

126623

**İSTANBUL'DA 1999 DOĞU MARMARA DEPREMİ SONUCU HASAR
GÖREN BAZI BİNALARA AİT BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ VE DEĞERLENDİRİLMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Mimar Halil İNAN
(502991403)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 2 Ocak 2002
Tezin Savunulduğu Tarih : 18 Ocak 2002

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Nihal ARIOĞLU
Diğer Jüri Üyeleri Doç.Dr. Mustafa KARAGÜLER
Doç.Dr. Fevziye AKÖZ (Y.T.Ü.)

OCAK 2002

126623

ÖNSÖZ

İstanbul'da 1999 Doğu Marmara Depreminde hasar görmüş ve yıkılmış bazı binaların taşıyıcı sistemini oluşturan beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin ortaya koyulması, daha sonra bu betonları meydana getiren bileşenler olan harç ve agregaların beton örneklerinden ayrılması ve her birinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesiyle, kullanılan malzeme açısından binaların hasar görme nedenlerine ulaşılması ve bu beton örneklerinin geri kazanım olanaklarının ortaya konması bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır.

Bu çalışmalarım boyunca değerli tecrübeleri, teşvikleri ve yerinde uyarıları ile sonuca ulaşmama yardımcı olan sayın hocam Doç. Dr. Nihal ARIOĞLU ve Prof. Dr. Ergin ARIOĞLU' na, deneysel çalışmalar süresinde yardımlarını esirgemeyen Prof. Dr. Erol GÜRDAL ve Yapı Malzemesi Laboratuvarı Teknisyeni İbrahim ÖZTÜRK'e, İ.T.Ü Maden Fakültesi Dekan Yardımcısı Prof. Dr. Mustafa ERDOĞAN' a, fotoğraf çalışmalarında büyük özveri ile bana yardımcı olan değerli arkadaşım Emre BEKTÖRE' ye, her zaman bana destek olan aileme ve arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunarım.

Ocak, 2002

Halil İnan

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	viii
SEMBOL LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Araştırmanın Amacı	1
1.2 Araştırmanın Kapsamı	2
2. BETON AGREGALARI	3
2.1 Kimyasal Özellikler	6
2.1.1 Mineraloji ve Petrografi	6
2.1.2 Zararlı Maddeler	9
2.2 Geometrik Özellikler	12
2.2.1 Tane Şekli	12
2.2.2 Yüzey Dokusu	14
2.2.3 Tane Dağılımı (Granülometri)	15
2.2.4 Maksimum Tane Büyüklüğü	16
2.2.5 İncelik Modülü	17
2.3 Mekanik Özellikler	18
2.3.1 Basınç Dayanımı	18
2.3.2 Aşınma Dayanımı	19
2.3.3 Çarpma Dayanımı	19
2.3.4 Elastisite Modülü, Poisson Oranı	20
2.4 Fiziksel Özellikler	21
2.4.1 Birim Ağırlık	21
2.4.2 Özgül Kütle (Özgül Ağırlık)	22
2.4.3 Porozite (Boşluk Oranı)	23
2.4.4 Kompozite	24
2.4.5 Nem durumu	24
2.4.6 Su Emme Oranı	25
2.4.7 Donma – Çözünme Dayanımı	26

2.4.8	Isıl Özellikler	27
3.	BETON ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
3.1	Beton Örneklerinin Elde Edilmesi ve Üzerinde Deneysel Çalışma Yapmaya Uygun Numuneler Haline Getirilmesi	30
3.2	Deney İlkeleri	33
3.2.1	Birim Ağırlık Deneyi	33
3.2.2	Kılcallık Deneyi	33
3.2.3	Su Emme Deneyi	35
3.2.4	Yoğunluk (Özgül Ağırlık) Deneyi	36
3.2.5	Ultrases Deneyi	36
3.2.6	Eğilme Dayanımı Deneyi	36
3.2.7	Basınç Dayanımı Deneyi	37
3.2.8	Özgül Kütle Deneyi	38
3.2.9	Buhar Geçirgenliği Deneyi	38
3.3	Deney Sonuçları	40
3.3.1	Birim Ağırlık Deneyi	40
3.3.2	Kılcallık Deneyi	42
3.3.3	Yoğunluk Deneyi Sonuçları	44
3.3.4	Su Emme Deneyi Sonuçları	46
3.3.5	Ultrases Deneyi Sonuçları	47
3.3.6	Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları	51
3.3.7	Basınç Dayanımı Deneyi	52
3.3.8	Özgül Kütle Deneyi Sonuçları	54
3.3.9	Buhar Geçirgenliği Deneyi Sonuçları	54
3.4	Bölüm Sonuçları	56
4.	BETON ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ	60
4.1	Kılcallık Deneyi	60
4.2	Su Emme, Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk Deneyleri	60
4.3	Ultrases Deneyi	64
4.4	Eğilme ve Basınç Dayanımı	66
4.5	Bölüm Sonuçları	69
5.	BİLEŞENLER ÜZERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR	72
5.1	Örneklerin Bileşenlerine Ayrılması	72
5.2	Elde Edilen İri Agregaların Jeolojik ve Mineralojik Özellikleri	73

5.3 Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler	75
5.3.1 Elek Analizi	76
5.3.2 Su Emme, Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk Deneyleri	77
5.3.3 Özgül Kütle Deneyi	80
5.4 Harç Üzerinde Yapılan Deneyler	81
5.4.1 Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk Deneyleri	81
5.4.2 Özgül Kütle Deneyi	83
5.4.3 Asit Kaybı Deneyi	83
5.4.4 Elek Analizi	87
5.5 Bölüm Sonuçları	89
6. BİLEŞENLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İRDELEMESİ	95
6.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri	95
6.2 Yoğunluk Deneyleri	96
6.3 Su Emme Oranı Deneyleri	97
6.4 Ultrases Geçiş Hızı ve Dinamik Elastisite Modülü Deneyleri	100
6.5 Eğilme Dayanımı	102
6.6 Basınç Dayanımı	104
6.7 Özgül Kütle	105
6.8 Asit Kaybı	106
6.9 Bölüm Sonuçları	109
7. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE AGREGA GERİ KAZANIMI	112
7.1 1999 Yılında Yaşanan Depremler Sonucu Oluşan Hasar	112
7.2 Dünyada ve Türkiye'de İnşaat Atıkları	113
7.3 Geri Kazanılmış Agregaların Kullanım Alanları	117
8. SONUÇ VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	119
EKLER	122
ÖZGEÇMİŞ	135

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1 Özgül Ağırlık Değerlerine Göre Agregaların Sınıflandırılması.....	5
Tablo 2.2 ASTM standardına göre agredaki yıkanabilir taneler sınır değerleri.....	10
Tablo 2.3 TS 3820 de belirtilen %3'lük NaOH çözeltisi ile yapılan deney sonuçlarına göre agregada organik maddelerin durumu	10
Tablo 2.4 TS 706 ya göre agreganın alkaliye duyarlık derecesinin belirlenmesi ..	12
Tablo 2.5 BS 812' ye göre tane şekli sınıflaması	13
Tablo 2.6 BS 812' ye göre agrega yüzey dokusu sınıflaması	14
Tablo 2.7 TS 500' e göre en büyük agrega tane boyutu.....	17
Tablo 2.8 Bazı Kayaların Basınç Dayanımları.....	19
Tablo 2.9 Bazı Kayaçların Elastisite Modülü Değerleri	20
Tablo 2.10 Doğal Agregaların Ortalama Birim Ağırlık Değerleri	22
Tablo 2.11 Özgül ağırlık değerleri	23
Tablo 2.12 Su emme kapasiteleri	26
Tablo 2.13 Çeşitli standartlara göre beton agregaların sağlaması gereken fiziksel ve mekanik özellikler	29
Tablo 3.1 Temin Edilen Beton Örneklerin Yapısal Özellikleri.....	30
Tablo 3.2 Birim Ağırlık Deneyi Toplu Sonuçları	41
Tablo 3.3 Birim Ağırlık Deneyine ait istatistiksel değerleri	41
Tablo 3.4 1 Numaralı Örnek İçin Kılcallık Deney Sonuçları.....	43
Tablo 3.5 Kılcallık Deneyine ait istatistik değerleri.....	44
Tablo 3.6 2 Numaralı Örnek İçin Yoğunluk (D) Deney Sonuçları	44
Tablo 3.7 Yoğunluk Deneyi Toplu Sonuçları	45
Tablo 3.8 Yoğunluk Deneyine ait istatistik değerleri.....	45
Tablo 3.9 Kütlece Su Emme Deneyi Toplu Sonuçları	46
Tablo 3.10 Kütlece Su Emme Deneyine Ait İstatistik Değerleri	47
Tablo 3.11 Hacimce Su Emme Deneyi Toplu Sonuçları	47
Tablo 3.12 Hacimce Su Emme Deneyine ait istatistik değerleri.....	48
Tablo 3.13 Ultrases Deney Sonuçları	49
Tablo 3.14 Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçlarına Ait İstatistik Değerleri	50
Tablo 3.15 Hesaplanan Dinamik Elastisite Modülü Değerlerine Ait İstatistik Değerleri	50
Tablo 3.16 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçlarına Ait İstatistik Değerleri.....	51
Tablo 3.17 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları.....	52
Tablo 3.18 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları	53
Tablo 3.19 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarına Ait İstatistik Değerleri	54
Tablo 3.20 Özgül Kütle Deneyi Sonuçları	55
Tablo 3.21 Buhar Difüzyon Direnç Katsayıları	55
Tablo 3.22 Fiziksel ve mekanik büyüklüklerin iyiden kötüye doğru göreceli olarak sıralanması.....	56

Tablo 3.23	Beton Örneklerinin Ortalama Porozite ve Kompozite Değerleri.....	58
Tablo 4.1	Ses Geçiş Hızına Göre Sınıflandırma	65
Tablo 4.2	Fiziksel ve Mekanik Büyüklüklerin Birbirleri Üzerinde Etkileri	70
Tablo 5.1	Elde Edilen Agregalar	72
Tablo 5.2	Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık Deney Tablosu	78
Tablo 5.3	Özgül Kütle Deneyi Tablosu.....	80
Tablo 5.4	Harçların Su Emme, Birim Hacim Ağırlık, Yoğunluk Deneyleri Sonuçları.....	81
Tablo 5.5	Özgül Kütle Deneyi Sonuçları	83
Tablo 5.6	Asit Kaybı Deneyi Tablosu.....	85
Tablo 7.1	17 Ağustos 2001 Marmara Depremi Sonrasında Hasarlı Konut ve İşyeri Sayıları	112
Tablo 7.2	12 Kasım 2001 Düzce Depremi Sonrasında Hasarlı Konut ve İşyeri Sayıları	113
Tablo 7.3	İnşaat Atıklarının Atık Sahalarına Atılma Ücretleri	114
Tablo 7.4	Tipik Danimarka Aile Evi İçin Yeniden kullanılabilir ve Geri Kazanılabilir Malzemeler	115
Tablo 7.5	1992 yılı İstatistiklerine Göre Türkiye’de Yanan ve Yıkılan Yapı Adedi	117
Tablo B.1	Numune Boyutları	122
Tablo C.1	♦2(Eyüp) Numaralı Numuneler İçin Kılcallık Deney Sonuçları.....	123
Tablo C.2	▲3(Avcılar) Numaralı Numuneler İçin Kılcallık Deney Sonuçları	124
Tablo C.3	●4(Avcılar) Numaralı Numuneler İçin Kılcallık Deney Sonuçları.....	125
Tablo C.4	Eğilme Deneyi Sonucu ■1 No’lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri	126
Tablo C.5	Eğilme Deneyi Sonucu ♦2 No’lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri	127
Tablo C.6	Eğilme Deneyi Sonucu ▲3 No’lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri	128
Tablo C.7	Eğilme Deneyi Sonucu ●4 No’lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri	129
Tablo C.8	Buhar Geçirgenlik Katsayısı Deneyi Sonuçları	130
Tablo E.1	İri Agregaların Granülometri Deneyi Sonuçları.....	131
Tablo E.2	İnce Agregaların Granülometri Deneyi Sonuçları.....	132

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 2.1 : İri Agregaların Özellikleri ve Bunların Betona Etkime Biçimleri	28
Şekil 3.1 : Eyüp Bölgesinden temin edilen ■1 numaralı beton örnekleri.....	31
Şekil 3.2 : Eyüp Bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı beton örnekleri.....	31
Şekil 3.3 : Avcılar Bölgesinden temin edilen ▲3 numaralı beton örnekleri.	32
Şekil 3.4 : Avcılar Bölgesinden temin edilen ●4 numaralı beton örnekleri...	32
Şekil 3.5 : Numune 2.5.'te görülen soğuk derz.....	33
Şekil 3.6 : Etüv Fırınındaki Numuneler.....	34
Şekil 3.7 : Kılcallık Deneyi Düzeneği.....	35
Şekil 3.8 : Ultrases Deney Düzeneği.....	36
Şekil 3.9 : Eğilme Deney Düzeneği.....	37
Şekil 3.10 : Malzemenin Öğütülmesi	38
Şekil 3.11 : Buhar Difüzyon Deney Numuneleri.....	40
Şekil 3.12 : Beton Örneklerinin Karşılaştırmalı Birim Ağırlık Değerleri.....	41
Şekil 3.13 : Kılcallık katsayısı deneyi toplu sonuçları.....	42
Şekil 3.14 : Numune 3/1 için Grafik Yöntemle Kılcallık Katsayısı Bulunması.....	42
Şekil 3.15 : Karşılaştırmalı Yoğunluk Değerleri.....	45
Şekil 3.16 : Karşılaştırmalı Ortalama Kütlece Su Emme Oranı Değerleri.....	46
Şekil 3.17 : Karşılaştırmalı Ortalama Hacimce Su Emme Oranı Değerleri.....	48
Şekil 3.18 : Karşılaştırmalı Ortalama Ses Geçiş Hızı Değerleri.....	48
Şekil 3.19 : Karşılaştırmalı Ortalama Dinamik Elastisite Modülü Değerleri...	50
Şekil 3.20 : Karşılaştırmalı Ortalama Eğilme Dayanımı Değerleri	51
Şekil 3.21 : Karşılaştırmalı Ortalama Basınç Dayanımı Değerleri.....	54
Şekil 3.22 : Karşılaştırmalı Ortalama Özgül Kütle Değerleri.....	55
Şekil 4.1 : Birim Ağırlık – Kütlece Su Emme Grafiği.....	61
Şekil 4.2 : Birim Ağırlık – Su Emme Grafiği.....	62
Şekil 4.3 : ■1(Eyüp) Numaralı Numunelerin Zaman-Su emme Grafiği.....	62
Şekil 4.4 : ♦2 (Eyüp) Numaralı Numunenin Zaman-Su emme Grafiği.....	63
Şekil 4.5 : ▲3 (Avcılar)Numaralı Numunenin Zaman-Su emme Grafiği.....	63
Şekil 4.6 : ●4 (Avcılar) Numaralı Numunenin Zaman-Su emme Grafiği.....	63
Şekil 4.7 : Yoğunluk – Su Emme Grafiği.....	64
Şekil 4.8 : Birim Ağırlık-Ses Geçiş Hızı Grafiği.....	64
Şekil 4.9 : Birim Ağırlık – Dinamik Elastisite Modülü Grafiği.....	65
Şekil 4.10 : Yoğunluk– Ses geçiş hızı Grafiği.....	65
Şekil 4.11 : Yoğunluk– V ses geçiş hızı / Dinamik Elastisite modülü Grafiği.	66
Şekil 4.12 : Kütlece Su Emme – Basınç Dayanımı Grafiği.....	67
Şekil 4.13 : Hacimce Su Emme – Eğilme Dayanımı Grafiği.....	67
Şekil 4.14 : Yoğunluk – Basınç Dayanımı Grafiği.....	67
Şekil 4.15 : Basınç-Eğilme Dayanımı Grafiği.....	68
Şekil 4.16 : Ses Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Grafiği.....	68

Şekil 4.17	: Ses Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Grafiği.....	69
Şekil 5.1	: Kütlece iri agrega / beton oranları.....	73
Şekil 5.2	: Denizel kökenli Bazalt tanesi.....	73
Şekil 5.3	: Kuvartz ve opal tanecikleri.....	73
Şekil 5.4	: Karasal kökenli mıcır (Bazalt).....	74
Şekil 5.5	: Andezit Çakılı.....	74
Şekil 5.6	: Kuvartz ve opal taneleri.....	74
Şekil 5.7	: Karbonat tüfleri.....	74
Şekil 5.8	: Avcılar bölgesinden temin edilen ▲3 numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar.....	75
Şekil 5.9	: Kalker Mıcırı	75
Şekil 5.10	: Opal ve Kuvartz taneleri.....	75
Şekil 5.11	: A1 için Granülometri eğrisi.....	76
Şekil 5.12	: A2 için Granülometri eğrisi.....	76
Şekil 5.13	: A3 için Granülometri eğrisi.....	77
Şekil 5.14	: A4 için Granülometri eğrisi.....	77
Şekil 5.15	: Hacimce Su Emme – Eğilme Dayanımı Grafiği.....	78
Şekil 5.16	: Agregaların Karşılaştırmalı Kütlece Su Emme Oranları.....	78
Şekil 5.17	: Agregaların Karşılaştırmalı Yoğunluk Değerleri.....	79
Şekil 5.18	: Agregaların Karşılaştırmalı Hacimce Su Emme Oranları.....	79
Şekil 5.19	: Hacimce iri agrega / beton oranları.....	79
Şekil 5.20	: Agregaların Karşılaştırmalı Özgül Kütle Değerleri.....	80
Şekil 5.21	: Harçların Karşılaştırmalı Birim Ağırlık Değerleri.....	82
Şekil 5.22	: Harçların Karşılaştırmalı Kütlece Su Emme Değerleri.....	82
Şekil 5.23	: Harçların Karşılaştırmalı Hacimce Su Emme Değerleri.....	82
Şekil 5.24	: Harçların Karşılaştırmalı Yoğunluk Değerleri.....	83
Şekil 5.25	: Harçların Karşılaştırmalı Özgül Kütle Değerleri.....	84
Şekil 5.26	: Asit Kaybı Deney Düzeneği.....	84
Şekil 5.27	: Asit kaybı Deney Düzeneği(reaksiyonun devam etmesi).....	84
Şekil 5.28	: Harçların Karşılaştırmalı Asit Kaybı Değerleri.....	85
Şekil 5.29	: ■1(Eyüp) numaralı beton örneklerinden elde edilen ince agregalar.....	86
Şekil 5.30	: ♦2(Eyüp) numaralı beton örneklerinden elde edilen ince agregalar.....	86
Şekil 5.31	: ●4(Avcılar) numaralı beton örneklerinden elde edilen ince agregalar.....	87
Şekil 5.32	: H1 için Granülometri Eğrisi.....	88
Şekil 5.33	: H2 için Granülometri Eğrisi.....	88
Şekil 5.34	: H3 için Granülometri Eğrisi.....	88
Şekil 5.35	: H4 için Granülometri Eğrisi.....	89
Şekil 5.36	: Tipik bir beton karışımında kullanılan malzeme bileşenlerinin ağırlıkça payları.....	89
Şekil 5.37	: Tipik bir beton karışımında kullanılan malzeme bileşenlerinin ağırlıkça payları.....	90
Şekil 5.38	: ■1 (Eyüp) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları.....	90
Şekil 5.39	: ♦2 (Eyüp) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları.....	91
Şekil 5.40	: ▲3 (Avcılar) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları.....	91
Şekil 5.41	: ●4 (Avcılar) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları.....	91
Şekil 6.1	: Agrega ve Beton Birim Ağırlıklarının İlişkisi.....	95
Şekil 6.2	: Harç ve Beton Birim Ağırlıklarının İlişkisi.....	96

