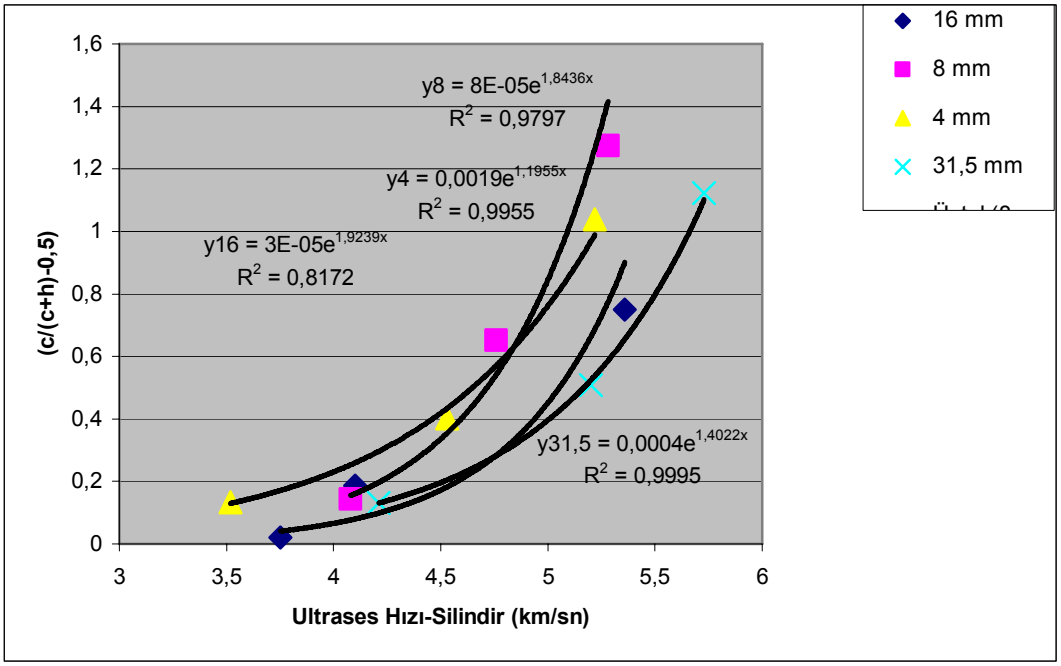
Küp numuneler için Bolomey katsıyısı ile ultrases hızları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,98, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,82, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99'dir.

$$B_{ck4} = 2x10^{-4}\ e^{1{,}1955x} \quad (3.69)$$

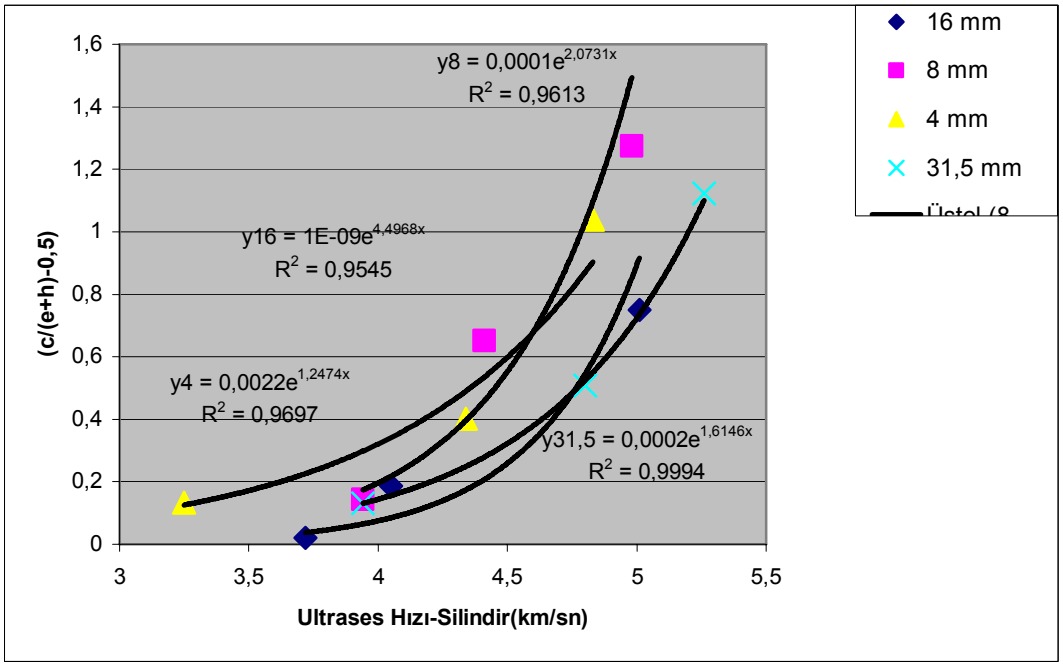
$$B_{ck8} = 8x10^{-5}\ e^{1{,}8436x} \quad (3.70)$$

$$B_{ck16} = 3x10^{-5}\ e^{1{,}929x} \quad (3.71)$$

$$B_{ck31{,}5} = 4x10^{-3}\ e^{1{,}402x} \quad (3.72)$$



Şekil 3.19. Ultrases Hızı Küp – Bolomey Katsayısı Arasındaki İlişki



Şekil 3.20. Ultrases Hızı Silindir – Bolemy Katsayısı Arasındaki İlişki

Silindir numuneler için Bolomey katsıyısı ile ultrases hızları arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,97, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,96, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,95,

maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 1'dir.

$$B_{cs4} = 0{,}0022\ e^{1{,}247x} \quad (3.73)$$

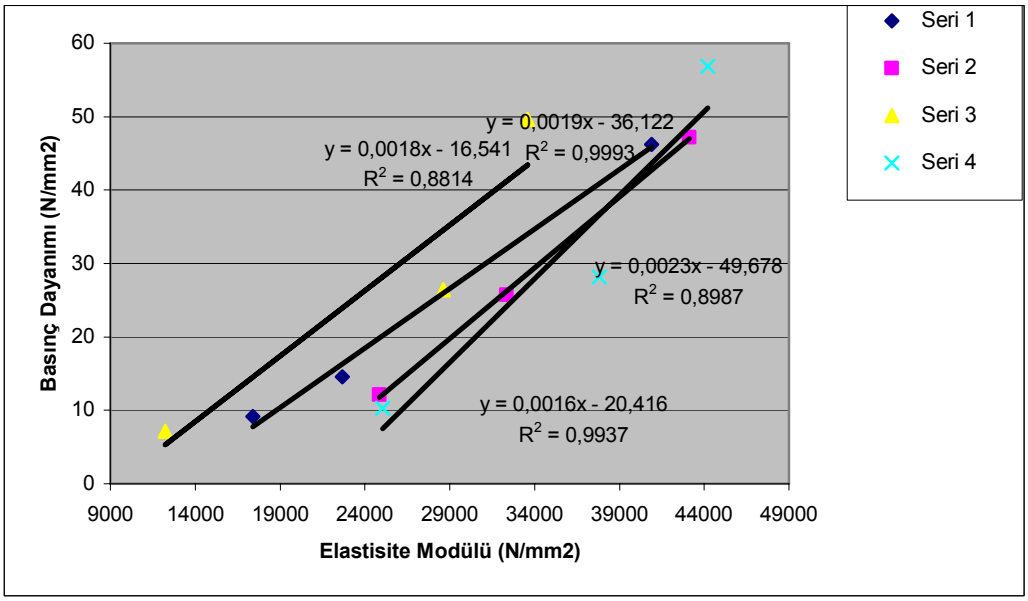
$$B_{cs8} = 0{,}0001\ e^{2{,}073x} \quad (3{,}74)$$

$$B_{cs16} = 0{,}0001\ e^{4{,}495x} \quad (3.75)$$

$$B_{cs31{,}5} = 0{,}0002\ e^{1{,}614x} \quad (3.76)$$

3.11. Basınç Dayanımları ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Elastisite Modülü ile Basınç dayanımı arasındaki ilişkide maksimum dane yarıçapı 4 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,97, maksimum dane yarıçapı 8 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,90, maksimum dane yarıçapı 16 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,99, maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numuneler için korelasyon katsayısı R = 0,83'tür.



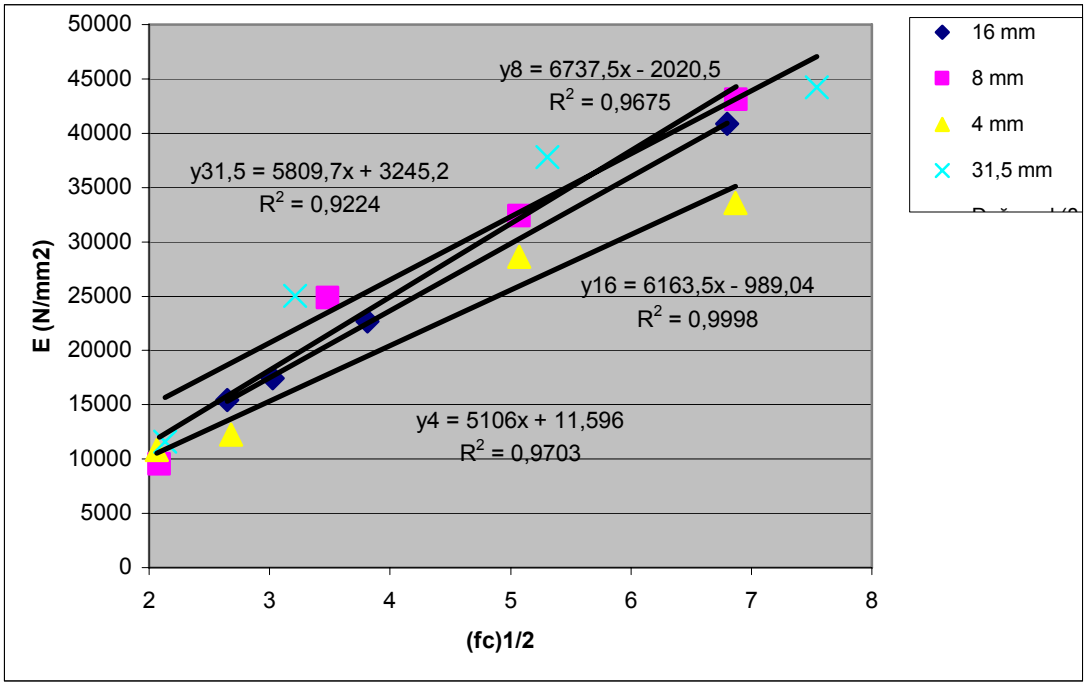
Şekil 3.21. Basınç Dayanım-Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

$$E_4 = 0{,}0017x\text{-}15{,}313 \quad (3.77)$$

$$E_8 = 0{,}0013x\text{-}12{,}341 \quad (3{,}78)$$

$$E_{16} = 0{,}0016x\text{-}18{,}573 \quad (3.79)$$

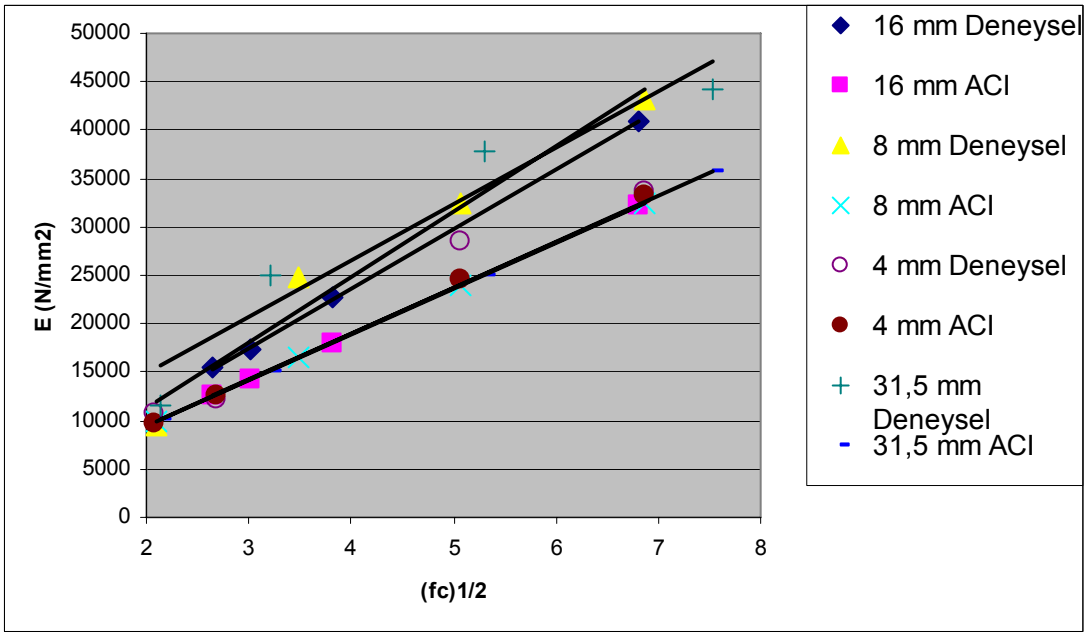
$$E_{31{,}5} = 0{,}0015x\text{-}18{,}896 \quad (3.80)$$