Şekil 6.3	: Agrega - Beton Yoğunlukları Grafiği.....	97
Şekil 6.4	: Kütlece Su Emme (Agrega – Beton) Grafiği.....	98
Şekil 6.5	: Kütlece Su Emme (Harç – Beton) Grafiği.....	99
Şekil 6.6	: Hacimce Su Emme (Agrega – Beton) Grafiği.....	99
Şekil 6.7	: Hacimce Su Emme (Harç – Beton) Grafiği.....	100
Şekil 6.8	: Agrega Yoğunluğu – Ultrases geçiş hızı Grafiği.....	101
Şekil 6.9	: Agrega Yoğunluğu – Dinamik Elastisite Modülü Grafiği.....	102
Şekil 6.10	: Agrega Birim Ağırlığı – Eğilme Dayanımı Grafiği.....	103
Şekil 6.11	: Agrega Yoğunluğu – Eğilme Dayanımı Grafiği.....	103
Şekil 6.12	: Agrega Özgül Kütlesi – Beton Basınç dayanımı Grafiği.....	104
Şekil 6.13	: Agrega – Beton özgül kütle Grafiği.....	105
Şekil 6.14	: Harç – Beton özgül kütle Grafiği.....	106
Şekil 6.15	: Harcın Hacimce Su emme oranı - Asitte kayıp ilişkisi.....	107
Şekil 6.16	: Harcın Kütlece Su emme oranı - Asitte kayıp ilişkisi.....	107
Şekil 6.17	: Betonun Kütlece Su Emme Oranı - Asitte kayıp ilişkisi.....	108
Şekil 6.18	: Harç irim Ağırlığı - Asitte kayıp ilişkisi.....	108
Şekil 7.1	: Belçika’da İnşaat Atıklarındaki Malzeme Oranları.....	114
Şekil 7.2	: Geri Dönüşebilecek Malzeme Oranları Belirtilen Tipik Danimarka Aile Evi.....	115
Şekil E.1	: ■1(Eyüp) numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar.....	133
Şekil E.2	: ♦2(Eyüp) numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar.....	133
Şekil E.1	: ●4(Avcılar) numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar.....	134

SEMBOL LİSTESİ

S_k	: Kütlege Su Emme Oranı	(%)
Δ	: Birim Hacim Ağırlık	(gr/cm ³)
N	: Kılcallık Katsayısı	(cm/√dak)
G_k	: Malzemenin Etüv Kuru Kütlesi	(gr)
G_d	: Malzemenin Suya Doygun Kütlesi	(gr)
G_{ds}	: Malzemenin Su İçindeki Kütlesi	(gr)
S_h	: Hacimce Su Emme Oranı	(%)
D	: Yoğunluk	(gr/cm ³)
V	: Ultrases Geçiş Hızı	(km/sn)
F_e, σ_e	: Eğilme Dayanımı	(N/mm ²)
F_b, σ_b	: Basınç Dayanımı	(N/mm ²)
δ	: Özgül Kütle	(gr/cm ³)
μ	: Buhar Geçirgenlik Katsayısı	
X	: Ortalama Değer	
S	: Standart Sapma	
(V)	: Değişkenlik Katsayısı	
X_{alt}	: Ortalamanın Alt Değeri	
$X_{üst}$	: Ortalamanın Üst Değeri	
■1,	: Eyüp Bölgesinden temin edilen 1 numaralı hasarlı bina örnekleri	
♦2,	: Eyüp Bölgesinden temin edilen 2 numaralı hasarlı bina örnekleri	
▲3	: Avcılar Bölgesinden temin edilen 3 numaralı hasarlı bina örnekleri	
●4	: Avcılar Bölgesinden temin edilen 4 numaralı hasarlı bina örnekleri	
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerikan Malzeme Cemiyeti)	
BS	: British Standards (İngiliz Standartları)	
TS	: Türk Standartları	

ÖZET

Ülkemiz, deprem riski yüksek bir bölgede yer almaktadır. Meydana gelen depremler sonucunda çok fazla miktarda bina yıkılmakta ve bir çok insan hayatını yitirmektedir. Yıkılan ve hasar gören bina sayısının fazla olmasına, binaların yerterli kalitede inşaa edilmemesi ve yeterli miktarda ve kalitede malzeme kullanılmaması sebep gösterilmektedir.

Bu çalışmanın amacı öncelikle İstanbul'da 1999 Doğu Marmara Depreminde hasar görmüş ve yıkılmış bazı binaların taşıyıcı sistemini oluşturan beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koymak, daha sonra bu betonları meydana getiren bileşenler olan harç ve agregaların beton örneklerinden ayrılarak her birinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesiyle, kullanılan malzeme açısından binaların hasar görme nedenlerine ulaşmak ve bu beton örneklerinin geri kazanım olanaklarını ortaya koymaktır. Tezin bütünü 6 aşamadan oluşmaktadır.

- 1. aşamada beton üzerinde en önemli etkiye sahip olan ve en fazla miktarda bileşim oranına sahip olan agregalar hakkında genel kavramlar açıklanmış, beton agregalarının kimyasal, geometrik, fiziksel ve mekanik özellikleri ve bu özelliklerin beton üzerindeki etkileri açıklanmıştır.
- 2. aşamada Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen 4 adet hasarlı binaya ait beton örnekleri üzerinde uygulanacak fiziksel ve mekanik deney ilkeleri açıklanmış, beton örneklerinin deneyler boyunca gösterdikleri fiziksel ve mekanik performansları istatistiksel değerlerle birlikte sunulmuştur.
- 3. aşamada beton örneklerinin uygulanan deneyler sonucu tespit edilen fiziksel ve mekanik büyüklükleri literatürde belirtilen standartlara göre değerlendirilmiş ve bu büyüklüklerin birbirleri ile ilişkileri ortaya konmuştur.
- 4. aşamada üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmış olan Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen 4 adet hasarlı binaya ait beton örnekleri harç ve iri agrega olarak bileşenlerine ayrılmış ve bu bileşenlerin uygulanan deneyler sonucu tespit edilen fiziksel büyüklükleri ve kimyasal özellikleri sunulmuştur.
- 5. aşamada Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen 4 adet hasarlı binaya ait beton örneklerinin bileşenleri olan harç ve agregaların deneyler boyunca gösterdikleri performansları karşılaştırılmış ve agrega-beton ve harç-beton olarak bileşen-bütün ilişkisi irdelenmiştir.
- 6. aşamada dünyada ve Türkiye'de agrega geri kazanım durum ve imkanları rakamlarla ortaya konmuştur.

DETERMINATION AND EVALUATION OF PROPERTIES OF CONCRETES, THAT BELONG TO SOME BUILDINGS IN İSTANBUL WHICH WERE DAMAGED AFTER THE 1999 EAST MARMARA EARTHQUAKE

SUMMARY

Turkey is located on a region, which has a high earthquake risk. Many buildings were damaged and too many people lost their lives by the earthquakes, happened in the past. People see the absence of the quality of the buildings and its materials as a reason of high number of buildings, that were damaged after earthquakes.

In this study, it is aimed to determine the physical and mechanical properties of concretes, belong to buildings in İstanbul, which are damaged after 1999 East Marmara Earthquake, to separate the concretes into their components as aggregate and mortar, to determine the chemical and physical properties of components (aggregates and mortar), to reach the reason of damaging of the buildings related to its material and to bring up the possibilities of recycling of the concrete rubbles. This thesis is formed totally from 6 chapters:

1. In the first chapter, the aim is giving basic information about the aggregates, which has the highest mix proportion in concrete and the great influence on concrete. The chemical, geometrical, physical and mechanical properties of aggregates and the influence of these properties on concrete are also explained.
2. The second chapter is covering the physical and mechanical testing procedures, that will be used on the 4 different concrete samples which are obtained from damaged buildings, located in Avcılar and Eyüp regions in İstanbul. The physical and mechanical performances of these concrete examples and their statistical values are also presented in this chapter.
3. In the third chapter, the examined physical and mechanical properties of the concrete samples, are evaluated to the standards that are presented in the literature and the relations of these physical and mechanical values are explained.
4. In the fourth chapter, the concrete samples, which their physical and mechanical properties are examined, are separated into their components as coarse aggregate and mortar. The chemical and physical values of the aggregates and mortar, which reached after some tests, are presented.
5. In the fifth chapter, the performances of the aggregates and mortar, which shown throughout the physical tests, are compared and the relations between aggregate-concrete and mortar-concrete are evaluated.
6. In the sixth chapter, the situation and possibilities of the recycling of aggregates in the world and Turkey is explained.

1. GİRİŞ

Ülkemizde 17 Ağustos 1999 tarihinde yaşanan Doğu Marmara Depremi sonucunda binlerce bina ağır hasarlı veya yıkık duruma gelmiş, on binlerce insan hayatını kaybetmiştir. Deprem sonrası, yapı kalitesi konusu gündeme gelmiş ve depremde yıkılan hatta içinde halen yaşadığımız binaların gerekli standartlara uygun inşaa edilmediği, depremlere karşı dayanıksız olduğu görüşü kamuoyu gündemini oldukça fazla meşgul etmiştir. Deprem sonucu çok fazla miktarda binanın yıkılmış ve hasar görmüş olmasına en büyük etken olarak, bina yapımını üstlenen müteahhitlerin kâr amacı güderek yeterli ve gerekli kalitede malzeme kullanmamaları sebep gösterilmiştir.

Deprem sonucu oluşan milyonlarca ton inşaat atığının tamamına yakını üzerinde hiçbir işlem uygulanmadan atık sahalarına uzaklaştırılmıştır. İnşaat atığı olarak taşıyıcı sistemi oluşturan betonarme ele alındığında ise, donatılar hurda ticareti yapan kimseler tarafından yıkılmış bina molozlarından ayrılarak toplanmış, bir anlamda kontrol altında olmadan ekonomiye geri kazandırılmıştır. Geri kalan beton molozları ise hiçbir işlem uygulanmadan, yaratacağı çevre kirliliği ve ulusal ekonomiye sağlayabileceği katkı göz önüne alınmadan denizlere veya atık sahalarına atılmıştır.

1.1 Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı öncelikle İstanbul'da 1999 Doğu Marmara Depreminde hasar görmüş ve yıkılmış bazı binaların taşıyıcı sistemini oluşturan bazı beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koymak, daha sonra bu betonları meydana getiren bileşenler olan harç ve agregaların beton örneklerinden ayrılması ve her birinin fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespit edilmesiyle, kullanılan malzeme açısından binaların hasar görme nedenlerine ulaşmak ve bu beton örneklerinin geri kazanım olanaklarını ortaya koymaktır.

1.2 Araştırmanın Kapsamı

1999 Doğu Marmara Depremi sonucu İstanbul'un Avcılar ve Eyüp bölgelerinde hasar görmüş veya yıkılmış 4 adet binadan temin edilen beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesi, örnekleri oluşturan harç ve agregaların fiziksel ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi, gerek beton gerekse harç ve agregası üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen tüm sonuçların değerlendirilmesi ve dünyada ve Türkiye'de agregası geri kazanım durumu ve imkanlarının araştırılması bu çalışmanın kapsamı içine dahil edilmiştir. Tezin bütünü 6 aşamadan oluşmaktadır.

- 1. aşamada beton üzerinde en önemli etkiye sahip olan ve en fazla miktarda bileşim oranına sahip olan agregalar hakkında genel kavramlar açıklanmış, beton agregalarının kimyasal, geometrik, fiziksel ve mekanik özellikleri ve bu özelliklerin beton üzerindeki etkileri açıklanmıştır.
- 2. aşamada Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen 4 adet hasarlı binaya ait beton örnekleri üzerinde uygulanacak fiziksel ve mekanik deney ilkeleri açıklanmış, beton örneklerinin deneyler boyunca gösterdikleri fiziksel ve mekanik performansları istatistiksel değerlerle birlikte sunulmuştur.
- 3. aşamada beton örneklerinin uygulanan deneyler sonucu tespit edilen fiziksel ve mekanik büyüklükleri literatürde belirtilen standartlara göre değerlendirilmiş ve bu büyüklüklerin birbirleri ile ilişkileri ortaya konmuştur.
- 4. aşamada üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanmış olan Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen 4 adet hasarlı binaya ait beton örnekleri harç ve iri agregası olarak bileşenlerine ayrılmış ve bu bileşenlerin uygulanan deneyler sonucu tespit edilen fiziksel büyüklükleri ve kimyasal özellikleri sunulmuştur.
- 5. aşamada Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen 4 adet hasarlı binaya ait beton örneklerinin bileşenleri olan harç ve agregaların deneyler boyunca gösterdikleri performansları karşılaştırılmış ve agregası-beton ve harç-beton olarak bileşen-bütün ilişkisi irdelenmiştir.
- 6. aşamada dünyada ve Türkiye'de agregası geri kazanım durumu ve imkanları rakamlarla ortaya konmuştur.

2. BETON AGREGALARI

Günümüzde beton, inşaat malzemesi olarak önemli bir yer tutmaktadır. Beton, mineral kökenli taneli malzemenin bir bağlayıcı ile birleştirilmesi ile üretilen yapay bir taştır. Bu birleşimde bağlayıcı madde çimento, taneli malzeme ise “agrega”dır.

Beton agregası ise, beton veya harç yapımında çimento ve harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme yardımıyla bir araya getirilen, organik olmayan, doğal ve yapay malzemenin genellikle 100 mm’ yi (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm’ yi) geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerinin oluşturduğu bir yığındır [1].

Beton hacminin yaklaşık %75’i agregalar tarafından kaplandığından, agregalar beton özellikleri üzerinde önemli etkilere sahiptir. Agregalar, çimentoya göre daha ucuz olduklarından dolayı, çimento hamuru içinde bir dolgu malzemesi olarak görülürler. Ancak gerçekte, agregalar sadece bir dolgu malzemesi değil, fiziksel, termal ve kimyasal özellikleriyle beton performansını yüksek derecede etkileyen önemli bir malzemedir [2]. Betonda agreganın kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı dayanımını artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli mukavemeti sağlayabilmesi sayılabilir. İçerisinde agreganın bulunan beton veya harç, sadece çimento hamurundan oluşan ve içerisinde agreganın bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği (büzülme) gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kuruması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlamlar agreganın tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur.[1]

Agregaların sınıflandırılması agregaları daha iyi tanımak, tarif etmek ve doğru kullanımını sağlayabilmek için yapılır. Sınıflandırma işlemi belirli bir sınıf içerisinde yer alan agreganın beton için uygunluğunu göstermez. Herhangi bir agreganın beton yapımı için uygunluğuna karar vermek için o agreganın deneysel olarak

özelliklerinin saptanmasına ve agregâ standartlarında belirtilen değerlere uygun olup olmadığını araştırılmasına gerek vardır.

Üretimlerine göre bir agregâ sınıflaması yapıldığında agregalar doğal ve yapay olarak iki sınıfa ayrılabilirler. Doğal agregalar nehir yatakları, teraslar, eski buzul yatakları, deniz ve göl kenarları, taş ocakları gibi doğadaki agregâ yataklarından alınarak gerektiğinde kırıcılarda kırılma, elenerek değişik boylarda sınıflara ayrılma ve yıkanma işlemlerinin dışında, doğadaki yapısında değişiklik yaratacak hiçbir işlem uygulanmadan kullanılan agregalardır. Kum, çakıl ve kırmataş en tipik ve en çok kullanılan doğal agregalardır. Hafif beton yapımında kullanılan ponza taşı ve bims gibi hafif agregalar ile ağır beton yapımında kullanılan hematit, barit, magnetit gibi demir cevherinin kırılmasıyla elde edilen ağır agregalar da doğal agregalar sınıfına girmektedir. [1]

Yapay agregalar, beton üretimi ile doğrudan ilgisi bulunmayan bir endüstri kolunda yan ürün olarak ortaya çıkan malzemeden üretilen agregalar veya bir malzemeye ısı işlem uygulayarak beton yapımı için uygun duruma getirilen agregalardır. Yüksek fırın cüruf taşı, izabe cürufu veya yüksek fırın cüruf kumu genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil gibi agregalar bu sınıfta sayılabilir [1]. İmal edilen agregalar genel olarak, işlenmemiş doğal agregalardan daha fazla üniform kaliteye sahiptir.

Agregalar için diğer bir sınıflama kriteri ise petrografik özelliklerdir. Bu sınıflamada agregalar üç sınıfa ayrılırlar:

- Volkanik (Püskürük) agregalar, erimiş lavların soğumasıyla oluşurlar. Granit, bazalt, diorit, gabbro, andezit ve ponza volkanik agregalara örnek olarak sayılabilirler.
- Tortul agregalar genellikle kireçtaşlarının çökmesi veya su, buz, rüzgar gibi etkilerle taşınan minerallerle birleşme sonucu oluşan kalsiyum karbonattan oluşan agregalardır.
- Metamorfik agregalar genel olarak volkanik ve tortul kayaçların sıcaklık ve basınç altında başkalaşmasıyla oluşurlar.

Genel olarak volkanik kayaçlar ince taneli, iyi birleşmiş durumdadırlar ve düşük oranda feldspat içerirler. Bu iyi beton için olumludur. [3]

Agregalar özgül ağırlıklarına göre sınıflandırıldığında normal, hafif ve ağır olmak üzere 3 grupta ele alınırlar. Sınıflandırmada kullanılan sınır değerleri Tablo 2.1’de görülmektedir. Betonun birim ağırlığı, en etkili şekilde agregaların özgül ağırlığı ile etkilenir [3]. Bu nedenle hafif agregalar, beton birim ağırlığını azaltmak, ses ve ısı yalıtımını artırmak için hafif beton üretiminde kullanılmaktadır. Su emme ve boşluk oranları oldukça yüksektir. Ponza, bims, volkan tüfleri, diyatamit, yüksek fırın cürufu, hızar talaşı, rende talaşı ve genleştirilmiş kil, perlit, şist gibi agregalar hafif agregalara örnek olarak verilebilir. [4]

Tablo 2.1 Özgül Ağırlık Değerlerine Göre Agregaların Sınıflandırılması

Sınıflandırma	Agregaların Özgül Ağırlık Değeri
Hafif agreg	$< 2,4 \text{ gr/cm}^3$
Normal agreg	$\cong 2,6 \text{ gr/cm}$
Ağır agreg	$> 2,8 \text{ gr/cm}$

Ağır agregalar nükleer santral, su deposu, hastanelerde röntgen odası gibi geçirimsizliği az, doluluk oranı yüksek betonlarda kullanılır. Barit, manyetit, hematit ve limonit ağır agregalara örnek olarak sayılabilirler. [4]

Tane boyutları, agreg

Karışık agreg

belirli tane dağılımı sağlayacak şekilde beton yapımı sırasında yerinde birbirine karıştırılması ile meydana gelen agregadır [6].