Şekil 3.22. Karekök Basınç Dayanımı-Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Burada ACI I hesaplanırken;

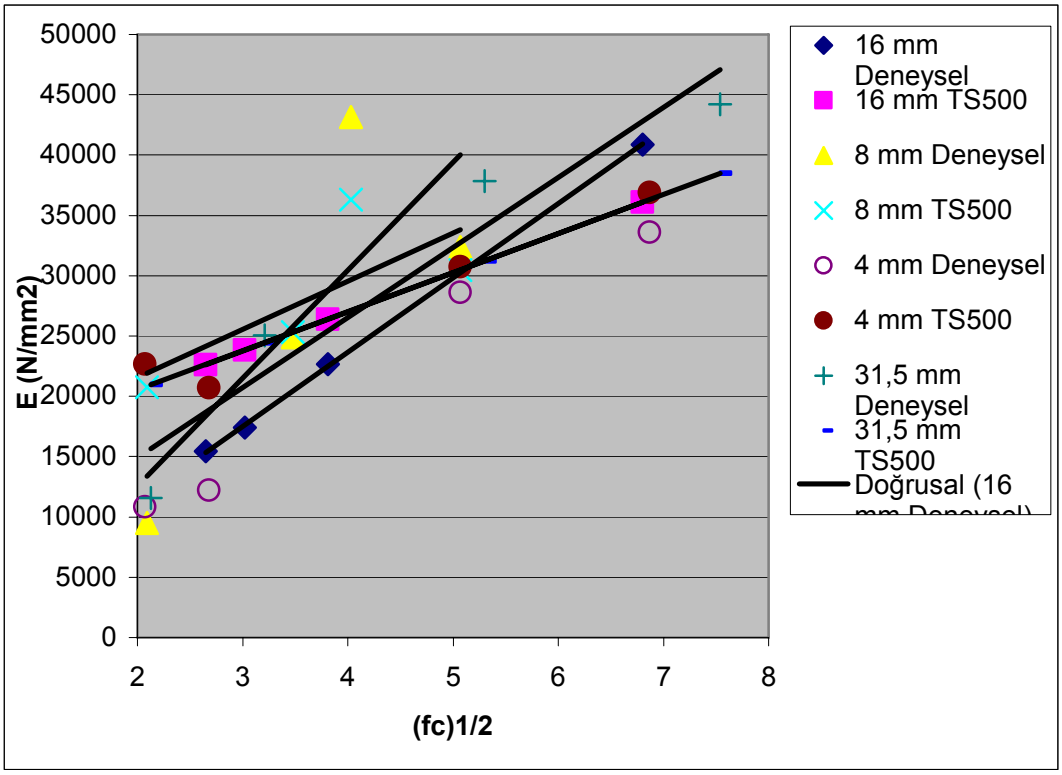
$E_c = 4730\ (f_c)^{1/2}$ formülünden yararlanılmıştır.



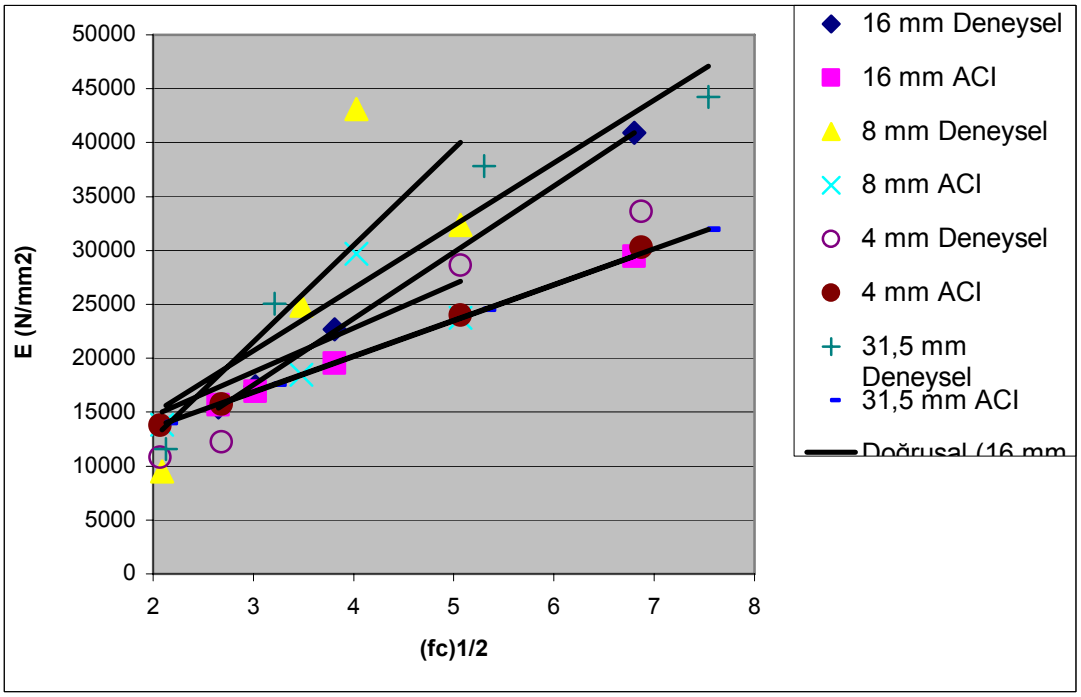
Şekil 3.23. ACI I -Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Burada TS 500 eğrisi hazırlanırken;

$E_c = 3250\ (f_{ck})^{1/2} + 14000$ formülü kullanılmıştır.



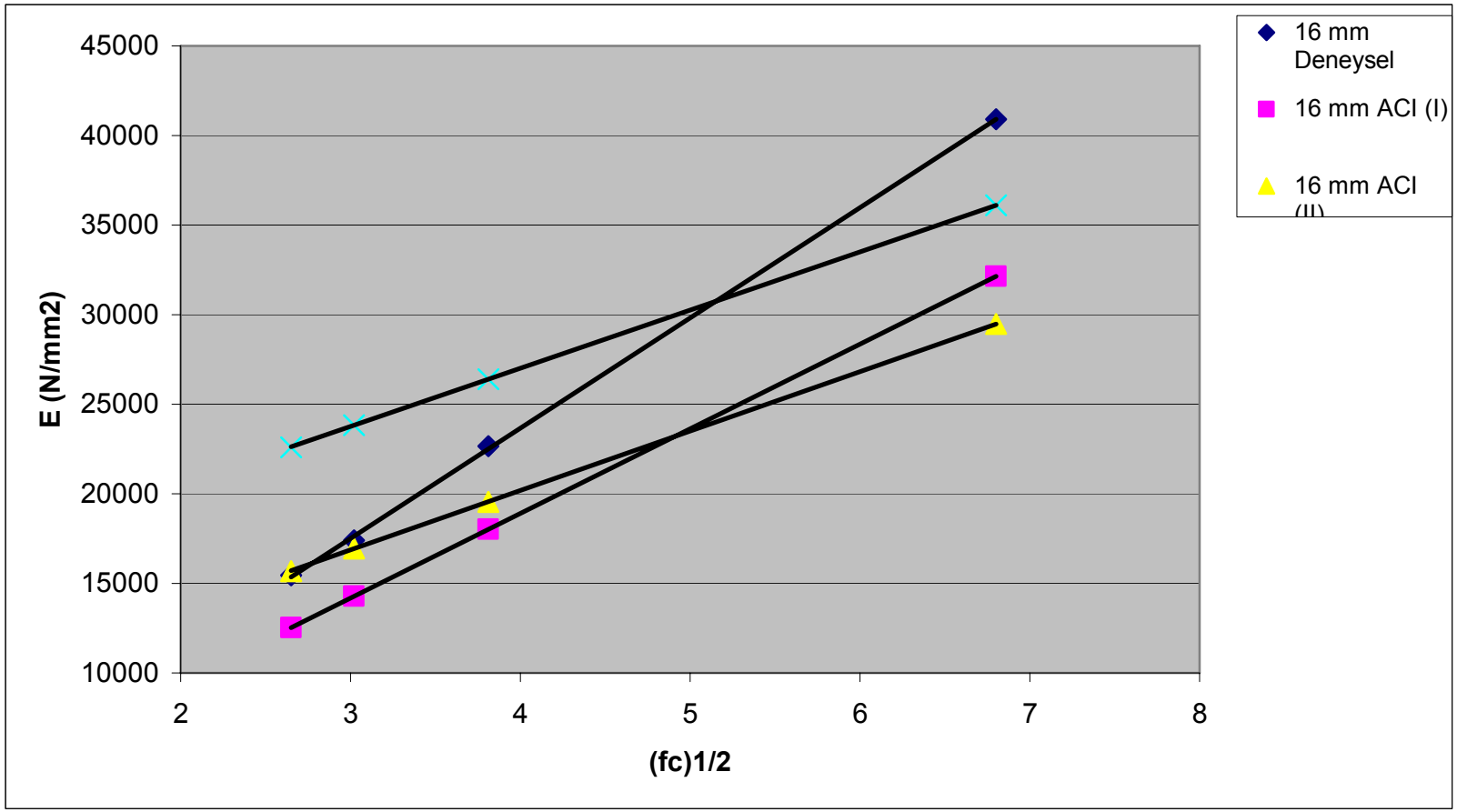
Şekil 3.24. TS 500 -Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki



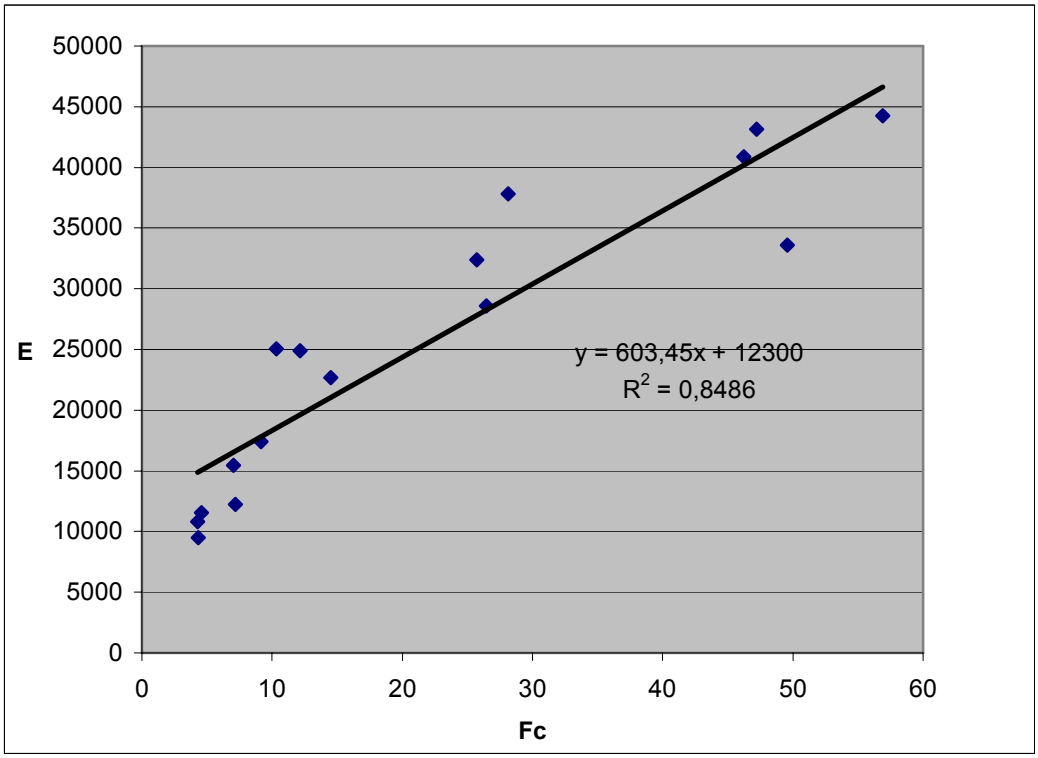
Şekil 3.25. ACI II -Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki

Burada ACI II grafiği çizilirken;