Agregalarla ilgili bazı tanımları açıklamak gerekirse: Çakıl, kırılmamış tanelerden oluşan iri agregadır. Kırmataş, betonda kullanılamayacak kadar büyük taşların veya büyük çakılların konkasörde kırılması ile elde edilen iri agregadır.

Kum, kırılmamış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Kırma kum, kırılmış tanelerden meydana gelen ince agregadır. Kırma kum, çakılın kırılması ile de elde edilir. Ancak bir tanenin kırılmış kabul edilmesi için yüzeyinin en az yarısının kırılmış olması gerekmektedir. Yapay kum, yüksek fırın cürufu gibi sanayi ürünü olan kırılmış veya kırılmamış ince agregadır. Taşunu (filler) ise 0.25 mm göz açıklı kare gözlü elekten geçen ince malzemedir.

Tane sınıfı, her hangi elek arasında kalan tanelerin meydana getirdiği bir yığındır ve bu iki elek açıklığı, alt ve üst anma büyüklüğü olarak tanımlanır. [6]

Agregalar kullanma yeri ve amacına göre, granülometrik bileşim, tane şekli, tane dayanımı, aşınma direnci, dona dayanıklılığı ve zararlı maddeler bakımından TS 706 standartının gereklerini yerine getirmelidir. Ayrıca suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. İlerleyen bölümlerde her konu hakkında ilgili standartlar belirtilmiştir.

2.1 Kimyasal Özellikler

Mineral agregaların beton içerisinde kimyasal olarak aktif olmadığı düşünülse de, karışım içerisinde kimyasal olarak aktif olan maddelerin belirli miktardan fazla bulunması beton için oldukça zararlıdır. Sözü geçen zararlı maddelerin tipi ve miktarı, agregadan agregaya büyük değişiklikler göstermektedir.

2.1.1 Mineraloji ve Petrografi

Doğal agregalar, kökenleri olan jeolojik kayaların petrografik özelliklerini taşırlar. Yapay agregaların petrografik özellikleri, jeolojik kayalarla ilişkili değildir. Genel olarak doğal taşlar, değişik minerallerin belli oranlarda yan yana gelmesiyle

oluşurlar. En yaygın kullanılan beton agregalarında bulunan mineraller aşağıda açıklanmıştır.

En yaygın karbonat minerali kalsit (kalsiyum karbonat) tir. Mermerin ana maddesi kalsittir. Dolomit minerali eşit miktarda kalsiyum karbonat ve magnezyum karbonat (ağırlıkça %54.3 ve %45.7) içerir [7]. Kalsit ve dolomit diğer minerallere nazaran yumuşaktır. Gerek kalsitlerde gerekse dolomitlerde kil damarlarına rastlanabilir. Bu damarlar açığa çıkınca, su ve nem etkisiyle şişer ve hasara yol açar. Kalsiyum karbonatlarla killerin karışmasından oluşan marn su karşısında şişen, kuruyunca büzülen kararsız bir taştır ve beton agregası olarak kullanılamaz. [8]

Killi mineraller çok geniş bir aile oluştururlar. Ana maddeleri hidrate alüminyum silikattır. İçlerinde magnezyum, demir, kalsiyum alkali metaller de bulunur. Bu nedenle ve kristal yapılarının değişikliği sonucu killer çok farklı davranışlar gösterirler. Killi malzemeler ıslanma ve kuruma esnasında büyük hacim değişiklikleri gösterirler. En yaygın türleri mont-morillonit, kaolinit ve illit tir. Müskovit gibi bazı mika türleri de kil olarak kabul edilebilir. Killer beton üretiminde tercih edilmemelidir. Ancak çok az miktarda kullanılan betonit kili su altı dökümlerinde ve pompa betonlarında yararlı olmaktadır.

Bu arada jeolojik etkiler sonucu kayalaşan killer de vardır. Bunlar, şeyl ve şistlerdir. Şeyl' ler daha ince tanelidirler, illit ve mont-morillonit taneciklerinin kuvarz ve mika ile kaynaşması sonucu meydana gelirler. Kuvarz oranı fazla olan şeyller kumtaşlarını (gre) oluştururlar. Şist'ler metamorfoza uğramış, yapraklanabilen tabakalı kültelerdir, mikaşist bu gruba girer. Suya dayanıksızlardır, su alınca şişer ve yapraklara ayrılırlar. Beton agregası olarak kullanılamazlar. Grovak, büyük basınç altında sıkışmış ve oldukça sağlam bir yapıya sahip bir kumtaşıdır. Nitekim ön deneysel araştırmalardan sonra bazı kumtaşları beton agregası olarak kullanılabilirler. [8]

Feldspat'lar yerkağunun en yaygın mineraller grubunu oluştururlar. Kimyasal olarak esasları alüminyum silikatlardır. Ayrıca potasyum, sodyum ve kalsiyum da içerirler. Feldspatlar granit, siyenit gibi bir çok püskürük kayalarda, kumtaşları gibi tortul kayalarda ve gnays gibi metamorfik kayalarda bulunurlar. Feldspatların en önemli sakıncası atmosfer etkisiyle bozularak kile dönüşmesidir. Mikron boyutunda

tanelerden oluşan kil beton teknolojisinde zararlı, istenmeyen bir malzemedir. Bu bakımdan, çok sağlam olan bir taş olan granit, ayrışmaya başlamışsa beton agregası olarak kullanılmaz. [8]

Silis minerallerinin çeşitli polifomları vardır. Bunlar içinde kuartz en yaygın ve en kararlı mineraldir. Kuartz, silisdioksit' ten oluşan sert bir malzemedir. Kuartzın yüksek sıcaklıklarda ısınması ve ani soğuması sonucu oluşan kristobalit ve tridimit ise kararsız aktif silis polifomlarıdır. Bunlar alkali reaktifliğine yol açabilirler. Yine, opal, kalsedon gibi tortul, riyolit, obsidyen gibi yüzeysel püskürük kayalar içerdikleri aktif silisli mineraller nedeniyle alkali reaktifliğine yol açarlar ve sakıncalı beton agregalarıdır.

Mika mineralleri feldspatlar gibi alüminyum silikat esaslıdır. Potasyum, magnezyum, demir, sodyum ve lityum içeren türleri vardır. Mikalar kolaylıkla yassı, eğrilebilir levhacıklara ayrılırlar. Bu yapı nedeniyle mikalı kumları ancak fazla miktarda su ile ıslatmak mümkündür. Betonda mika içeren kumlar kullanıldığında, betonun su gereksinimi artar ve mukavemeti düşer. Özellikle muskovit pegmatit denilen püskürük taşlarda ve bazı tortul ve metamorfik kayalarda mikaşist bulunur.

Kloritler, hidrate magnezyum silikat mineralleridir. Genellikle yeşil renklidirler. Serpantin bu gruba girer. Ancak ıslanma esnasında şişer, çatlaklı olabilir. Bu yüzden sakıncalı beton agregasıdır.

Pirit, demir sülfür esaslıdır. Bu mineral zamanla ve su etkisi ile ayrılarak demir oksit pasına $Fe(OH)_3$ ve sülfürik asite H_2SO_4 'e dönüşür. Bu ürünler beton için çok zararlıdır. Bu bakımdan pirit içeren agregaların kullanılmaması gerekir. [8]

Jips ve Anidrit, kalsiyum sülfatın doğada rastlanan şekilleridir. Jips iki molekül kristal suyu içerir. Anidrit ise su içermez. Bu mineraller alçı üretiminde kullanılırlar. Jips, bazen büyük boyutlara varan kristaller şeklindedir, saydam, yarı saydam ve beyaz, gri, renksiz olur. İçine karışan mineraller sayesinde renkli olanları da vardır. Anidrit de kristal yapılıdır, doğada daha seyrek bulunur. Her iki mineral de beton için çok tehlikelidir. Sülfat etkisi oluşturarak betona zarar verirler. Bu mineraller beton yapımında kullanılan kalker taşlarının içinde damarlar halinde bulunabilir. Bu durum agrega ocağı seçiminde dikkatli olmayı gerektirir. [8]

2.1.2 Zararlı Maddeler

Zararlı maddeler, betonun prizine veya sertleşmesine zarar veren betonun dayanımını veya kompozitesini azaltan, parçalanmasına neden olan veya donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan maddelerdir [5]. Agregalar bu tür maddeleri belli sınırların üzerinde içermemelidir. Bu maddeler:

- Yapısal olarak zayıf maddeler: şeyller, kumtaşları, kireçtaşları, mika tanecikleri
- Çimento hamuru ile agrega bağını zayıflatan kil, toz, kalsit
- Aşırı miktarda ve ayrı tanecikler halinde bulunduğu, kolloidal kil ve ince tozlar
- Çimentoya bağlanmayı geciktiren organik maddeler, sülfid gibi kimyasal aktif maddeler, beton yüzeyinde pas lekelerine sebep olan demir bileşikler
- Beton yüzeyinde çiçeklenmelere, donatının korozyonuna neden olan, suda çözünen tuzlar, sülfatlar, kloritler [7]

Agregalar, önce görünüşe ve gerektiğinde kokuya ve çıkarıldığı kaynağa göre değerlendirilir. Zararlı madde bulunduğu kanısı doğarsa, agrega veya beton üzerinde deneyler yapılır. Örneğin, mika taneciklerinin betona zarar verebileceği kuşkusuna varsa, kumun kullanılabilirliği beton yeterlilik deneyi ile doğrulanmalıdır. Zararlı maddeleri sınıflayacak olursak :

Tane büyüklüğü 0,063 mm'den küçük ince (yıkanebilir) taneler, agregada ince halde dağılmış halde, topak halinde veya agrega tanelerine yapışık durumda bulunabilir. Bu maddeler genellikle kil, silt ve çok ince taş unudur. Agregada bulunan ince taneler çok miktarda, agrega tanelerine yapışık olup kolaylıkla ayrılmaz durumda veya topaklar beton yapımı sırasında yumuşayarak kolaylıkla dağılmayacak durumdaysa, bu maddeler zararlı etkiler yapar.

Bu tür maddeler hem iri agregalar ile çimento hamuru arasındaki aderansı zayıflatır hem de betonun karma suyu gereksinimini artırır. Bu nedenle, sertleşmiş betonun dayanımını ve çevre koşullarına karşı dayanıklılığını olumsuz yönde etkiler. Ayrıca ,

beton yüzeyinde bozulmalara, çukurların oluşmasına neden olurlar. Bu nedenle, ince tanelerin miktarı Tablo 2.2’de belirtilen sınırlar içersinde tutulmalıdır [1].

Tablo 2.2 ASTM standardına göre agredaki yıkanabilir taneler sınır değerleri

Agrega grubu	İnce tanelerin ağırlıkça %’ si
Aşınmaya maruz kalacak ince agrega	3.0
İnce agrega	5.0
İri agrega	1.0

Agrega içerisinde çok küçük parçacıklar halinde dağılmış olan çürümüş bitki kökleri, humuslu topraklar ve diğer organik kökenli maddelerdeki tannik asit ve türevleri organik maddeler olarak adlandırılır ve çimento hidratasyonunu olumsuz etkilerler. Bu olay, organik maddelerin suda çözünmeyerek çimentoda hidrate kristallerinin oluşmasını önlemesi şeklinde açıklanabilir. Agregada bulunabilecek organik kökenli maddelerin miktarı çok olduğu takdirde ise, çimentonun prizi çok yavaşlar veya hiç meydana gelmeyebilir. Bu nedenle, başta betonun özellikle ilk günlerdeki dayanımı olmak üzere betonun diğer önemli özellikleri olumsuz etkilenir [1]. Organik maddeler beton içersinde taneli halde bulundukları zaman renk değişimine veya şişerek beton yüzeyinde patlamalara neden olabilirler [6]. Agregada organik maddelerin bulunup bulunmadığı, %3’lük NaOH çözeltisi ile yapılan deney sonucuna göre anlaşılır. Deney sonuçlarına göre agregaların durumu ve değerlendirilmesi Tablo 2.3’te sunulmuştur.

Tablo 2.3 TS 3820 de belirtilen %3’lük NaOH çözeltisi ile yapılan deney sonuçlarına göre agregada organik maddelerin durumu

Çözelti rengi	Organik madde	Agreganın durumu
Renksiz veya çok hafif sarı	Organik madde ya hiç yok veya çok az miktarda var.	Yüksek kaliteli beton için kullanıma elverişlidir.
Safran sarısı	Az miktarda var	Normal betonlarda kullanılabilir.
Belirli kırmızı	Var.	Ancak önemsiz işlerde kullanılır.
Belirli kahverengi	Çok var.	Kullanılamaz.

Özgöl ağırlıkları $2,0 \text{ gr/cm}^3$ 'ten küçük olan kömür, linyit, odun gibi taneler hafif maddeler olarak adlandırılır. Bu tür maddeler betonun dayanımını ve dayanıklılığını olumsuz olarak etkiledikleri gibi, beton yüzeyinde yer yer renk değişimlerine neden olurlar. ASTM C33 numaralı standarda göre agregalarda hafif madde kütlece %0,5'den fazla olmamalıdır [1].

Kükürtlü bileşikler; cinslerine, agrega içindeki miktarlarına ve ortam koşullarına bağlı olarak, betonda hasara yol açabilirler. Kükürtlü bileşiğin cinsi ve dağılımı hasarın oluşumunda etkilidir. İyi sıkıştırılmamış betonlarda, hava akımı ve nem etkisiyle oksitlenen sülfürler ve sülfatlar (alkali sülfatları, jips, anidrit gibi) zararlı olabilir. Sülfatlar, betondaki kireç ve alüminyum bileşikleri ile reaksiyona girerler ve zamanla büyüyen kristaller meydana getirerek betonun parçalanmasına neden olurlar. Barit (BaSO_4), nemli ortamda ile yapısı değişmediğinden, beton agregası olarak kullanılabilir. Agregadaki " SO_4 " olarak hesaplanan sülfat miktarı ağırlıkça %1 den büyük olmamalıdır.

Donatılı betonda kullanılacak agregalarda, donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye sokan, nitratlar, halojenürler (florürler hariç) gibi tuzlar zararlı miktarda bulunmamalıdır. Ön gerilmeli beton için kullanılacak agregalarda, suda çözünen klorürler, klor olarak hesaplandığında ağırlıkça % 0.2 den fazla bulunmamalıdır [6].

Belirli kökenli agregalar, reaksiyon yapabilen silisten (silisyum dioksitten) oluşan bileşenleri içerebilirler. Bu cins bileşenler, betonun boşluk suyunda çözünen alkali hidroksit ile kimyasal reaksiyona girerler ve önce berrak, yüksek konsantrasyonlu ve sonra yüksek viskoziteli alkali silikat çözeltisini oluştururlar. Alkaliye duyarlı agrega bileşenleri bu sırada çözünür. Reaksiyonun süresi ve şiddeti, özellikle agreganın alkali duyarlı bileşenlerinin cins ve miktarına, tane büyüklüğü ve dağılımına, betonun boşluğunda bulunan çözeltideki alkali hidroksit miktarına ve çevre koşullarına bağlıdır. Betondaki alkali reaksiyonu sırasıyla, yüzeye yakın alkaliye duyarlı agrega tanelerinin çiçeklenmesine, ayrışmasına, kabarmasına, betondan parçaların kopmasına, ince çatlaklara ve sonuçta betonun parçalanmasına neden olabilir.

Çakmaktaşı, çert, kumtaşı, bazalt, opalinli kaya, kökenli agregalarda bulunabilecek opal, kuvarz, tridimit, kristobalit gibi reaktif silisler, obsidyen, doğal cam içeren

taşlar alkali agrega reaksiyonuna yol açabilirler. Bunların her birinin miktarlarının belirli sınır değerlerini aşması halinde alkali hasarı oluşma olasılığı çok yüksektir. Bu değerler Tablo 2.4'te görülmektedir [1].

Tablo 2.4 TS 706 ya göre agreganın alkaliye duyarlık derecesinin belirlenmesi

Bileşenler	Duyarlık dereceleri için sınır değerleri, Ağırlıkça %		
	Sakıncasız	Şartlı kullanılabilir	Sakıncalı
Opalli kumtaşı+diğer opalli taşlar >1 mm	< 0.5	0.5-2.0	>
Reaksiyon yapabilen çakmaktaşı >1 mm	<3.0	3.0-10.0	>10.0
Opalli kumtaşı + diğer opalli taşlar + reaksiyon yapabilen çakmaktaşı	<4.0	4.0-15.0	>15.0

2.2 Geometrik Özellikler

2.2.1 Tane Şekli

İri agrega tanelerinin şekillerinin bu malzemenin karakteristikleri üzerinde çok önemli etkileri vardır. En ideal biçim maksimum hacim, minimum yüzey gösteren küredir. En uygun biçimli agrega taneleri küre ve küp şekline mümkün olduğu kadar yaklaşanlardır. Bu şekillerden çok ayrılan tanelere kusurlu taneler denir. Bunlar uzun ve yassı taneler olmak üzere iki şekilde bulunur. Tanenin en büyük boyutunun, en küçük boyutuna oranı 3 den büyük olan tanelere uzun taneler denir. Tane kalınlığının, en büyük boyuta oranı 0.35 den küçük olan tanelere ise yassı taneler denir. Agregaların tane şekillerine göre sınıflaması ve örnekleri Tablo 2.5'te görülmektedir. Her iki çeşit tanelerin fazla miktarda bulunması agreganın kompozitesini önemli derecede azaltır ve bu şekilde düşük mukavemetli betonların elde edilmesine yol açar. Bu zararlı etkiler, uzun ve yassı tanelerin agrega içinde bulunmasının boşluk miktarını arttırmasından, ve ayrıca işlenebilme özelliğini önemli derecede azaltmasından ileri gelmektedir [9]. Benzer şekilde şekilce kusurlu tane oranının yüksek olması, taze betonun işlenebilmesini olumsuz yönde etkilemekte, taze betonda su ihtiyacını ve terlemeyi arttırmakta, betonun perdahlanarak düzgün yüzeye getirilebilmesini güçleştirmektedir. TS 706' ya göre

tane büyüklüğü 8 mm ve daha fazla olan iri agregalarda yassı ve uzun (şekilce kusurlu) tane miktarının toplam agreganın % 50 sinden fazla olmaması gereklidir [8].