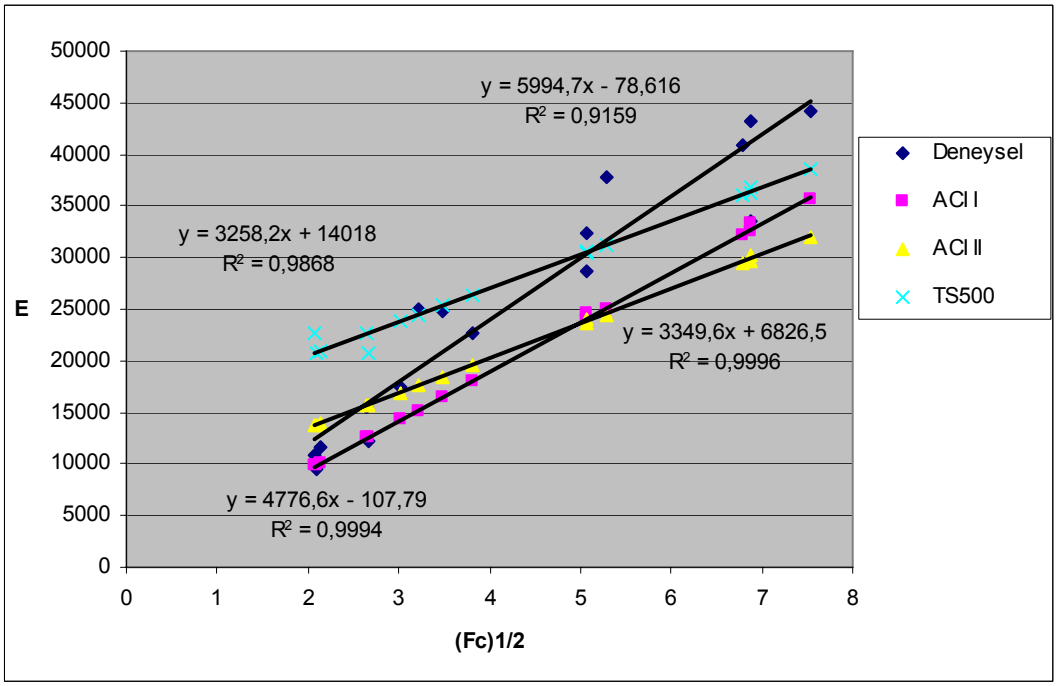
$E_s = 3320\ (fc)^{1/2} + 6900$ formülünden yararlanılmıştır.



Şekil 3.26. ACI (I), ACI (II), TS500, Deneysel Elastisite Modülü Arasındaki İlişki



Şekil 3.27. Elastisite Modülü Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki



Şekil 3.28. Elastisite Modülü Karekök Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki

4. DENEY SONUÇLARI

Yapılan deneylerden aşağıdaki sonuçlar elde edilmişitir. Sonuçlar korelasyon katsayıları ve buna bağlı olan denklemlerden yararlanılarak çıkarılmıştır.

4.1. Taze Beton Deneyi Sonuçları

Taze betonun birim ağırlığı arttıkça basınç dayanımı da artmaktadır. Maksimum dane çapı ve dozajı farklı betonlarda yapılan deneyler sonucunda dört farklı korelasyon katsayı ve dört farklı formül elde edilmiştir.

Birim ağırlık ile küp dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları $R_4 = 0,91$, $R_8 = 0,95$, $R_{16} = 0,91$, $R_{31,5} = 0,94$ olan

$$f_{ck4} = 9x10^{-9}\ e^{0,0093x} \quad (4.1)$$

$$f_{ck8} = 2x10^{-7}\ e^{0,0079x} \quad (4.2)$$

$$f_{ck16} = 5x10^{-21}\ e^{0,0217x} \quad (4.3)$$

$$f_{ck31,5} = 4x10^{-14}\ e^{0,0148x} \quad (4.4)$$

Birim ağırlık ile silindir dayanımı arasındaki korelasyon katsayıları $R_4 = 0,92$, $R_8 = 0,93$, $R_{16} = 0,97$, $R_{31,5} = 0,95$ olan

$$f_{cs4} = 14x10^{-8}\ e^{0,0093x} \quad (4.5)$$

$$f_{cs8} = 3x10^{-7}\ e^{0,0077x} \quad (4.6)$$

$$f_{cs16} = 2x10^{-21}\ e^{0,0220x} \quad (4.7)$$

$$f_{cs31,5} = 3x10^{-14}\ e^{0,0149x} \quad (4.8)$$

- Deney numunelerinde,birim ağırlık arttıkça dane boyutuna bağlı olmaksızın basınç dayanımının da buna bağlı olarak arttığı gözlenmiştir.

- Aynı miktarda çimento, su ve katkı malzemesi kullanılarak yapılan deney numuneleri deney sonuç grafiklerinde görülebileceği gibi maksimum dane boyutu 31,5 mm olan numunelerde birim ağırlıktaki artışın basınç dayanımına etkisi diğer maksimum dane boyutlu olan gruplara nazaran daha fazla olduğu görülmüştür.

- Aynı basınç dayanımındaki farklı maksimum dane boyutlu betonlarda dane çapı küçük olan numunelerin birim ağırlıkları daha küçük sonuç vermiştir. Beton birim hacim hacim ağırlıkları arasındaki farkın sebebi betonlarda kullanılan malzemenin birim ağırlıkları ve kullanım yüzdeleri olduğu açıktır.

4.2. Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları

4.2.1. Küp – Silindir Basınç Dayanımları Arasındaki Bağıntı

Maksimum dane yarıçapı 4 mm, 8 mm ve 16 mm olan numunelerin küp ve silindir basınç dayanımlarının birbirlerine çok yakın çıkmıştır. Betonların basınç dayanımlarının 16 mm'ye kadar dane boyutundan çok fazla etkilenmediği görülmüştür. Silindir basınç dayanımı ile küp basınç dayanımı arasındaki ilişkide korelasyon katsayıları $R_4 = 0,99$, $R_8 = 0,99$, $R_{16} = 0,99$, $R_{31,5} = 0,99$ bulunmuştur. Buna bağlı olarak;

$$f_{cs4} = 4,5586 \times e^{0,0664x} \quad (4.9)$$

$$f_{cs8} = 4,9106 \times e^{0,0505x} \quad (4.10)$$

$$f_{cs16} = 6,194 \times e^{0,0429x} \quad (4.11)$$

$$f_{cs31,5} = 5,3282 \times e^{0,0442x} \quad (4.12)$$

bağıntılarına ulaşılmıştır. Bunlara bağlı olarak maksimum dane çapı 4 mm, 8 mm ve 16 mm olan numunelerin sonuçlarından elde edilen formüllerde silindir basınç dayanımı ile küp basınç dayanımı arasında çok az fark vardır. Dane çapı büyüdükçe aradaki bu fark açılmakta ve küp numunelerin basınç dayanımları daha büyük oranda artmaktadır. Maksimum dane boyutu 31,5 mm olan numunelerin diğerlerinden ayrılmasını ve küp ile silindir basınç dayanımları arasındaki farklılığı küçük maksimum dane boyutlarında karışımın numune kaplarına daha iyi yerleşimi, kalıp geometrisinin etkisinin azaldığı oysa dane boyutu 31,5 olduğunda yerleşim ve kalıp geometrisinin etkisinin artması olarak gözlenmiştir.

4.2.2. Küp ve Silindir Basınç Dayanımı ile su/çimento Oranı Arasındaki Bağıntı

Küp basınç dayanımı ile su/çimento arasındaki ilişkide bulunan korelasyon katsayıları, $R_4 = 0,92$, $R_8 = 0,95$, $R_{16} = 0,87$, $R_{31,5} = 0,91$'dir.

$$f_{ck4} = 76{,}195\ e^{-1{,}4439x} \quad (4.13)$$

$$f_{ck8} = 89{,}039\ e^{-1{,}394x} \quad (4{,}14)$$

$$f_{ck16} = 81{,}322\ e^{-1{,}2082x} \quad (4.15)$$

$$f_{ck31{,}5} = 105{,}82\ e^{-1{,}4493x} \quad (4.16)$$

Silindir basınç dayanaımı ile su/çimento ile arasındaki korelasyon katsayıları ise, R_4 = 0,93, R_8 = 0,95, R_{16} = 0,94, $R_{31,5}$ = 0,94 olarak bulunmuştur. Elde edilen bağıntılar ise;

$$f_{cs4} = 87{,}230\ e^{-1{,}4519x} \quad (4.17)$$

$$f_{cs8} = 82{,}436\ e^{-1{,}3569x} \quad (4.18)$$

$$f_{cs16} = 83{,}088\ e^{-1{,}2082x} \quad (4.19)$$

$$f_{cs31{,}5} = 102{,}7\ e^{-1{,}4529x} \quad (4.20)$$

olarak bulunmuştur. Buradan dane boyutundan bağımsız olarak w/c oranının azaldıkça basınç dayanımının arttığı sonucu çıkar.

4.2.3. Elastisite Modülü ile su/çimento Oranı Arasındaki Bağıntı

Şekil 3.6.'da elastisite modülü su/çimento arasındaki ilişki verilmiştir. Bu ilişkide korelasyon katsayıları R_4 = 0,90, R_8 = 0,96, R_{16} = 0,92, $R_{31,5}$ = 0,94 olarak bulunmuştur. Buradan da;

$$E_4 = 46079\ e^{-0{,}7123x} \quad (4.21)$$

$$E_8 = 67261\ e^{-0{,}8507x} \quad (4.22)$$

$$E_{16} = 55432\ e^{-0{,}6266x} \quad (4.23)$$

$$E_{31{,}5} = 70919\ e^{-0{,}7876x} \quad (4.24)$$

Bu bağıntılara bakıldığında;

- Maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın deney numunelerinde su / çimento oranı arttıkça numunelerin elastisite modülleri düşmüştür.

- Maksimum dane boyutu 4 mm ve 8 mm olan deney numunelerinin elastisite modülü değişimlerinin su / çimento oranına bağlı değişimleri parallellik gösterdiği gözlenmiştir.

4.2.4.Ultrases Hızı ve Basınç Dayanımı Arasındaki Bağıntı

Şekil 3.7 ve 3.8.'de de görüleceği gibi ultrases hızı ile basınç mukavemeti doğru orantılıdır. Küp numuneler için korelasyon katsayıları R_4 = 0,98, R_8 = 0,99, R_{16} = 0,99, $R_{31,5}$ = 0,99 bulunmuştur. Aralarındaki bağıntı ise;

$$f_{ck4} = 0{,}1677\ e^{1{,}0697x} \quad (4.25)$$

$$f_{ck8} = 0{,}149\ e^{1{,}0956x} \quad (4{,}26)$$

$$f_{ck16} = 0{,}163\ e^{1{,}0542x} \quad (4.27)$$

$$f_{ck31,5} = 0{,}127\ e^{1{,}0582x} \quad (4.28)$$

olarak bulunmuştur. Silindir numuneler için ise korelasyon katsayıları R_4 = 0,99, R_8 = 0,99, R_{16} = 0,98, $R_{31,5}$ = 0,99'dur. Aralarındaki bağıntılar ise,

$$f_{cs4} = 0{,}1035\ e^{1{,}2790x} \quad (4.29)$$

$$f_{cs8} = 0{,}104\ e^{1{,}230x} \quad (4.30)$$

$$f_{cs16} = 0{,}0606\ e^{1{,}330x} \quad (4.31)$$

$$f_{cs31,5} = 0{,}0695\ e^{1{,}255x} \quad (4.32)$$

olarak elde edilmiştir. Buna göre, basınç dayanımı arttıkça hem küpte hem de silindirde ultrases hızı artmaktadır.Bu da numunedeki boşluk miktarının azalması ile alakalıdır. Aynı basınç altında küçük maksimum dane çaplı betonlar daha düşük ultrases hızı sonuç vermesi bu betonların daha boşluklu bir yapıya sahip olduklarını gösterir.

4.2.5.Ultrases Hızı ve Elastisite Modülü Arasındaki Bağıntı

Ultrases hızının karesi ile elastisite modülü arasındaki ilişki Şekil 3.9.'da gösterilmiştir. Korelasyon katsayıları; R_4 = 0,98, R_8 = 0,99, R_{16} = 0,98, $R_{31,5}$ = 0,99.'dur. Aralarındaki bağıntı,

$$E_4 = 5274{,}6\ e^{0{,}0830x} \quad (4.33)$$

$$E_8 = 4635{,}1\ e^{0{,}0955x} \quad (4.34)$$

$$E_{16} = 5737{,}7\ e^{0{,}079x} \quad (4.35)$$

$$E_{31,5} = 6131{,}2\ e^{0{,}0757x} \quad (4.36)$$

olarak elde edilmiştir.Küp ve silindir deney numuneleri elastisite modülü değerleri ultrases hızı karesiyle ilişkisi kurulduğunda maksimum dane boyutu 4 mm ve 8 mm olan numunelerin elastisite modülü ultrases değişimleri parallellik göstermiştir.

Ultrases hızının karesinden gidildiğinde elastisite modülünün dane boyutundan etkilenmediği gözlenmiştir.