Tablo 2.5 BS 812' ye göre tane şekli sınıflaması [9]

Tane şekli	Açıklama	Örnekler
Yuvarlak	Tamamen su içerisinde sürtünme nedeniyle yuvarlaklaşmışlardır.	Nehir yada deniz kıyısı çakılları, çöl, deniz kıyısı ve rüzgarın serpiştirdiği kumlar
Şekilsiz	Tabii şekilsizdirler veya sürtünme nedeniyle ve kenarları yuvarlanmış biraz şekillidirler.	Diğer çakıllar, kum veya adi çakmak taşları
Köşeli	Pürüzlü düzlemsel yüzeylerin kenarlarda keşistiği bir yapıdır.	Kırılmamış külteler, yamaç molozu, camısı cüruf
Yassı	Agrega eninin diğer iki boyuta göre daha küçük olduğu agregalardır.	Laminallı kayaç
Uzun (prizmatik)	Genellikle köşeli ve bir boyutunun diğer iki boyutundan bariz şekilde büyük olduğu agregalardır.	Laminallı kayaç
Yassı ve uzun	Tane uzunluğunun eninden ve enin bariz bir şekilde kalınlıktan daha büyük olduğu agregalardır.	Laminallı kayaç

Şekilce kusurlu tanelerin miktarı fazla olduğunda taze betonda istenilen işlenebilme, betona ancak daha fazla karıştırma suyu katarak sağlanabilir ki, bu durum istenilen dayanım için gerekli olan su – çimento oranının yükselmesine neden olur. Su – çimento oranının yüksek olması beton dayanımının daha düşük olmasına yol açacağından ilk su – çimento oranını muhafaza edebilmek için, su miktarını arttırınca, çimento miktarını da arttırmak gerekir. Betondaki çimento miktarının artması da ekonomiyi etkiler. O bakımdan şayet beton yapımına uygun başka bir agregata temini ekonomik yönden çok büyük problem yaratmıyor ise, kusurlu agregaları kullanmamak gerekir. Öte yandan, başka bir agreganın çok zor ve pahalı olacak ise ve kusurlu agregata ile daha fazla çimento kullanılarak istenilen betonun elde edilmesi yine de daha ucuza geliyor ise o zaman kusurlu agregaların kullanılabilmesini hesaba katmak gerekir. [1]

2.2.2 Yüzey Dokusu

Beton üretiminde kullanılan agregalar ile çimento hamuru arasında büyük bir bağ kuvvetinin veya kuvvetli bir aderans mukavemetinin bulunması betonun mekanik mukavemetinin yüksek bir değer almasına yardım eder. Tanelerin yüzey pürüzlülüğü, agrega tanesi ile çimento hamuru arasındaki aderansa iyi yönde etkileyen en önemli özelliktir. Pürüzlülük yüksek ise çimento hamuru ile agrega taneleri arasında geniş bir temas yüzeyi vardır. Ayrıca yüzeyde bulunan girinti ve çıkıntılara çimento hamurunun girmesi bu iki farklı malzemenin birbirinden ayrılmasını zorlaştırır. Bunun tam tersine, pürüzsüz yüzeye sahip olan taneler ile çimento hamuru arasında aderans hiçbir zaman yüksek bir değere ulaşamaz. Tablo 2.6'da agregaların yüzey dokusu sınıflaması görülmektedir [10]. Bu bilgilerden kırmataşların aderans mukavemetinin çakıllarınkinden daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. [9]

Tablo 2.6 BS 812' ye göre agrega yüzey dokusu sınıflaması

Grup	Yüzey dokusu	Özellikler	Örnekler
1	Camsı	Konkoidal (midye kabuğu)kırılması sonucu yüzeyler camsı	Siyah çakmaktaşı, obsidiyen camsı, cüruf
2	Pürüzsüz	Tanesel ve lamineli kültelerin pürüzsüz kırılması yada su içerisinde sürtünme nedeniyle düzleşmesi sonucu ortaya çıkarlar	Çakıl, çert, sleyt, mermer ve bazı riyolitler
3	Taneli	Kırılma neticesinde yüzeydeki keskinliklerin uniform şekilde yuvarlaklaşması sonucu oluşmuş yüzeyler.	Kumtaşı, oolit
4	Pürüzlü	Yapısında zorlukla görülebilen, orta ve ince taneseli kültelerin kırılması sonucu ortaya çıkan yüzeylerdir.	Bazalt, felsit, porfir, kireçtaşı
5	Kristalin	Yapısında kolayca görülebilen kristal parçacıkları vardır.	Granit, gabbro, gnays
6	Peteksi	Yüzeyde görülebilen boşluklar ve oyuklar vardır.	Tuğla, sünger taşı, köpük cüruf, genleştirilmiş kil,

Genel olarak bir agreganın yeterli derecede pürüzlü olup olmadığını kaba bir şekilde gözle anlamak mümkündür. Bu konuda kolaylık olması için aderans bakımından agreganın yüzeylerinin sıralaması Tablo 2.6'da görülmektedir. Aderans bakımından en baştaki agreganın en elverişsiz, en sondaki agreganın ise en iyi durumdadır [9].

2.2.3 Tane Dağılımı (Granülometri)

Bir agreganın yığını içerisindeki tanelerin büyüklüklerine göre gösterdikleri tane dağılım oranına granülometri denilmektedir. Agreganın yığınının granülometrisinin saptanmasında, agreganın taneleri, büyüklüklerine göre, belirli gruplara ayrılırlar. Her boy grubundaki agreganın tanelerinin toplam ağırlıkları bulunarak, tüm agreganın yığınının toplam ağırlığı içerisinde ne oranda yer aldığı belirlenir.

Elek analizi, agreganın numunesindeki tanelerin büyüklüklerine göre dağılım oranını, yani numune içerisinde hangi boy büyüklüğünde ne miktarda agreganın yer aldığını belirlemeye yarayan deneysel bir yöntemdir. Elek analizi yönteminin uygulanmasında, önce değişik büyüklükteki göz açıklığına sahip kare delikli standart elekler kullanılarak, en büyük göz açıklıklı elek en üstte, daha küçük olan daha altta ve en küçük olan en altta olacak şekilde düzenlenir. Değişmez ağırlığa kadar etüvde kurutulmuş (110 ± 5 °C) agreganın numunesi en büyük elek üzerine yerleştirilir ve sağa-sola, yukarı-aşağı hareketle eleme işlemine başlanır. Eleme işlemi sonunda her elek üzerinde kalan agreganın hassas olarak tartılarak her elek üzerinde ağırlıkça yüzde kaç agreganın kaldığı veya her elekten yüzde kaç agreganın geçtiği hesaplanır [1].

TS 130 da beton agregaları için aşağıdaki göz açıklıklarına sahip kare delikli elekler belirtilmektedir: 125mm, 90mm, 63mm, 31.5mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0.5mm, 0.25mm. Ancak yapı betonları için kullanılan agreganın büyüklüğü genelde 63 mm yi geçmemektedir. Bu nedenle, çoğu zaman kullanılan en büyük elek 63mm göz açıklıklı elek olmaktadır. Elek açıklıkları küçükten büyüğe doğru birbirinin iki katı büyüklüktedir [1]. Bu özellik grafik gösterimlerinde logaritmik skalaya göre elek mesafelerini eşit alabilme olanağı sağlar.

Agreganın granülometrisi, taze betonun kolayca karıştırılabilme, ayrışım yapmadan kolayca taşınıp yerine yerleştirilebilme ve sıkıştırılabilme özelliğini, kısacası betonun

işlenebilirliğini önemli ölçüde etkiler. Ayrıca agreganın granülometrisinin beton karışımında yer alacak malzemelerin oranları üzerinde de önemli etkisi bulunmaktadır. Agreganın granülometrisi, taze betondaki işlenebilmeyi etkilediğinden, istenilen kıvama sahip bir beton yapabilmek üzere kullanılacak karma suyu miktarını ve buna bağlı olarak su-çimento oranını da etkilemektedir. Su-çimento oranının ve malzeme oranlarının etkilenmesi, sertleşmiş betonun hemen hemen bütün özelliklerini etkiler. Sonuç olarak, uygun veya iyi bir agreganın granülometrisi, taze betonun karılması, taşınması ve yerleştirilmesi işlemlerinde ayrışmaya neden olmayarak, betonun uniform olmasını sağlayan, betonda istenilen düzeydeki işlenebilmenin ve yoğunluğun elde edilebilmesine yol açan agreganın tane dağılımıdır [1].

Karışık bir agreganın granülometrisinde hem iri hem de ince agreganın tanelerinin büyüklüklerine göre uygun bir dağılım göstermesi istenir. Ancak, ince agreganın kendi arasındaki tane dağılımı oranının beton özelliklerine etkisi, iri agreganın tane dağılımı oranının betonda yaratacağı etkiye göre, daha fazladır. Betonda kullanılan kum (4 mm elekten geçen malzeme) çok ince veya çok kalın tanelerden oluşmuş ise taze betonun ve buna bağlı olarak sertleşmiş betonun özellikleri üzerinde önemli etkileri olur.

Kumdaki çok ince taneler çoğunlukta ise, betonun işlenebilmesi ile birlikte su ihtiyacı da artar ve taze betonda ayrışma ve terlemeye yol açabilir. Kumdaki çok iri taneler çoğunlukta ise, işlenebilme azalır, yumuşak ve kolayca perdelanabilir bir beton elde edilemez. Bu durumda da betonun ayrışım eğilimi artar [1].

2.2.4 Maksimum Tane Büyüklüğü

En büyük tane boyutu veya maksimum tane çapı olarak da bilinen maksimum tane büyüklüğü, elek analizi yapılarak bulunur. Agreganın numunesindeki tanelerinin tümünün geçebildiği en küçük göz açıklıklı kare delikli elek, o agreganın en büyük tane boyutunu gösterir.

Mümkün olan en büyük tane boyutuna sahip agreganın kullanılması betonun işlenebilme özelliğini, su-çimento oranını, dayanımını ve bunlara bağlı olarak diğer önemli özelliklerini etkilemektedir. En büyük tane boyutu farklı olan, fakat hacimleri

aynı olan iki ayrı agregaya yığını düşünülecek olursa, daha büyük tanelerden oluşan agregaya yığınının içerisinde yer alan tanelerin yüzeylerinin toplamı diğerindeki tanelerin toplam yüzeyine göre daha küçüktür. O bakımdan, beton yapımında istenilen granülometriye uygun olmak şartıyla, mümkün olan en büyük tane boyutuna sahip bir agregaya kullanıldığında, agregaya tanelerinin yüzeyini ıslatacak ve işlenebilmeyi etkileyecek daha az miktarda karma suyuna ihtiyaç olur. Beton üretiminde, çimento miktarı sabit tutulduğu takdirde, en büyük agregaya tane boyutunun kullanılması ile betonun kıvamında artış görülür ve işlenebilme etkilenir.

Beton yapımında mümkün olan en büyük tane boyutuna sahip agreganın kullanılması ile betonun işlenebilmesi ve dayanımı olumlu yönde etkilenir. Ancak, en büyük tane boyutunun ne olabileceği kalıp genişliğine, döşeme derinliğine, ve yanyana iki donatı çubuğunun arasındaki uzaklığa bağlıdır (Tablo 2.7) [1].

Tablo 2.7 TS 500' e göre en büyük agregaya tane boyutu

En büyük tane boyutu	$\leq 1/5 \times \text{en dar kalıp genişliği}$
	$\leq 3/4 \times \text{en küçük donatı aralığı}$
	$\leq 1/3 \times \text{döşeme derinliği}$

Yapılan araştırmalar göstermektedir ki, betonda aranan özellikler en büyük tane boyutu 25-38 mm olan agregalar ile elde edilmektedir. En büyük agregaya tane büyüklüğü 38 mm den daha büyük agregalar kullanıldığında, su çimento oranı azalmakla birlikte, agregaya tanelerinin toplam yüzeyinde de önemli ölçüde azalma olmaktadır. Bunun sonucu olarak da agregaya-çimento aderansı zayıflamaktadır. [1]

2.2.5 İncelik Modülü

İncelik modülü agregaya granülometri özelliği hakkında bilgi sağlayan ampirik bir sayısal değerdir. Bu değer elek analizinde bulunan tane dağılımı oranlarının hesap yoluyla elde edilir. Elek analizinde göz açıklığı en küçük olan elek en altta olmak üzere küçükten büyüğe doğru dizilmiş olan kare delikli standart elekler üzerinde kalan agreganın yığılımlı yüzdelilerinin toplamının 100 e bölünmesi ile elde edilen sayıya incelik modülü denilmektedir. [1]

$$\text{İncelik modülü} = \sum \text{Elek üzerinde kalan agreganın yığışımı} / 100 \quad (2.1)$$

$$\text{İncelik modülü} = \log A / 30.1 \quad , A: \text{eğrinin üst kısmında kalan alan} \quad (2.1a)$$

İncelik modülü, agregadaki tanelerin büyüklüğünün, ortalama olarak ne durumda olduğunu, yani, agreganın inceliğini veya kalınlığını belirtmektedir. Bir agregada taneler incelektişte veya boyutları küçük olan agrega tanelerin miktarı arttıkça incelik modülü küçük değer almaktadır. Benzer şekilde agrega taneleri irileştikçe incelik modülü büyük değerler alır. İncelik modülü elek sayısı ile ilgili bir büyüklüktür. Bundan dolayı incelik modülü değeri ile birlikte elek sayısı da belirtilmelidir.

Granülometri bileşimi değişik olan agregaların incelik modülleri aynı olabilir. Diğer bir deyişle incelik modülü aynı olan, fakat granülometri bileşimleri birbirinden belirgin derecede farklı olan agregalar vardır. Bundan dolayı incelik modülü agreganın granülometri bileşimi için yeterli derecede bir gösterge sayılamaz [9].

2.3 Mekanik Özellikler

Doğal bir malzeme olan agregalarda aranılan en önemli özelliklerden biri mekanik dayanımlarının ve özellikle basınç dayanımının yüksek olmasıdır. Mekanik dayanımı düşük olan agregalarla yüksek dayanımlı bir beton elde etme olasılığı çok düşüktür [9]. Basınç, aşınma ve çarpma dayanımı, sertlik, elastisite modülü ve poisson oranı agregaların mekanik özelliklerinin tanımlanmasında göz önünde tutulan özelliklerdir.

2.3.1 Basınç Dayanımı

Betonda kullanılan agregaların basınç dayanımı agrega tanelerinin olduğu kaya parçalarının basınç dayanımlarına bağlıdır ve bu dayanım genellikle sertleşmiş çimento hamurunun basınç dayanımından daha yüksektir. Bir genelleme yapılırsa, nehir yataklarından elde edilen yuvarlak agregalar sert ve basınç dayanımı yüksek agregalardır. TS 706'ya göre beton üretiminde kullanılacak agregaların basınç dayanımı 100N/mm²'den düşük olmamalıdır. Bazı kayaların basınç dayanımlarına ait yaklaşık büyüklükler Tablo 2.8'de görülmektedir [1].

Tablo 2.8 Bazı Kayaların Basınç Dayanımları

Kaya tipi	Basınç dayanımı
Granit	200 N/ mm ²
Kalker	160 N/ mm ²
Çakmaktaşı	210 N/ mm ²
Kuvartz	330 N/ mm ²
Kumtaşı	130 N/ mm ²

2.3.2 Aşınma Dayanımı

Beton yüzeyinin aşınmaya maruz kalacağı durumlarda, beton agregalarının aşınmaya dayanıklı olması istenir. Betonun aşınmaya maruz kalabileceği durumlar için şu durumlar örnek olarak sayılabilir:

- Üzerinde insan trafiği, hafif trafik veya kayarak sürtünmenin olabileceği kaldırım ve döşeme betonları
- Üzerinde ağır trafik bulunan, özellikle zincirli tekerlekleri olan kamyon ve otomobillerin hareket ettiği beton yollar
- Su kuvvetiyle sürtünmeye maruz kalan barajlardaki betonlar

Beton agregalarında aşınma oranı Los Angeles aşınma deneyi ile belirlenmektedir. Bu yöntemle göre, içerisinde dökme demir veya çelik bilyeler bulunan silindirik bir tamburun içerisine agregalar yerleştirilir. Tambur dakikada 30-33 dönüş yapacak hızda önce 100 kez sonra toplam 500 kez döndürülür. Ufalanmış agrega numunesi dışarı çıkarılarak 1,7 mm göz açıklıklı elekten elenir. Elekten geçen miktar tartılarak, agreganın yüzde olarak ne kadar aşındığı tespit edilir. TS 706'ya göre aşınma miktarı, 100 devir sonunda % 10'dan, 500 devir sonunda % 50'den fazla olmamalıdır [1].

2.3.3 Çarpma Dayanımı

Yol ve hava meydanlarını meydana getiren betonların çarpmaya dayanıklı olmasında, betonun üretiminde kullanılan agregaların önemli bir etkisi vardır. Bu

bakımdan, bu gibi yerlerdeki betonun içinde kullanılacak agregaların çarpmaya dayanımı önceden araştırılmalıdır.

Bu amaçla esas olarak basınç deneylerinden farklı olmayan bir yöntem agregası üzerinde uygulanmaktadır. Boyutları minimum “d” ile maksimum “D” arasında buluna agregası çelik bir silindir içine yerleştirilir. Bu agreganın üzerine belirli bir mesafeden, belirli bir ağırlık, belirli bir sayıda düşürülerek malzeme çarpma etkisi altında tutulur. Deneyden sonra malzeme “d” açıklıklı elekten geçirilir. Elekten geçen miktar ne kadar fazla ise çarpma etkisiyle parçalanma o kadar fazla olmuştur. Bu şekilde, “d” açıklıklı elekten geçen malzeme miktarına göre agregaların çarpmaya dayanımları bakımından bir sıralama yapılabilir. [9]

2.3.4 Elastisite Modülü, Poisson Oranı

Elastisite modülü malzemede oluşan gerilemenin boy değiştirme oranına oranıdır. Poisson oranı ise, belirli bir gerilim etkisi altında malzemedeki doğrusal deformasyonun yanal deformasyona oranıdır [11]. Agregaların elastisite modülü ve Poisson oranları, betonun şekil değiştirme özelliklerini etkilemektedir. Bazı kayaçların ortalama elastisite modülü değerleri Tablo 2.9’da sunulmuştur.

Tablo 2.9 Bazı Kayaçların Elastisite Modülü Değerleri

Kayaç grubu	Elastisite modülü
Volkanik kökenli	50.000 –100.000 N/ mm ²
Tortul kökenli	25.000- 70.000 N/ mm ²
Silisli çakıllar	65 N/ mm ²

Tablo 2.9’da görülen Elastisite Modülü değerleri, hafif agregalarda daha düşüktür. Normal ağırlıklı agregalarda Poisson oranı ise 0,15 – 0,35 değerleri arasında değişim göstermektedir [1].