4.2.6. Kompasite ile Basınç Dayanımı Arasındaki Bağıntı

Kompasite ile küp ve silindir basınç dayanımları arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 3.10'da ve Şekil 3.11.'de verilmiştir. Küp numuneler için korelasyon katsayıları R_4 = 0,98, R_8 = 0,97, R_{16} = 0,99, $R_{31,5}$ = 0,98. Aralarındaki bağıntı ise,

$$f_{ck4} = 2x10^{-6}\ e^{20,570x} \quad (4.37)$$

$$f_{ck8} = 8x10^{-6}\ e^{19,082x} \quad (4,38)$$

$$f_{ck16} = 1x10^{-10}\ e^{32,548x} \quad (4.39)$$

$$f_{ck31,5} = 3x10^{-6}\ e^{20,499x} \quad (4.40)$$

olarak bulunmuştur. Silindir numuneler için korelasyon katsayıları ise, R_4 = 0,95, R_8 = 0,96, R_{16} = 0,98, $R_{31,5}$ = 0,97'dir. ArAlarındaki bağıntı ise;

$$f_{cs4} = 2x10^{-6}\ e^{20,608x} \quad (4.41)$$

$$f_{cs8} = 1x10^{-5}\ e^{18,657x} \quad (4.42)$$

$$f_{cs16} = 9x10^{-11}\ e^{32,795x} \quad (4.43)$$

$$f_{cs31,5} = 2x10^{-6}\ e^{20,608x} \quad (4.44)$$

Kompasite arttıkça çimento, agrega hacmi arttığından basınç mukavemeti de artmaktadır.

4.2.7. Basınç Dayanımları ile Bolomey ve Feret Bağıntıları Arasındaki İlişki

Feret ve Bolomey bağıntılarındaki katsayılar basınç dayanımlarının ortalama değerleriyle hesaplanmıştır. Bu katsayılar Tablo 3.1.'de verilmişti. Tablo 3.1.'de verilen F_k ve F_s sırasıyla küp ve silindir Feret katsayılarını, B_k ve B_s ise sırasıyla küp ve silindir Bolemey katsayılarını gösteriyor.

Tablo 3.1.'de görülen bir husus su/çimento oranı çok yüksek olan değerlerde negatif sonuç vermekte yani doğru sonuç elde edilememektedir.

- Küp deney numunelerinde basınç dayanımı ile Feret katsayısı arasındaki ilişki büyük maksimum daneli numunelerde birbiri ile çok yakın değerler almaktadır. Ancak 4 mm ve 8 mm maksimum daneli numunelerde ise bu değişim hızı daha büyük oranda olmuştur.

- Feret katsayısının basınç dayanımına bağlı olarak değişim hızındaki artış numunelerin maksimum dane boyutuna bağlı olarak değişmektedir. Bunun sebebi olarak da farklı daneli agregaların kaplara yerleşiminin farklı olmasıdır.

- Bolomey katsayısı ile basınç dayanımı arasındaki ilişkide ise, maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın doğru orantılı bir davranış gözlenmiştir.

4.2.8. Utrases Hızı ile Bolomey ve Feret Bağıntıları Arasındaki İlişki

- Küp deney numunelerinde ultrases hızı artışı ile Feret katsayısı değişimi maksimum dane boyutu 4 mm ve 8 mm olan numunelerde benzerlik göstermiştir.

- Silindir numunelerde ise ultrases hızı artışına bağlı olarak ile feret katsayısı artış hızı 8 mm'de en fazla olduğu gözlenmiştir.

- Hem küp hem de silindir numunelerinde ultrases hızı artışı ile Bolomey katsayısı değişimi maksimum dane boyutu 4 mm ve 8 mm olan numunelerde benzerlik göstermiştir.

4.2.9. Basınç Dayanımları ile Elastisite Modülleri Arasındaki İlişki

4.2.9.1. Elastisite Modülü Basınç Dayanımı İlişkisi

- Maksimum dane boyutundan bağımsız olarak elastisite modülü ile basınç dayanımı ilişkisi doğru orantılıdır.

- Dane boyutu büyük olan numunelerde, aynı basınç dayanımı altında, elastisite modülü daha büyük değer almaktadır.

4.2.9.2. Elastisite Modülü Basınç Dayanımının Karekökü İlişkisi

- Elastisite modülü basınç dayanımı ilişkisi maksimum dane boyutundan bağımsız olarak tüm numunelerde yaklaşık olarak aynı artışı göstermektedir.

4.2.9.3. ACI Formülü Kullanılarak Bulunan Elastisite Modülü ile Deneysel Olarak Bulunan Elastisite Modülü İlişkisi

- ACI formülünden bulunan elastisite modülü ile deneysel olarak bulunan elastisite modülü arasındaki ilişki maksimum dane boyutu 4 mm ve 8 mm olan numunelerde paralellik göstermiştir.

4.2.9.4. TS 500 Formülü Kullanılarak Bulunan Elastisite Modülü ile Deneysel Olarak Bulunan Elastisite Modülü İlişkisi

- TS 500'de elastisite E hesap formülünde 14000N/mm^2 sabit değerinden dolayı deneysel yolla bulunan elastiste modülünden yüksek değerler vermektedir.

- Deneysel sonuçlardan bulunan elastisite modüllerinin heasplarda TS 500'de bulunan elastiste modülü yerine kullanılmasında herhangi bir sakınca olmadığı görülmüştür.

4.3. Sonuçlar

1. Numunelerin basınç dayanımı birim hacim ağırlığı ilişkisi maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın doğru orantılıdır.

2. Maksimum dane boyutu küçük olan numunelerde küp basınç dayanımı ile silindir basınç dayanımı birbiri ile yakın değerler vermektedir.

3. Su / çimento oranı arttıkça maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın numunelerin basınç dayanımları düşmüştür. Aralarında ters orantı mevcuttur.

4. Maksimum dane boyutu ile değişmeksizin su / çimento oranı azaldıkça elastisite modülü artmaktadır.

5. Ultrases hızı maksimum dane boyutuna göre değişmemektedir. Ancak Ultrases hızının düşük çıkması küçük daneli numunelerdeki hava miktarının fazlalığını gösterir.

6. Elastisite modülü ultrases hızı ilişkisi incelendiğinde elastisite modülünün dane boyutundan bağımsız olduğu gözlenir.

7. Kullanılan agrega yüzdeleri arasından maksimum dane yarıçapı 31,5 mm olan numunelerde kompasitenin en fazla olduğu görülmüştür. Kompasitesi yüksek olan numunelerin basınç dayanımlarının yüksek olduğu görülmüştür. Ancak basınç dayanımının dane boyutundan bağımsız olduğu gözlenmiştir.

8. Küp deney numunelerinde feret katsayısının artışının basınç dayanımının artışına etkisi 4 mm ve 8 mm olan numunelerde daha küçük oranda olmuştur. Maksimum dane boyutu 16 mm ve 32 mm olan numunelerde ise feret katsayısı artışının basınç dayanımına etkisi daha fazladır.

9. Silindir numunelerde de feret katsayısı artışının basınç dayanımının artışına etkisi 4 mm ve 8 mm olan numunelerde daha büyük oranda olmuştur. Maksimum dane boyutu 16 mm ve 32 mm olan numunelerde ise feret katsayısı artışının basınç dayanımına etkisi daha azdır.

10. Bolomey katsayısı maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın basınç dayanımı ile doğru orantılı olarak değişmektedir.

11. Ultrases hızı ile Feret katsayısı arasındaki ilişki doğru orantılıdır. Bu ilişki maksimum dane boyutu 4 mm, 8 mm ve 16 mm olan numunelerde paralellik göstermiştir. 31,5 mm maksimum dane boyutlu numuneler farklı oranlarda artış göstermiştir.

12. Silindir numunelerde ultrases hızı Feret katsayısı ilişkisinde değişken eğimli grafikler elde edilmiştir. Burada ultrases hızına bağlı feret kat sayısı artışı maksimum dane boyutu 8 mm olan numunelerde gözlenmiştir.

13. Ultrases hızı bolomey katsayısı ilişkisinde, hem küp numunelerde hem de silindir numunelerde, maksimum dane boyutu 4 mm olan ile 31,5 mm olan benzerlik göstermiştir. 8 mm olan numunelerde artış hızı en büyüktür.

14. Maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın, elastisite modülü basınç dayanımı ilişkisinin doğru orantılı olarak değiştiği gözlenmiş, basınç dayanımı aynı olan numunelerde, maksimum dane boyutu büyük olan numunelerde elastisite modülünün daha büyük olduğu gözlenmiştir.

15. Maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın ACI tarafından önerilen formül ile bulunan elastisite modülleri ile deneysel yolla bulunan elastisite modülleri maksimum dane boyutu farketmeksizin karekök fc'nin yaklaşık olarak 5,00 olduğu değere kadar paralellik göstermiştir. Üstündeki değerlerde ise ACI formülü ile bulunan elastisite modülleri daha büyük değerler almıştır.

16. TS 500'e göre bulunan elastisite modülü maksimum dane boyutuna bağlı olmaksızın deneysel olarak bulunan elastisite modüllerine oranla daha yüksek değerler almaktadır.

17. Deneysel açıdan bulunan elastisite modülü değerleri TS 500'de kullanılan değerlerin yerine kullanılmasının betonarme yapı açısından daha uygun olabileceği görülmüştür.

18. Numuneler dane boyutundan bağımsız olarak incelendiğinde, elastisite modülünün dane boyutundan etkilenmediğini gözlemliyoruz. Dane boyutundaki değişiklikler elastisite modülünü etkilememektedir.

19. Elastisite modülü karekök basınç değeri ilşkisi tüm numuneler için birlikte incelendiğinde, deneysel metod ile bulunan ilişki TS 500 formülü ile bulunan ile benzerlik göstermiştir. ACI I ve ACI II formülleri de benzer sonuçlar verse de nispeten farklı bir ilişki ortaya koymuştur.

KAYNAKLAR

[1] **Özkul, H., Taşdemir M. A. ve Tokyay M., UYAN M.;** 1999. Her Yönüyle Beton. Türkiye Hazır Beton Birliği, Tankaya Matbaası, İstanbul

[2] **Rixom, M. R. ve Mailvaganam, N P.,** 1986. Chemical Admixtures for Concrete, E&FN Spon, Londra

[3] **Güner A.,** Yerinde Beton Dayanımının Belirlenmesinde Boyut ve Biçim Etkisi Ders Notları

[4] **Celep, Z. ve Kumbasar, N**., 2005. Betonarme Yapılar, İhlas Gazetecilik A.Ş., İstanbul

[5] **Neville, A. M.,** 1993. Properties of Concrete, Third Edition, Longman Scientific and Technical.

[6] **Kalitekontrol.org**, www.kalitekontrol.org

[7] **Vikipedia,** www.vikipedia.org

[8] **Tosun K. ve Yazıcı B**., 2000. Baredan, İstanbul

[9] **Betonsa,** www.betonsa.com

[10] **Erodğan, T. Y.,** 1990. Betonu Oluşturan Malzemeler, Çimentolar, THBB, İstanbul

[11] **TS ENV 197-1**, 1999. Çimento İçinde Bulunabilecek Malzemeler

[12] **Yıldırım H.,** 2003. Hasan Yıldırım Ders Notları

[13] **Hidelberg,** www.hidelbergcement.org

[14] **TS 11222**, 2001. Beton- Hazır Beton- Sınıflandırma, Özellikler Performans Üretim ve Uygunluk Kriterleri

[15] **Hazbeton,** www.hazbeton.org

[16] **Postacıoğlu, B.,** 1969. Yapı Malzemesi, İTÜ Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul

[17] **Ağar, Z., Sütap, İ. ve Öztap G.,** 1998. Beton Yollar, İTÜ Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul

[18] **agrega.org,** www.agrega.org

[19] **Kocataşkın, F.,** (1973). Yapı malzemesi dersleri (beton-metal-ahşap). İstanbul: İ.T.Ü Matbaası Gümüşsuyu, İstanbul

[20] **Postacıoğlu B.,** 1987. Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton Cilt 1, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul

[21] **Karabulut, A. Ş.**, 2006.Reaktif Pudra Betonunun Özelliklerinin Mineral Katkılarla Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi,* Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

[22] **Postacıoğlu B.,** 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri Cilt 1, İTÜ Gümüşsuyu Matbaası, İstanbul

[23] **Arıoğlu E., Arıoğlu N. ve Yılmaz A. O.,** 2006. Beton Agregaları, Evrim Yayınevi, İstanbul

[24] **Korkmaz, Ç.**, 2005. Betonun Elastisite Modülüne Çakıl Agregasının Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi,* İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[25] **Akakın T.,** 2005. Betonun Mühendislik Özellikleri, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi Aylık Yayın Organı* **79**, 19-22

ÖZGEÇMİŞ

15.12.1982'de İstanbul'da doğdum. İlkokulu Hasan Ali Yücel İlkokulunda, orta okul ve liseyi ise Vefa Anadolu Lisesi'nde tamamladım. Yüksek öğrenimimi İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünde 2005 senesinde tamamladım. Halen İstanbul Teknik Üniversitesi'nde yüksek lisansa devam etmekteyim.