2.4 Fiziksel Özellikler

Fiziksel özellik, malzemenin fiziksel deney yöntemleri ile ölçülebilen özelliklerini kapsar. Bunlar; dış boyutlar, birim hacim ağırlık, yoğunluk, özgül kütle, porozite, su emme ve ısı özellikleri arasında sayılabilecek özgül ısı, ısı iletkenlik ve genleşme katsayıları gibi özelliklerdir [11].

2.4.1 Birim Ağırlık

Agrega birim ağırlığı belirli hacimdeki bir kabı dolduran agreg tanelerinin toplam ağırlığının kabın hacmine bölünmesi ile saptanır. Burada kullanılan hacim hem agreg tanelerinin hacmini hem de aralarındaki boşlukları içermektedir. Belirli bir kap içerisine yerleştirilen agreg tanelerinin toplam ağırlığı o hacim içerisinde ne kadar az veya ne kadar çok agreg tanesinin yer almasına bağlıdır. Bunu etkileyen faktörler şu şekilde sayılabilir:

- Agreg granülometrisi
- Tane şekli, kusurlu taneler
- Tanelerin mevcut nem durumu
- Tanelerin kap içerisine gevşek veya sıkıştırılarak yerleştirilmiş olması

Belirli bir hacmi dolduran agreg tanelerinin toplam ağırlığı, tanelerin mevcut nem durumu ve kap içerisinde gevşek veya sıkıştırılmış olmalarına bağlı olarak farklı değerler göstereceğinden dolayı hesaplanan değerin hesaplanan değerin hangi koşullarda elde edildiği de mutlaka belirtilmelidir. TS 3529' a göre sıkıştırılmış birim ağırlık tayininde, agregalar silindir şeklindeki bir kap içerisine her seferinde kabın yüksekliğinin 1/3 ünü dolduracak şekilde üç ayrı aşamada doldurulmakta ve her aşamada bir demir çubukla 25' er defa şişlenerek sıkıştırılmaktadır. Yine aynı standarda göre her iki durumda (gevşek-sıkıştırılmış) da kullanılacak agreg hava kurusu olmalıdır.

Agreganın birim ağırlığı yüksek ise, sabit bir hacim içerisine çok miktarda agreg girebiliyor demektir. Birim ağırlık, agregaların belli bir hacim içerisinde bir araya gelerek ne kadar gevşek veya sıkı bir paket oluşturduğunu da gösterir. Birim ağırlık

değerinin yüksek olması, agrega tanelerinin arasındaki boşluğun az olduğunu gösterir. Bazı doğal agregaların birim ağırlığı Tablo 2.10'da görülmektedir [1].

Tablo 2.10 Doğal Agregaların Ortalama Birim Ağırlık Değerleri

Malzeme	Nem durumu	Birim ağırlık, (t/m ³ , gr/cm ³)	
		Gevşek	Sıkışmış
Kum	Kuru	1.52	1.68
	Nemli	1.44	
Çakıl	Kuru veya nemli	1.53-1.59	1.65-1.74
Karışık agreg	Kuru	-	1.88
	Nemli	1.72	-
Kırma taş	Kuru veya nemli	1.46-1.59	1.52-1.67

2.4.2 Özgül Kütle (Özgül Ağırlık)

Genel olarak cismin içinde boşlukların bulunmadığı haldeki birim hacim ağırlığına o cismin özgül kütlesi denir. Bir malzemenin özgül kütlesi ile birim hacim ağırlığı birbirine eşitse bu malzemenin boşluksuz olduğu anlaşılmaktadır. Ancak agreg ve betonlarda özgül kütle ve birim hacim ağırlık arasında daima bir fark vardır. Bu farkın miktarı ilerleyen bölümlerde bahsedilecek olan porozite ve kompozite değerlerinin belirlenmesine yarar [11].

Beton agregaları söz konusu olduğunda, özgül kütle agreg numunesindeki tanelerin yoğunluğu şeklinde yorumlanır. Agreg yığınındaki tanelerin arasındaki boşluklar hesapta kullanılacak hacme dahil değildir. Agreg özgül ağırlığı aşağıdaki formülle tanımlanır:

$$\gamma = \frac{G_k}{V_d} \quad (2.2)$$

Formül (2.2)'de, G_k ile etüvde kurutulmuş malzemenin havadaki ağırlığı (gr), V_d ile maddenin boşluksuz hacmi (cm³), γ ile özgül kütle (gr/cm³) ifade edilmektedir. Görüldüğü gibi hacim olarak sadece katı madde hacmi kullanılmakta, agreg

tanelerinde bulunabilecek su geçirgen veya su geçirmez boşlukların hacmi hesaba katılmamaktadır. Bu nedenle agreganın özgül ağırlığının bulunmasında, uygulamada, önce agrega dövülerek toz haline getirilmekte ve böylece boşlukların hacimleri ortadan kaldırılmış olmaktadır. Tablo 2.11’de bazı agregaların özgül ağırlık değerleri görülmektedir.

Bir betonda farklı özgül ağırlıklara sahip agregalar kullanılırsa agregaların ortak özgül ağırlığı, kullanılan agregaların özgül ağırlıklarının aritmetik veya harmonik (ağırlıkları oranında) ortalamaları alınarak hesaplanabilir. Agregaların özgül ağırlığı, betonun hacim kütlesi ve özgül ağırlığından başkaca da taze betonun ayrışma eğilimini ve ısı iletkenliğini etkiler [3].

Tablo 2.11 Özgül ağırlık değerleri

AGREGA TİPİ	ÖZGÜL AĞIRLIK
Normal ağırlıklı doğal agrega	2.4 – 2.8 g/cm ³
Betonda kullanılan normal agrega	2.5 – 2.8 g/cm ³
Kumtaşı	2.0 – 2.6 g/cm ³
Kalker	2.5 – 2.8 g/cm ³
Granit	2.6 – 2.8 g/cm ³
Hafif agregalar	<2.4 g/cm ³

2.4.3 Porozite (Boşluk Oranı)

Porozite değeri, malzemede bulunan boşluk hacminin, malzemenin tüm hacmine oranıdır [11]. Esası doğal taş olan agrega tanelerinde bir miktar boşluk bulunması doğaldır. Birçok bakımdan bu boşluğun bulunmasında fayda vardır. Agregatanelerindeki porozite doğal taşlarda olduğu gibi su emme deneyi yapılarak saptanır [9].

İri agregatanelerinin porozitesinin küçük olması bu tanelerin mukavemetinin yüksek bir değer almasını sağlayabilir. Mukavemeti yüksek olan taneler kullanılarak da betonun mekanik mukavemeti artırılabilir. Bu duruma göre beton üretiminde kullanılacak agregalarda porozite değeri belli bir değerden büyük olmamalıdır.

Fransız standardında verilen değerlere göre porozite genellikle % 10 dan küçük olmalı ve yüksek mukavemetli beton üretiminde ise % 5 değerini aşmamalıdır [9].

2.4.4 Kompozite

Birim ağırlığın, özgül ağırlığa oranı kompozite olarak ifade edilmektedir. Agregalar söz konusu olduğunda, birim ağırlık daima özgül ağırlıktan küçük olduğuna göre kompozite değeri de “1” den küçüktür. Çeşitli faktörlerin etkisi altında olan kompozite, agreganın gevşek halde ölçülen birim ağırlığı sonucu 0.45-0.70 arasında bir değer alır. Kompozite değeri ile porozite değeri birbirlerini “1”e tamamlarlar. Bir başka deyişle, kompozite değerini “1” değerine tamamlayan sayı o malzemenin porozite değeridir. Beton retiminde kullanılacak agregaların kompozitesinin küçük olması şu durumlara yol açabilir:

- Düşük kompoziteli agregası ile üretilen betonun kompozitesi ve mukavemeti düşük olur.
- Fazla miktarda imento kullanılması gerekir.
- Betonun maliyeti yükselir.
- Bu malzemelerde şekilce kusurlu taneler fazla miktarda bulunur. Bu durum işlenebilme zelliliğine etki ederek, beton mukavemetinin azalmasına neden olur.
- Betonun dış etkenlere karşı dayanımı zayıflar [1].

2.4.5 Nem durumu

Agregası taneleri içerisinde iki tip boşluk bulunabilir. Bunlardan birisi, tane yüzeyinde ince çatlaklar şeklinde oluşmuş olan veya tane içerisinde olup da yüzeydeki boşluklarla bağlantılı olan su geçirgen boşluklardır. Bu tür boşlukların içine su girip çıkabilir. Diğeri ise, agregası yapısından gelen, agregası taneleri içerisinde oluşmuş olan su geçirmez boşluklardır. Bu tür boşluklara su giremez. Agregası tanelerinin karşı karşıya kaldıkları ıslanma veya kuruma durumlarına göre, su geçirgen boşlukların içerisinde hiç su bulunamayacağı gibi, bu boşlukların içerisi kısmen veya tamamen su dolu da olabilir. Hatta, bazen agregası tanelerinin içerisindeki boşluklar tamamen su dolu ve tanelerin yüzeyinde de bir miktar su filmi olabilir. Agregası tanelerinden

oluşan agregaya yığılı, içerdığı su miktarına göre dört değişik durumdan birine sahiptir [1].

- Tamamen kuru durum: agregaya boşluklarında hiç boşluk yoktur. Agreganın fırında 100 °C' ta sabit ağırlıkta kalıncaya kadar ısıtılması ile elde edilir.
- Hava kurusu durum: agreganın su geçirgen boşlukları içerisinde bir miktar su vardır. ancak boşluklar tamamen su ile dolu değildir ve tanelerin yüzeyinde de su yoktur.
- Doygun- yüzey kuru durum: su geçirgen boşluklar tamamen su ile doludur. Fakat, agregaya tanelerinin yüzeyi kurudur.
- Islak durum: agreganın su geçirgen boşlukları tamamen su ile doludur ve ayrıca tanelerin üzerinde de bir miktar su filmi vardır

Agreganın nem durumu denildiğinde ıslak tanelerin, doygun- yüzey kuru durumdaki tanelere göre yüzde cinsinden ağırlığındaki artış anlaşılmaktadır. Agreganın nemli olması beton üretiminde iki bakımdan göz önünde tutulmalıdır. Birincisi, betonda kullanılacak su miktarı, agregada bulunan su miktarı kadar azaltılmalıdır. Rutubetli agregalarda hesaba katılması gereken ikinci bir faktör ise nemin hacim kabarmasına neden olmasıdır. Burada adı geçen, taneler arasındaki boşluğu da içine alan görünen hacimdir. Yalnız ince agregalarda karşılaşılan bu olay hesaba katılmaz ise gerekli miktardan daha az miktarda ince agregaya kullanılmış olur. Bunun sonucunda boşluk miktarı fazla olan bir beton elde edilir. Bu durumu önlemek için malzemeyi hacim olarak değil de, ağırlık olarak ölçülmesinde yarar vardır [9].

2.4.6 Su Emme Oranı

Agregaların kütlece su emme oranı (2.3) numaralı formül ile hesaplanır:

$$S_k = \frac{(G_d - G_k)}{G_k} \times 100 \quad (2.3)$$

Formül (2.3)'te, "G_d" ile, gram biriminde agreganın doygun yüzey kuru ağırlığı, "G_k" ile gram biriminde agreganın tamamen kuru ağırlığı, "S_k" ile kütlece su emme oranı % cinsinde ifade edilmektedir.

Agregaların su emme kapasitesi tanelerinin kökenine, yapısına ve granülometri bileşimine bağlıdır. Tablo 2.12’de bazı kayaların su emme kapasiteleri yaklaşık olarak görülmektedir [1].

Tablo 2.12 Bazı Agregaların Kütlece Su Emme Oranları

Agrega Tipi	Kütlece su emme oranı (%)
Genel olarak betonda kullanılan kum	0-2
Genel olarak çakıl, kırılmış kalker	0,5-1,5
Bazalt, granit	0-0,5
Kumtaşı	2-7
Çok hafif gözenekli malzeme	≤ 25

Beton üretilirken daha önceden hesaplanan miktarda su kullanılır. Eğer taneler tamamen kuru durumda iseler, kullanılan suyun bir kısmı taneler tarafından su emme kapasitelerine bağlı olarak emilir, betonda gerektiğinden az miktarda su kalır. Bu durum çimentonun hidrasyonunun normal bir seyir izlemesine engel olması bakımından sakıncalıdır. Yüksek mekanik performans beklenen betonlarda agregalar kullanılmadan önce doygun- yüzey kuru duruma getirilir veya agregalar tarafından emilecek su miktarı kadar fazla su kullanılır. Bu şekilde betona katılan su herhangi bir kayba uğramadan (agregalar tarafından emilmeden) kendisinden beklenen fonksiyonları yerine getirir. [9]

2.4.7 Donma – Çözünme Dayanımı

Agreganın donma çözülme olayından etkilenmesi, agrega tanelerinin üzerindeki su girebilecek kadar büyüklükteki gözeneklerin çokluğuna bağlıdır. Soğuk havada gözenekler içerisinde bulunan su donar ve genleşme gösterir. Bilindiği gibi suyun buza dönüşmesinde yaklaşık %9 hacim büyümesi olmaktadır. Soğuk hava koşullarında su donmaya başlar. Gözenekler içerisindeki su miktarı pek fazla değil ise, donma olayı önemli bir sorun yaratmamaktadır. Ancak, gözeneklerin hacminin %91 veya daha fazlasının su ile dolu olduğu durumlarda donma olayı olur ise, buz haline dönüşen su mevcut hacminin içerisine sığmamakta ve etrafına basınç yapmaktadır. Böyle bir durumda gözeneklerin içerisindeki suyun tamamı aynı

zamanda donma göstermemektedir. Suyun bir miktarının buza dönüşerek hacim büyümesi yapması nedeniyle, henüz buzlaşmamış suyu gözenek hacminden dışarı iterek büyük bir hidrolik basınç yaratmaktadır. Böyle bir basınç beton içerisindeki agreganın ve agrega tanesinin etrafını saran sertleşmiş çimento hamurunun çatlamasına yol açabilmektedir [1].

Agrega tanelerinin boşluk yapısı, su emme oranı, porozite, boşluk boyutu ve boşluk sistemi, permabilite gibi bir çok değişkene bağlıdır. Bu özellikler bir betonun doymuş hale gelmesi ve donma durumundaki potansiyel dayanımı için bir gösterge olabilir. Genel olarak yüksek poroziteli veya su emme oranlı iri agrega tanelerine, orta büyüklükte boşluklar ($0.1-5 \mu\text{m}$) sebep olur. Bunlar betonun bozulmasına çok kolay katkıda bulunurlar. Büyük boşluklar tamamen suyla dolmaz, bu yüzden donma olayı sonucu hasara uğramazlar. Çok küçük boşluklardaki suyun donması ise oldukça zordur [12].

TS 706 ya göre kırmataş agregalarda taşın su emme oranı ağırlıkça % 0.5 den küçükse ve taşın suya doymuş haldeki küp basınç dayanımı en az 1500 kgf/cm^2 ise kullanılan kırmataş agrega genellikle dona yeterince dayanıklıdır. Ayrıca betonda kullanılacak agreganın dona dayanıklılığından kuşku duyuluyorsa agreganın dona dayanıklılığı deneylerle araştırılır [1].

2.4.8 Isıl Özellikler

Agregaların ısı özellikleri denildiğinde akla aşağıda belirtilen özellikler gelmektedir.

- Genleşme katsayısı (1 derece sıcaklık artışı ile malzemenin bir boyutunda veya hacmindeki artış)
- Isıl iletkenlik (birim kalınlıkta ve birim hacimde iki yüzey arasında ısı akış hızı)
- Özgül ısı (birim kütlede, bir derece sıcaklık artışı yapabilecek ısı miktarı)

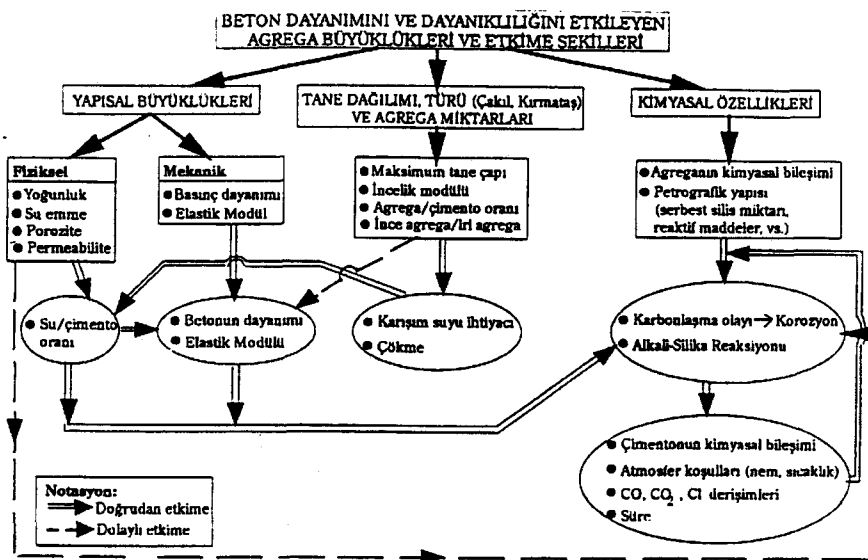
Genleşme katsayısı öncelikle malzemenin bileşimine ve yapısına bağlıdır. Aynı türde bir kayada bile genleşme katsayısı büyük değişiklikler gösterebilir. Kayaçların genleşme katsayıları $0,9 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ ile $16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ arasında değişmektedir. Suyu doymuş haldeki agregaların genleşme katsayıları, kuru haldeki agregalara göre yaklaşık %10 daha düşüktür. Bunun yanında sertleşmiş ve kısmen suya doymuş çimento hamurunun genleşme katsayısı, agreganın genleşme katsayısından daha

yüksektir ve yaklaşık olarak $33 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ değerini almaktadır. Bu durum sıcaklık değişimleri altında iki malzemenin farklı uzayıp kısılmasına ve oluşacak iç gerilmeler dolayısıyla agrega ve çimento hamuru arasındaki aderansın zayıflamasına neden olabilir. Benzer şekilde büyük boyutlara sahip kütle betonlarda yüzeydeki ve iç kısımdaki sıcaklık farkı nedeniyle iç gerilmeler oluşabilir [3].

Isıl iletkenlik birincil olarak, porozite ile etkilenir. Kayaçların ısı iletkenliği 1,1 Btu/f x saat x $^\circ\text{F}$ ile 2,7 Btu/f x saat x $^\circ\text{F}$ arasında değişim göstermektedir. Bu değer normal ağırlıklı agregalarda çok dar bir aralıkta değişim gösterir. Isıl iletkenlik, betonun izolasyon görevi önemli olduğu durumlarda etkili olan bir özelliktir.

Kayaçlarda özgül ısı değeri yaklaşık olarak 0,18 cal / g x $^\circ\text{C}$ değerini almaktadır. Çok az miktarda su emilmesiyle bile agregaların özgül ısı değeri büyük değişim gösterir. Agregaların özgül ısı değeri, agrega ve betonun ısınma soğuma ile ilgili hesaplamalarında kullanılır.

Sonuç olarak beton hacminin yaklaşık $\frac{3}{4}$ 'ünü kaplayan bileşen olan agregalar, beton üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Agrega ve beton özellikleri arasındaki etkileşim Şekil 2.12'de ifade edilmiştir [13]. İstenilen kalitede beton üretebilmek için beton üretiminde kullanılacak agregaların standartlarda belirtilen değerleri sağlaması gerekmektedir. Çeşitli standartlarda belirtilen agregaların sağlaması gereken fiziksel değerler Tablo 2.13'te ifade edilmiştir [6,14].



Şekil 2.1 İri Agregaların Özellikleri ve Bunların Betona Etkime Biçimleri

Tablo 2.13 Çeşitli standartlara göre beton agregaların sağlaması gereken fiziksel ve mekanik özellikler

Özellik	AGREGA	TS 706	ASTM C33	BS 882
Biçimsiz tane miktarı % max	İri	40	-	35-50
Yıkanabilir maddeler % max	İri	0.5	1.0	Çakıl:1
				Kırmataş:3
	İnce	4	Aşınan beton:3 Diğer: 5	Kum: 3 Taş: 15
Su emme % max	İri ve ince	2.0	-	3.0
Taş basınç dayanımı	İri ve ince	1000kg/cm ²	-	-
Aşınma dayanımı (% max)	İri			
Los Angeles Deneyi 100 devir		% 10	-	-
Los Angeles Deneyi 500 devir		%50	%50	-
Darbeli Aşınma Deneyi		%45	-	%45
Dona dayanıklılık (maksimum, %)	İri	18	12	-
Na ₂ SO ₄ ' e dayanıklılık	İnce	15	10	-
Mg ₂ SO ₄ ' e dayanıklılık	İri	27	18	-
	İnce	22	15	-
Organik maddeler (maksimum,%)	İri ve ince	0.5	0.5	-
Sülfat miktarı (maksimum, %)	İri ve ince	1.0	-	4 / çimento ağırlığı
Suda çözünen klorürler (max %)	İri ve ince	0.2	-	Öngerilmeli beton:2
Agrega yüzdesi olan Cl ⁻ iyonları				Betonarme:4
Alkali agreg reaktifliği Uzama (maksimum %)	İri ve ince	-	% 0,05	-
3 ay				
6 ay		%0,5	%0,1	-
12 ay		%1	-	-
Gevşek birim ağırlık (minimum, gr/cm ³)	İnce	1,350	-	-
	iri	1,350	-	-
Özgül ağırlık (minimum, gr/cm ³)	İnce	2,550	-	-
	İri	2,600	-	-

3. BETON ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölüm, 1999 Doğu Marmara Depremi sonucu hasar görmüş olan İstanbul'un Eyüp ve Avcılar ilçelerinden temin edilen beton örneklerinin fiziksel ve mekanik özelliklerini ortaya koymak için yapılan deneyleri ve bu deneylerin sonuçlarını içermektedir. Bu deneyler sonucunda beton bütünü ve iç yapısıyla ilgili bilgiler belirli bir ayrıntıda edinilmiştir.

3.1 Beton Örneklerinin Elde Edilmesi ve Üzerinde Deneysel Çalışma Yapmaya Uygun Numuneler Haline Getirilmesi

Fiziksel ve mekanik özellikleri yapılacak deneylerle ortaya konacak olan örneklerin 2 adedi Avcılar bölgesinde deprem esnasında yıkılmış binalardan alınmıştır. Eyüp bölgesinden alınan diğer iki örnek ise deprem sonucu hasar görmüş ve sonrasında binalar kullanılamayacağı için yıkılmıştır. Bu durum fiziksel ve mekanik büyüklüklerin örnek bazında karşılaştırma olanağını ortaya çıkarmaktadır. Elde edilen örneklerin yapısal özellikleri Tablo 3.1 de verilmiştir.

Tablo 3.1 Temin Edilen Beton Örneklerin Yapısal Özellikleri

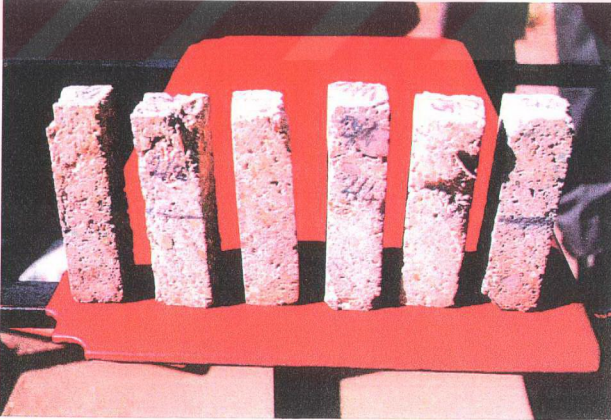
Numune No:	Alınan Bölge	Bina kullanım tipi	Bina yaşı	Bina kat adedi	Yıkılma nedeni
■1	Eyüp	İşyeri	>20	2	Deprem hasarı
◆2	Eyüp	Konut	5	3	Deprem hasarı
▲3	Avcılar	Konut	>15	8	Deprem anında
●4	Avcılar	Konut	>20	6	Deprem anında

Elde edilen beton örnekleri üzerinde fiziksel ve mekanik deneylerin yapılabilmesi için, örneklerin belli bir boyutta numune haline getirilmesi gerekmektedir. Oluşturulacak numuneler üzerinde sırasıyla kılcallık, su emme, ultrases, eğilme ve basınç deneyleri yapılacağından numune biçiminin prizmatik olması uygun görülmüştür. Gerek kullanılacak deney aletlerinin olanakları açısından gerekse deney

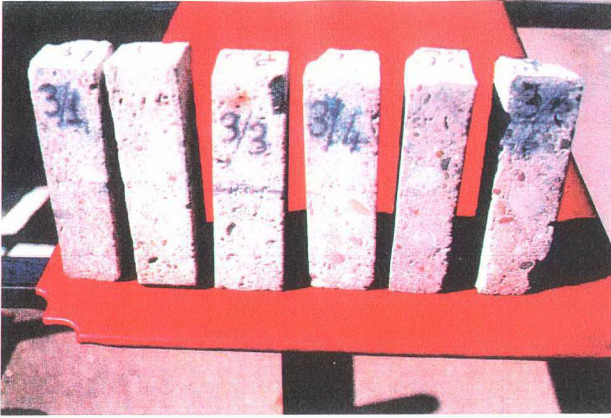
sonuçlarının sağlıklı alınabilmesi için numune boyutu 4x4x16 cm olarak seçilmiştir. Bu çerçevede beton örnekleri önce spiral ile belli parçalara ayrılmış, daha sonra da sulu taş kesme makinesiyle 4x4x16 cm boyutuna getirilmiştir. Bu şekilde her örnekten 6 adet olmak üzere $6 \times 4 = 24$ adet numune oluşturulmuştur. Şekil 3.1., 3.2., 3.3. ve 3.4. de uygun boyutlara getirilmiş deney numuneleri görülmektedir. Bu numunelerin her biri numaralandırılmıştır. Hazırlanan numunelerin boyutları Tablo B.1’de yer almaktadır.



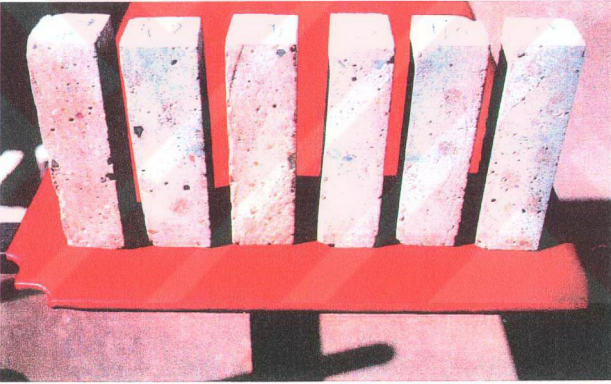
Şekil 3.1 Eyüp Bölgesinden temin edilen ■1 numaralı beton örnekleri



Şekil 3.2 Eyüp Bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı beton örnekleri

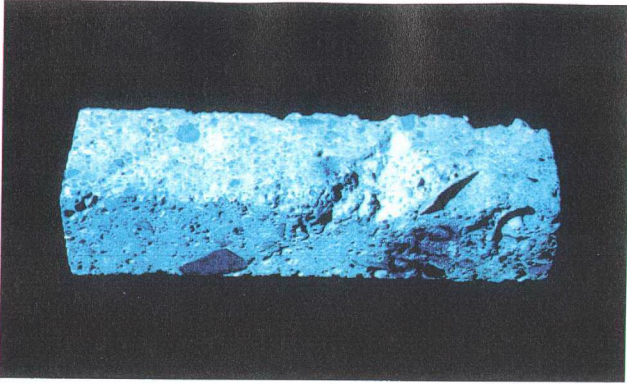


Şekil 3.3 Avcılar Bölgesinden temin edilen ▲3 numaralı beton örnekleri



Şekil 3.4 Avcılar Bölgesinden temin edilen ●4 numaralı beton örnekleri

Numunelerin hazırlanması sırasında dikkat çeken en önemli nokta Numune 2/5'te bir soğuk derzin belirlenmiş olmasıdır. Bu durum, örnek alınan yapıya ait (♦2 Eyüp) betonun kalıba dökümünün aralıklı olarak yapıldığını, başka bir ifade ile ilk dökümünün prizini yapmasından sonra beton dökümüne devam edildiğini belirleyici bir kanıt olarak kabul edilebilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Numune 2.5.'te görülen soğuk derz

3.2 Deney İlkeleri

Bu bölümde beton örnekleri üzerinde yapılan fiziksel ve mekanik deneylerin ilkeleri ve hesaplamalarda kullanılan formüller açıklanacaktır.

3.2.1 Birim Ağırlık Deneyi

Birim ağırlık, numunenin etüv kurusu halindeki kütlesinin “Gk”, toplam hacmine “V” oranı olarak tanımlanır. Bütün numunelerin birim ağırlıkları tespit edilmiştir. Birim ağırlık değeri gr/cm³ veya kg/lit cinsinden ifade edilebilir.

$$\Delta = \frac{Gk}{V} \quad (3.1)$$

3.2.2 Kılcallık Deneyi

Kılcallık deneyi bütün numuneler (24 adet) üzerinde uygulanmıştır. Numuneler öncelikle 105°C sıcaklığındaki etüvde kurutulmuş ve etüv kurusu durumundaki kütleleri tespit edilmiştir. Numunelerin normal laboratuvar koşullarında 1 saat soğuması sağlanmış ve deneye başlanmıştır.

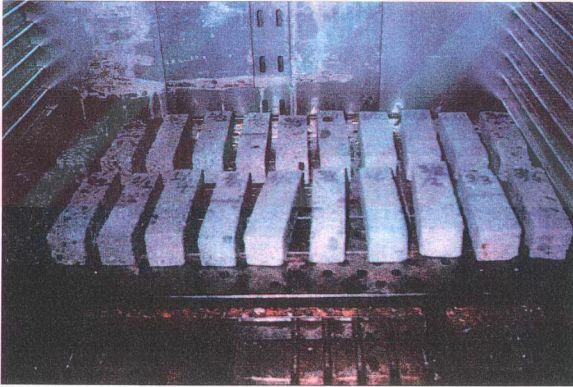
Numunelerin alt yüzeyleri suya temas ettirilerek, deney başlangıcından itibaren 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49, 64, 81, 100, 121, 144 ve 169. dakikalarda 0,1 gr hassasiyette Shinko marka terazi ile tartılarak numune tarafından emilen su miktarı tespit

edilmiştir. Tartım esnasında numuneler deney kabından dışarı alınmış, ıslak bir bezle yüzeylerindeki su damlacıkları numunelerden uzaklaştırıldıktan sonra tartılmış ve tekrar deney kabına koyulmuştur [15]. Deneyde kullanılan ekipman Şekil 3.6. ve 3.7’de görülmektedir. Kılcallık katsayısının belirlenmesi için aşağıdaki bağıntı kullanılmıştır.

$$N = \frac{q}{A\sqrt{T}} \quad (3.2)$$

Formül (3.2)’de, N ($\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$) kılcallık katsayısını, q (cm^3) emilen su miktarını, A (cm^2) malzemenin suyla temas eden yüzeyinin alanını, T (dak) ise zamanı ifade etmektedir.

Aynı anlayışla kılcallık katsayısına ulaşmak için önce kılcal su emme – zaman grfiği çizilmiş, bu grafikte emilen su miktarı ($\text{cm}^3/\text{cm}^2=\text{cm}$) birimi ile Y ekseninde, zamanın karekökü ($\sqrt{\text{dak}}$) birimi ile X ekseninde gösterilmiş ve elde edilen noktalara doğrusal regresyon modeli uygulanarak bulunan doğrunun eğimi ile de kılcallık katsayısı belirlenmiştir.



Şekil 3.6 Etüv Fırınındaki Numuneler



Şekil 3.7 Kılcallık Deneyi Düzeneği

3.2.3 Su Emme Deneyi

Su emme deneyi, kılcallık deneyi yapılan bütün numuneler üzerinde (24 adet), ardışık olarak yapılmıştır. Başka bir ifade ile kılcallık deneyinden hemen sonra aynı numunelere su emme deneyi uygulanmıştır.

Numuneler su dolu bir kaptan suya doygun kütleyle ulaşıncaya kadar (48 saat) bekletilmiş ve bu süre zarfında su yüksekliğinin numune yüksekliğinden en az 2 cm üzerinde olması sağlanmıştır. Bu süre sonunda numuneler kaptan çıkartılıp, yüzeylerindeki su damlacıkları ıslak bir bez yardımıyla uzaklaştırıldıktan sonra, 0,1gr hassasiyette bir terazide tartılmıştır (G_d). Daha sonra suya doygun numuneler Arşimet terazisinde su içinde tartılmıştır (G_{ds}). Kütlece ve hacimce su emme oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$S_k = \frac{G_d - G_k}{G_k} \times 100 \quad (3.4),$$

$$S_h = \frac{G_d - G_k}{G_d - G_{ds}} \times 100 \quad (3.4.a)$$

(3.4) ve (3.4.a) numaralı formüllerde S_k kütlece su emme oranını (%), S_h hacimce su emme oranını (%), G_k değişmez kütleyle kadar kurutulmuş numune kütlelerini ifade etmektedir.

3.2.4 Yoğunluk Deneyi

Kılcallık ve su emme deneyleri esnasında ölçülen değerler kullanılarak bütün numunelerin birim ağırlık (D , gr/cm^3) değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır.

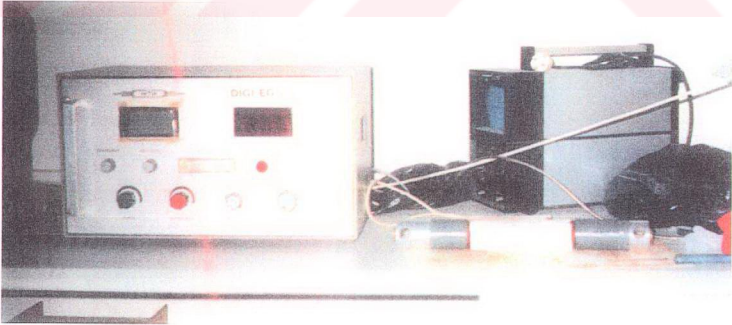
$$D = \frac{Gk}{Gd - Gds} \quad (3.5)$$

3.2.5 Ultrases Deneyi

Su emme deneyinden sonra değişmez kütleye kadar kurutulan her örnekten 4'er ($4 \times 4 = 16$) numunenin alçı başlıkları yapıp ultrases deneyi gerçekleştirilmiştir. Bu deneyle numune boyunca sesin geçiş süresine (t , μsn) ulaşılmıştır. Bu deneyde, Scheid Euromatest firmasının üretmiş olduğu DIGI EG-c2 cihazı kullanılmıştır. Şekil 3.8 deney düzeneğini göstermektedir. Daha sonra (3.6) ve (3.7) numaralı formüller yardımıyla ses geçiş hızı ve dinamik elastiklik modülü (E) değerleri hesaplanmıştır.

$$V = \frac{l}{t} \quad (3.6), \quad E_d = 10 \cdot k \cdot V^2 \cdot \frac{\Delta}{g} \quad (3.7)$$

Formül (3.6) ve (3.7)'de "V" Ultrases geçiş hızını (km/sn), "l" numune boyunu (km), "t" ultrases geçiş süresini (sn), " E_d " Dinamik Elastisite Modülünü (kN/mm^2), $k=1$ prizma numuneler için, " Δ " Birim Ağırlığı (kg/lt), " g "=9,81 yerçekimi ivmesini (m/sn^2) ifade etmektedir.



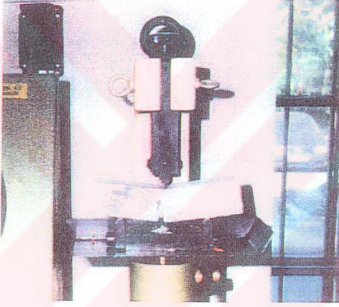
Şekil 3.8 Ultrases Deney Düzeneği

3.2.6 Eğilme Dayanımı Deneyi

Ultrases deneyinden sonra her örneğin 4'er numunesi (4x4=16 adet numune) üzerinde eğilme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Bu deneyde mesnet açıklığı 100 mm olarak alınmış ve yük ortadan uygulanmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.9'da görülmektedir. Aşağıdaki formül eğilme dayanımının hesaplanmasında kullanılmıştır.

$$\sigma_{eg} = \frac{3}{2} \times \frac{P \times l}{b \times h^2} \quad (3.8)$$

Formül (3.8)'de σ_{eg} , eğilme mukavemetini (N/mm²), P kırılma yükünü (N), l mesnet açıklığını (mm), b numune kesit genişliğini (mm), h numune kesit yüksekliğini (mm) ifade etmektedir.



Şekil 3.9 Eğilme Deneyi Düzeneği

3.2.7 Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme deneyi sonucunda ikiye ayrılan numunelerin hepsi (4x4x2=32 adet) üzerinde Basınç deneyi uygulanmıştır. Bu deneylerde kullanılan Seidner marka presin başlığının 4x4 cm boyutlarında olması, basıncın uygulandığı alanı belirli hale getirmiştir. Basınç dayanımı değeri aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (3.9)$$

(3.9) numaralı formülde σ basınç dayanımını (N/mm²), P kırılma yükünü (N), A kuvvet uygulanan alanı (mm²) ifade etmektedir.

3.2.8 Özgül Kütle Deneyi

Her örnek için özgül kütle deneyi yapılmıştır. Deney için TS 699'daki ilkeler uygulanmıştır. Öncelikle bir miktar malzemenin 0,2 mm'lik kare gözlü elekten tamamı geçecek şekilde öğütülüp (Şekil 2.10), sabit kütleye kadar kurutulmuştur. Örnek oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılmış ve bu değer G_m olarak kaydedilmiştir. Daha sonra deney kabı kapağı ile birlikte tartılıp kütlesi G_p olarak kaydedilmiştir. Deney kabının, içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde su ile doldurulup, kapağı kapatılmış durumdaki kütlesi ise G_{ps} olarak adlandırılmıştır. Daha sonra malzeme bir miktar su dolu deney kabına koyulup, tanecikler arasındaki hava kabarcıklarının kaybolması beklenmiştir. Hava kabarcıkları tanecikler arasından uzaklaştıktan sonra içinde malzeme olan kap tamamen su ile doldurulup ve kapağı kapatılarak tartılmış, bu değer de G_{pms} olarak kaydedilmiştir. Bu değerlerle özgül kütle aşağıdaki formülle hesaplanmıştır.

$$\delta (\text{özgül kütle, g/cm}^3) = \frac{G_m}{G_m - (G_{pms} - G_{ps})} \quad (3.10)$$



Şekil 3.10 Malzemenin Öğütülmesi

3.2.9 Buhar Geçirgenliği Deneyi

Buhar geçirgenliği deneyinde, sadece bu deney için önceden hazırlanmış anma çapı ortalama 7 cm olan her örnekten ikişer adet numune, içine CaCl_2 ve strophor doldurulmuş plastik kapların üzerine parafinle tespit edilmiştir (Şekil 3.11). Bu

kaplar daha sonra beklemeye bırakılmıştır. Kapların bulunduğu ortamdaki nem ve sıcaklık bir termo-higrometre ile sürekli olarak kaydedilmiştir. Kabin içindeki CaCl_2 ile numune arasındaki nem ise “0” kabul edilmiştir. Ağırlık ölçümleri 24 saat aralıklarla, Vibra marka, duyarlılığı 1/100 gr olan hassas terazi ile yapılmıştır. Hesaplarda şu formüller kullanılmıştır:

$$\mu = \frac{1}{d} \times \left[(\delta h \times A \times \frac{P_1 - P_2}{G}) - dh \right] \quad (3.11)$$

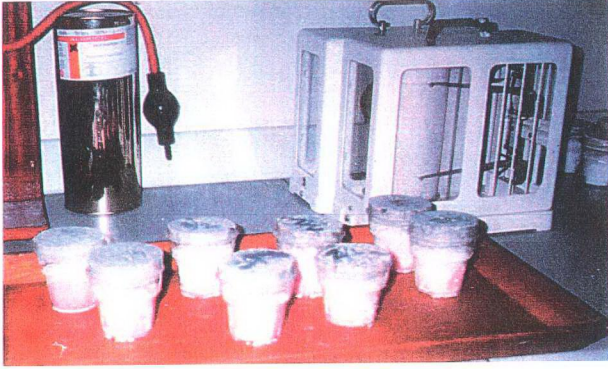
$$\mu = \frac{1}{d} \times \left[(\delta h \times A \times \frac{(Pd \times \psi_{dis}) - (Pd \times \psi_{iç})}{G}) - dh \right] \quad (3.12)$$

$$\delta h = \left(\frac{0,083}{Rb \times T} \right) \times \left(\frac{P_0}{P} \right) \times \left(\frac{T}{273} \right)^{1,81} \quad (3.13)$$

$$G = \frac{Fort}{24saat} \quad (3.14)$$

(3.11), (3.12), (3.13), (3.14) numaralı denklemlerde :

d (m)	ortalama numune kalınlığını,
dh (m)	numune altında kalan havanın kalınlığını,
δh (kg/m saat Pa)	havanın su buharı iletkenliğini,
A (m^2)	su buharının geçtiği numune alanını,
P1 ve P2 (Pa)	su buhar basınçlarını,
Pd(Pa)	ortam sıcaklığına göre tablodan okunan doymuş su buharı basıncı değerini,
G (kg/saat)	su buharı geçiş oranını,
$\psi_{iç}$ ve ψ_{dis} (%)	dış ve iç koşulların relatif nem miktarlarını,
Rb	su buharının gaz sabitini (462 N m/kg K),
T (°K)	hava sıcaklığını,
Po (mmHg)	normal atmosfer basıncını,
P (mmHg)	ortalama atmosfer basıncını,
F ort (kg)	numunelerin iki ölçüm arası ağırlık farklarını,
μ	buhar difüzyon direnç katsayısını ifade etmektedir.



Şekil 3.11 Buhar Difüzyon Deney Numuneleri

3.3 Deney Sonuçları

Deprem sonucu hasar gören, Eyüp ve Avcılar bölgelerindeki 4 binadan temin edilen beton örnekleri üzerinde uygulanan birim ağırlık, özgül kütle, kılcalık, yoğunluk ve su emme gibi fiziksel ve ultrases, eğilme dayanımı ve basınç dayanımı gibi mekanik deneylerin sonuçları, bu sonuçlara ait istatistiksel değerlendirmeler ve sonuçların temin edilen örnekler arasındaki karşılaştırmaları bu bölümde yer almaktadır. İstatistiksel değerler hesaplanırken kullanılan student sayısı olan “t”, %95’lik güven derecesine ve ilgili deneyde kullanılan numune sayısı olan “n” ye göre (n-1) serbestlik derecesine göre seçilmiştir.

3.3.1 Birim Ağırlık Deneyi

Oluşturulan bütün numunelerin ($4 \times 6 = 24$ adet) birim ağırlık değerleri, Bölüm 3.2.1’de açıklanan şekilde tespit edilmiştir. Birim ağırlık deneyinin toplu sonuçları (Δ , gr/cm^3) biriminde Tablo 3.2’de yer almaktadır. Beton örnekleri temsil eden ortalama birim ağırlık değerleri Şekil 3.12’de, bu değerlere ait istatistiksel değerlendirme Tablo 3.3’te görülmektedir.

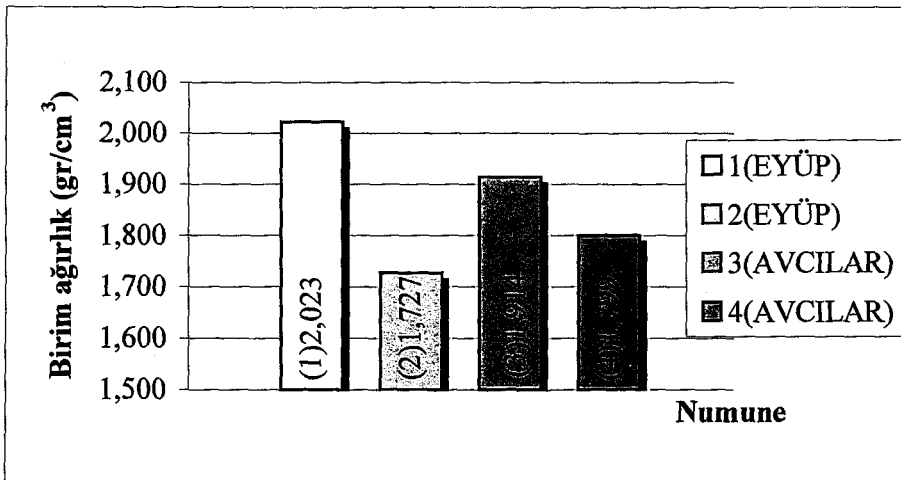
Tablo 3.2 Birim Ağırlık Deneyi Toplu Sonuçları

Numune/ Örnek	1	2	3	4	5	6
■1(Eyüp)	2,098	1,878	2,084	1,993	2,078	2,004
◆2(Eyüp)	1,724	1,738	1,722	1,785	1,654	1,737
▲3(Avcılar)	1,867	2,013	1,943	1,890	1,934	1,839
●4(Avcılar)	1,807	1,810	1,814	1,801	1,788	1,775

Tablo 3.3 Birim Ağırlık Deneyine ait istatistiksel değerleri

Numune	Ortalama değer (X,gr/cm³)	Standart Sapma (S,gr/cm³)	Değişkenlik Katsayısı $V = \frac{S}{X}$	Ortalamanın Altdeğeri (gr/cm³) $X_{alt} = X - \frac{s \times t}{\sqrt{n-1}}$	Ortalamanın Üstdeğeri(gr/cm³) $X_{üst} = X + \frac{s \times t}{\sqrt{n-1}}$
■1(Eyüp)	2,023	0,083	0,041	1,927	2,118
◆2(Eyüp)	1,727	0,042	0,024	1,678	1,775
▲3(Avcılar)	1,914	0,062	0,033	1,843	1,986
●4(Avcılar)	1,799	0,015	0,008	1,782	1,816

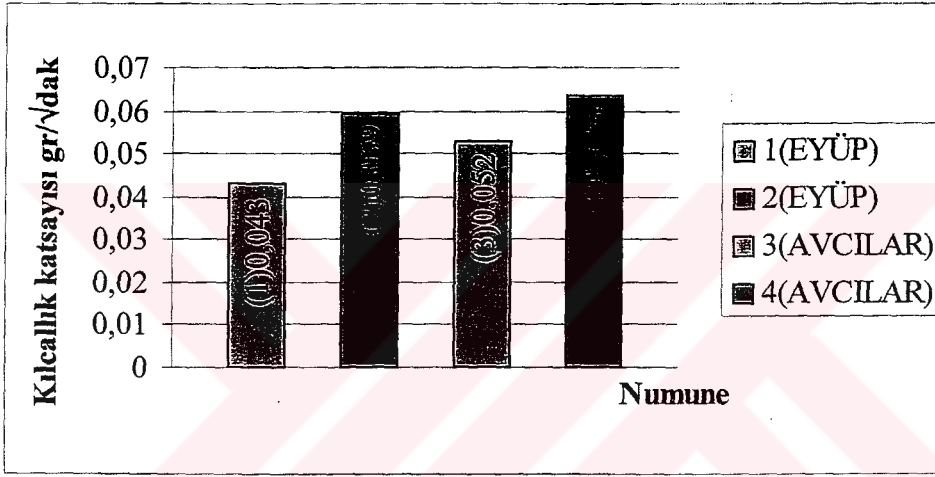
Tablo 2.3'te "t" ile seçilen %95'lik güven derecesine ve (n-1) serbestlik derecesine ait student sayısı, "n" ise numune sayısı ifade edilmektedir.[16]



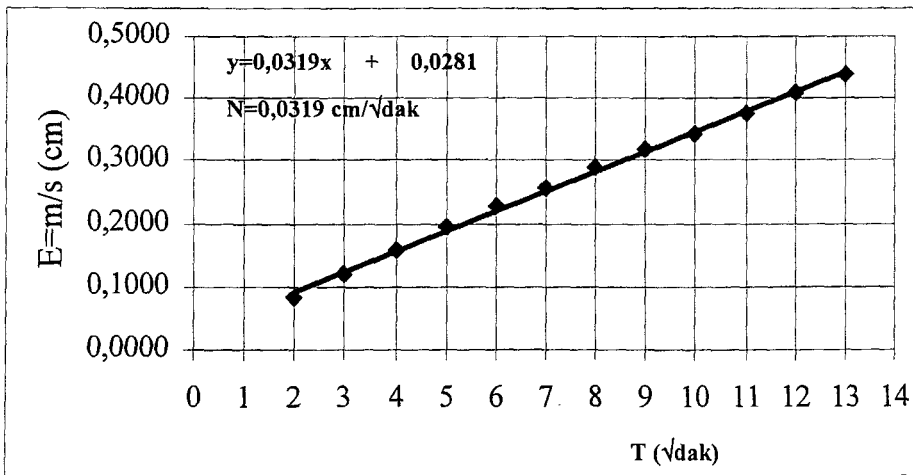
Şekil 3.12 Beton Örneklerinin Karşılaştırmalı Birim Ağırlık Değerleri

3.3.2 Kılcallık Deneyi

Bölüm 3.2.2’de değinildiği şekilde, bütün numuneler (4x6=24 adet) üzerinde kılcallık deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların ortalamaları, Şekil 3.13’te görülmektedir. Bu ortalama değerlere ait istatistiksel değerler Tablo 3.5’te yer almaktadır. Yine bölüm 3.2.2’de değinildiği gibi Şekil 3.14 Grafik yöntem ile numune 3/1’in kılcallık katsayısının, Tablo 3.4 ise hesap yöntemi ile Eyüp bölgesinden temin edilen (1■) numaralı beton örneklerinin kılcallık katsayısının belirlenmesini göstermektedir. Diğer numunelerin kılcallık katsayılarının belirlenmesinde kullanılan deney sonuçları Tablo C.1, Tablo C.2 ve Tablo C.3 içerisinde verilmiştir.



Şekil 3.13 Kılcallık katsayısı deneyi toplu sonuçları



Şekil 3.14 Numune 3/1 için Grafik Yöntemle Kılcallık Katsayısı Bulunması

Tablo 3.4 1 Numaralı Örnek İçin Kılcallık Deney Sonuçları

Numune	1/1		1/2		1/3		1/4		1/5		1/6	
a (mm)	39,64		39,95		43,18		43,53		42,39		41,88	
b (mm)	40,28		42,73		46,73		46,78		41,51		41,58	
l (mm)	16,40		16,40		16,20		16,20		16,20		16,30	
A (cm)	15,967		17,07		20,178		20,363		17,596		17,413	
Etüv kuru ağırlık	549,3		544,7		681,2		657,6		592,3		568,8	
Ortam ağırlığı	549,6	N	544,9	N	682,1	N	658,2	N	592,9	N	568,9	N
İlk ağırlık	549,9		545,1		682,4		658,4		593,2		569,1	
4 dak. Ağırlık	551,2	0,040	546,4	0,038	684,4	0,049	660,4	0,049	595,6	0,068	570,9	0,051
9 dak. Ağırlık	551,8	0,040	547,0	0,037	685,3	0,048	661,2	0,045	596,6	0,064	571,5	0,045
16 dak. Ağırlık	552,4	0,039	547,6	0,037	686,1	0,045	662,0	0,044	597,5	0,061	572,2	0,044
25 dak. Ağırlık	553,0	0,039	548,2	0,036	687,0	0,045	662,9	0,044	598,4	0,059	572,9	0,043
36 dak. Ağırlık	553,5	0,038	548,8	0,036	687,9	0,045	663,7	0,043	599,3	0,057	573,5	0,042
49 dak. Ağırlık	554,0	0,037	549,4	0,036	688,9	0,045	664,5	0,042	600,3	0,057	574,1	0,041
1 saat 04 dk. Ağırlık	554,5	0,036	549,9	0,035	689,8	0,045	665,2	0,041	601,2	0,056	574,7	0,040
1 saat 21 dk. Ağırlık	555,0	0,035	550,5	0,035	690,6	0,045	665,9	0,040	602,1	0,056	575,2	0,039
1 saat 40 dk. Ağırlık	555,4	0,034	551,0	0,035	691,6	0,045	666,6	0,040	603,0	0,055	575,8	0,038
2 saat 01 dk. Ağırlık	555,9	0,034	551,6	0,035	692,5	0,045	667,2	0,039	603,9	0,055	576,3	0,037
2 saat 24 dk. Ağırlık	556,4	0,034	552,2	0,035	693,5	0,045	667,9	0,038	604,9	0,055	576,9	0,037
2 saat 49 dk. Ağırlık	556,9	0,034	552,7	0,034	694,4	0,045	668,4	0,038	605,8	0,055	577,4	0,036
N ort (cm/√dak)	0,03667		0,03541		0,04583		0,04191		0,05816		0,04108	

Tablo 3.4'te "N" ile Kılcallık Katsayısı ($\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$) ifade edilmektedir.

Tablo 3.5 Kılcallık Deneyine ait istatistik değerleri

Numune	Ortalama değer (X, cm/√dak)	Standart Sapma (S, cm/√dak)	Değişkenlik Katsayısı $V = \frac{S}{X}$	Ortalamanın Altdeğeri (cm/√dak) $X_{alt} = X - \frac{s \times t}{\sqrt{n-1}}$	Ortalamanın Üstdeğeri (cm/√dak) $X_{üst} = X + \frac{s \times t}{\sqrt{n-1}}$
■1(Eyüp)	0,04316	0,00826	0,19137	0,0337	0,0527
◆2(Eyüp)	0,05948	0,01686	0,28349	0,0401	0,0789
▲3(Avcılar)	0,05284	0,02437	0,46115	0,0248	0,0809
●4(Avcılar)	0,63496	0,03072	0,04838	0,5996	0,6703

Bu tabloda “t” ile seçilen %95’lik güven derecesine ve (n-1) serbestlik derecesine ait student sayısını, “n” ise numune sayısı ifade edilmektedir [16].

3.3.3 Yoğunluk Deneyi Sonuçları

Bölüm 3.2.2’de değinildiği üzere, beton örnekleri üzerinde uygulanan su emme deneyi sonucu elde edilen değerler (Tablo 3.6) ile bütün numunelerin (4x6=24 adet) yoğunluk değerleri gr/cm³ biriminde tespit edilmiştir. Elde edilen yoğunluk değerlerini Tablo 3.7’de topluca görülmektedir. Tespit edilen yoğunluk değerlerinin örnek bazında ortalamaları ve ortalamalara ait istatistiksel değerler sırasıyla Şekil 3.15 ve Tablo 3.8’de görülmektedir.

Tablo 3.6 2 Numaralı Örnek İçin Yoğunluk (D) Deney Sonuçları

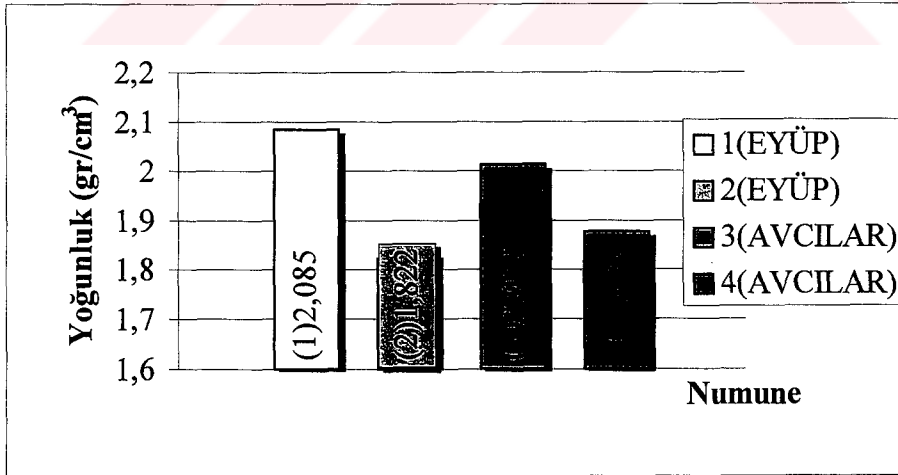
Numune	2/1	2/2	2/3	2/4	2/5	2/6
(Gk) Etüv kurusu Ağ.(gr)	484,5	505,1	526,8	542,1	481,7	522,7
(Gd) Suyu doygun Ağ.(gr)	547,2	569,9	593,0	608,9	545,9	589,6
(Gds) Sudaki Ağ. (gr)	283,3	297,4	301,1	315,8	273,4	303,8
(p) Porozite	23,7	23,7	22,6	22,7	23,7	23,4
(Sk) kütlece su emme (%)	12,9	12,8	12,5	12,3	13,4	12,7
(Sh) hacimce su emme (%)	23,7	23,7	22,6	22,7	23,7	23,4

Tablo 3.7 Yoğunluk Deneyi Toplu Sonuçları

Örnek / Numune	1	2	3	4	5	6
■1(Eyüp)	2,143	2,027	2,142	2,021	2,142	2,035
◆2(Eyüp)	1,835	1,853	1,804	1,846	1,766	1,828
▲3(Avcılar)	1,995	2,059	2,013	2,034	1,995	1,978
●4(Avcılar)	1,900	1,885	1,928	1,857	1,834	1,866

Tablo 3.8 Yoğunluk Deneyine ait istatistiksel değerleri

Numune	Ortalama değer (X, gr/cm ³)	Standart Sapma (S, gr/cm ³)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, gr/cm ³)	Ortalamanın Üstdeğeri (Xüst, gr/cm ³)
■1(Eyüp)	2,085	0,063	0,030	2,013	2,157
◆2(Eyüp)	1,822	0,032	0,018	1,785	1,859
▲3(Avcılar)	2,012	0,030	0,015	1,978	2,046
●4(Avcılar)	1,878	0,033	0,018	1,840	1,916



Şekil 3.15 Karşılaştırmalı Yoğunluk Değerleri

3.3.4 Su Emme Deneyi Sonuçları

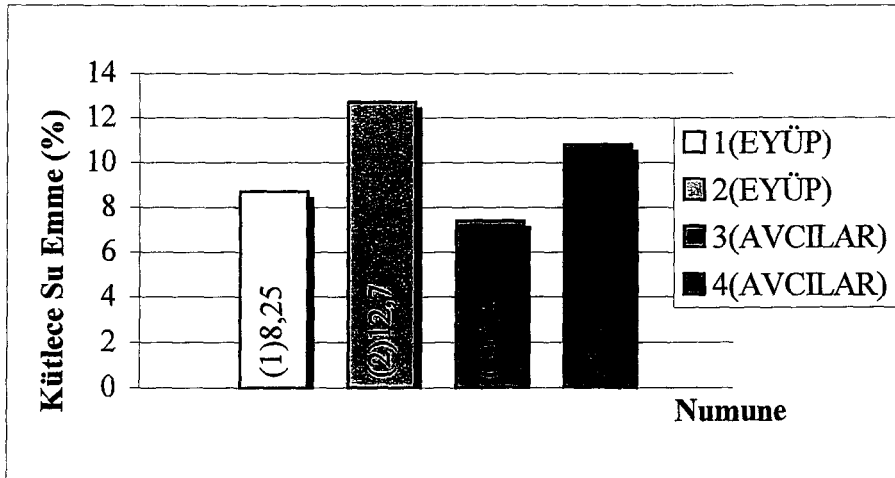
Su emme deneyleri Bölüm 3.2.4'te ifade edilen şekilde bütün numuneler (4x6=24 adet) üzerinde uygulanmış ve bütün numunelerin kütlece ve hacimce su emme oranları tespit edilmiştir. Kütlece ve hacimce su emme oranları ve bu değerlere ait istatistiksel değerler iki ayrı alt bölümde sunulmuştur.

3.3.4.1 Kütlece Su Emme

Bütün numunelerin (4x6=24 adet) uygulanan deneyler sonucu elde edilen kütlece su emme oranları Tablo 3.9'da yer almaktadır. Elde edilen kütlece su emme oranlarının örnek bazında ortalamaları ve bu ortalama kütlece su emme oranlarına ait istatistiksel değerler sırasıyla Şekil 3.16 ve Tablo 3.10' da yer almaktadır.

Tablo 3.9 Kütlece Su Emme Deneyi Toplu Sonuçları

Örnek / Numune	1	2	3	4	5	6
■1(Eyüp)	% 7,5	% 8,7	% 7,7	% 9,2	% 7,7	% 8,7
◆2(Eyüp)	% 12,9	% 12,8	% 12,5	% 12,3	% 13,4	% 12,7
▲3(Avcılar)	% 8,0	% 5,2	% 5,9	% 7,9	% 8,7	% 8,7
●4(Avcılar)	% 11,2	% 10,2	% 9,4	% 10,9	% 12,7	% 10,8



Şekil 3.16 Karşılaştırmalı Ortalama Kütlece Su Emme Oranı Değerleri

Tablo 3.10 K t lce Su Emme Deneyine Ait İstatistiksel Değerler

Numune	Ortalama değer (X, %)	Standart Sapma (S, %)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, %)	Ortalamanın �stdeğeri (Xüst, %)
■1(Eyüp)	8,25	0,704	0,081	7,9	9,5
◆2(Eyüp)	12,7	0,378	0,030	12,3	13,1
▲3(Avcılar)	7,4	1,489	0,201	5,7	9,1
●4(Avcılar)	10,8	1,102	0,102	9,5	12,1

3.3.4.2 Hacimce Su Emme

Bütün numunelerin (4x6=24 adet) uygulanan deneyler sonucu elde edilen k t lce su emme oranları Tablo 3.11’de yer almaktadır. Elde edilen k t lce su emme oranlarının örnek bazında ortalamaları ve bu ortalama hacimce su emme oranlarına ait istatistiksel değerler sırasıyla şekil 3.17 ve Tablo 3.12’ de yer almaktadır.

Tablo 3.11 Hacimce Su Emme Deneyi Toplu Sonuçları

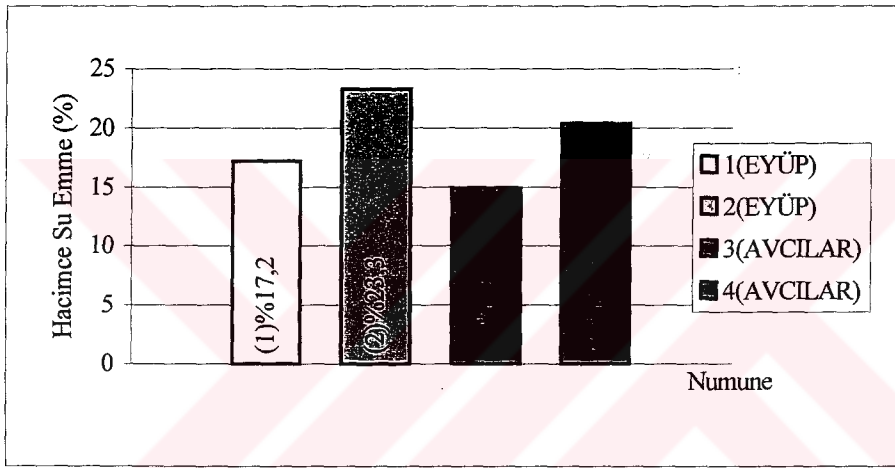
�rnek / Numune	1	2	3	4	5	6
■1(Eyüp)	%16,0	%17,8	%16,6	%18,7	%16,5	%17,8
◆2(Eyüp)	%23,7	%23,7	%22,6	%22,7	%23,7	%23,4
▲3(Avcılar)	%16,1	%10,8	%11,9	%16,0	%17,4	%17,2
●4(Avcılar)	%21,3	%19,3	%18,2	%20,3	%23,4	%20,3

3.3.5 Ultrases Deneyi Sonuçları

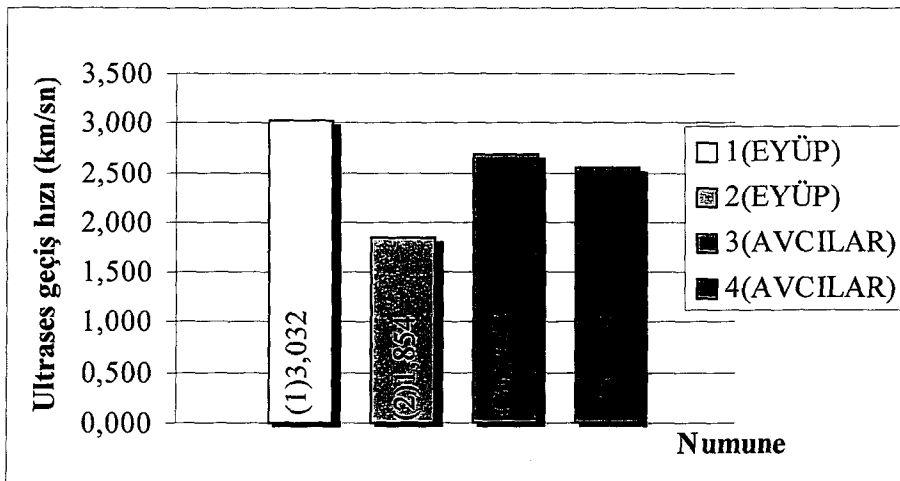
Bölüm 3.2.5’de değinildiği gibi (4x4=16 adet) her örneğin 4 numunesi üzerinde uygulanan ultrases geçiş hızı deneyi sonuçları ve elde edilen ses geçiş hızı yardımıyla hesaplanan dinamik elastisite modülü değerleri Tablo 3.13’te yer almaktadır. Ölçülen ultrases geçiş hızı ortalamaları ve bu ortalama değerlere ait istatistiksel değerler sırasıyla şekil 3.18 ve Tablo 3.14’te sunulmuştur.

Tablo 3.12 Hacimce Su Emme Deneyine ait istatistik değerleri

Numune	Ortalama değer (X, %)	Standart Sapma (S, %)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, %)	Ortalamanın Üstdeğeri (Xüst, %)
■1(Eyüp)	17,2	1,025	0,060	16,0	18,4
◆2(Eyüp)	23,3	0,518	0,022	22,7	23,9
▲3(Avcılar)	14,9	2,828	0,190	11,6	18,2
●4(Avcılar)	20,4	1,781	0,087	18,4	22,4



Şekil 3.17 Karşılaştırmalı Ortalama Hacimce Su Emme Oranları



Şekil 3.18 Karşılaştırmalı Ortalama Ses Geçiş Hızı Değerleri

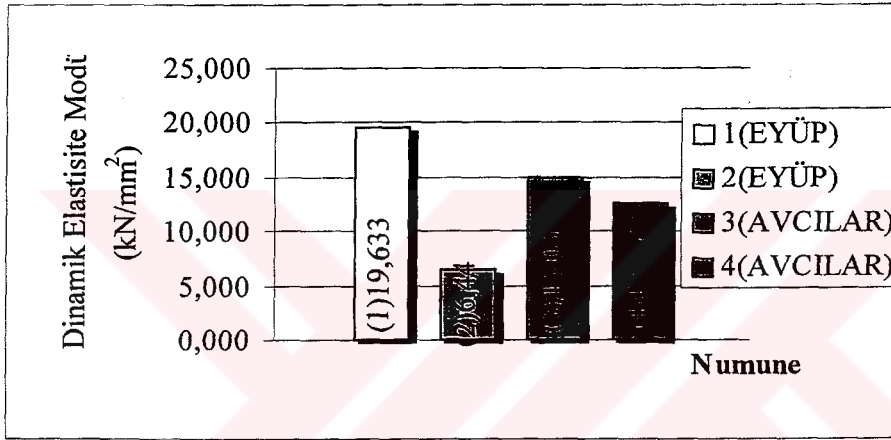
Tablo 3.13 Ultrases Deney Sonuçları

Numune	Uzunluk	Zaman	Birim Ağırlık	Ultrases Geçiş Hızı	Dinamik Elastisite Modülü
	L (mm)	t (µsn)	Δ (kg/lt)	V (km/sn)	E_d (kN/mm ²)
1/1	165	50	2,143	3,300	23,788
1/2	167	56	2,027	2,982	18,375
1/3	163	54	2,142	3,019	19,895
1/4	164	58	2,021	2,828	16,470
2/1	165	90	1,835	1,833	6,287
2/2	163	94	1,853	1,734	5,679
2/3	164	82	1,804	2,000	7,355
2/4	172	93	1,846	1,849	6,436
3/1	162	67	1,995	2,418	11,889
3/2	167	55	2,059	3,036	19,345
3/3	161	64	2,013	2,516	12,988
3/4	161	58	2,034	2,776	15,977
4/1	165	63	1,900	2,619	13,285
4/2	161	63	1,885	2,556	12,549
4/3	162	66	1,928	2,455	11,840
4/4	163	63	1,857	2,587	12,671

Benzer şekilde hesaplan dinamik elastisite modülü değerlerinin örnek bazında ortalamaları ve bu ortalama dinamik elastisite modüllerine ait istatistiksel değerler sırasıyla Şekil 3.19 ve Tablo 3.15'te görülmektedir.

Tablo 3.14 Ultrases Geçiş Hızı Deney Sonuçlarına Ait İstatistik Değerleri

Numune	Ortalama değer (X, km/sn)	Standart Sapma (S, km/sn)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, km/sn)	Ortalamanın Üstdeğeri (Xüst, km/sn)
■1(Eyüp)	3,032	0,197	0,065	2,671	3,394
◆2(Eyüp)	1,854	0,110	0,059	1,652	2,056
▲3(Avcılar)	2,687	0,278	0,103	2,176	3,197
●4(Avcılar)	2,554	0,071	0,028	2,424	2,685



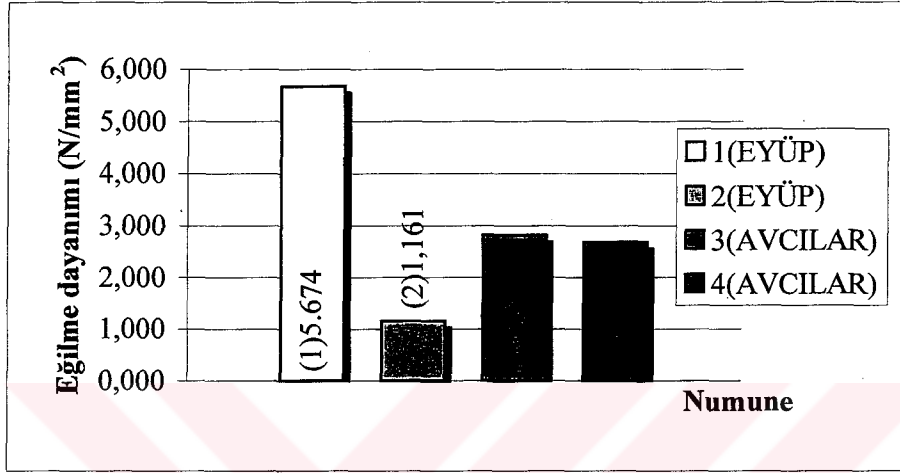
Şekil 3.19 Karşılaştırmalı Ortalama Dinamik Elastisite Modülü Değerleri

Tablo 3.15 Hesaplanan Dinamik Elastisite Modülü Değerlerine Ait İstatistik Değerleri

Numune	Ortalama değer (X, kN/mm²)	Standart Sapma (S, kN/mm²)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, kN/mm²)	Ortalamanın Üstdeğeri (Xüst, kN/mm²)
■1(Eyüp)	19,633	3,105	0,158	13,928	25,336
◆2(Eyüp)	6,439	0,693	0,108	5,167	7,712
▲3(Avcılar)	15,050	3,344	0,222	8,906	21,193
●4(Avcılar)	12,587	0,593	0,047	11,497	13,675

3.3.6 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

Bölüm 3.2.6’da değinilen şekilde her örnekten 4 numune üzerinde (4x4=16 adet) uygulanan eğilme dayanımı deneyi sonuçları Tablo 3.17’de topluca görülmektedir. Elde edilen ortalama eğilme dayanımı değerleri ve bu ortalama eğilme dayanımı değerlerine ait istatistiksel değerler sırasıyla Şekil 3.20 ve Tablo 3.16’da görülmektedir.



Şekil 3.20 Karşılaştırmalı Ortalama Eğilme Dayanımı Değerleri (N/mm²)

Tablo 3.16 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçlarına Ait İstatistik Değerleri

Numune	Ortalama değer (X, N/mm²)	Standart Sapma (S, N/mm²)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, N/mm²)	Ortalamanın Üstdeğeri (Xüst, N/mm²)
■1(Eyüp)	5,674	1,245	0,219	3,386	7,962
◆2(Eyüp)	1,161	0,201	0,173	0,791	1,531
▲3(Avcılar)	2,812	2,078	0,739	-1,005	6,629
●4(Avcılar)	2,676	0,837	0,313	1,139	4,213

Eğilme deneyi sonucu iki parçaya ayrılan numunelerin kırılma yüzeyleri Tablo C.4, Tablo C.5, Tablo C.6 ve Tablo C.7’de görülmektedir. Bu tablolardaki fotoğraflarda beton örneklerinin içerdiği organik maddeler ve agregalar açıkça görülmektedir.

Tablo 3.17 Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları

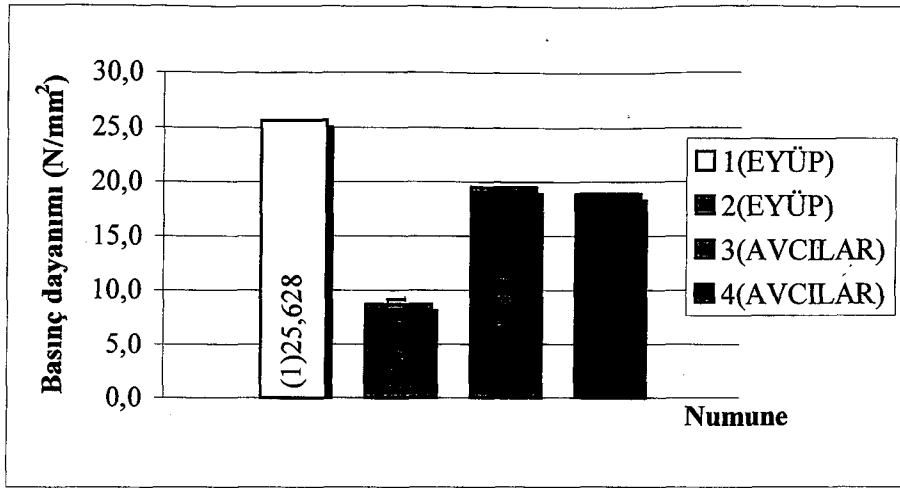
Numune	(b, mm)	(h, mm)	(P, N)	(σ_{eg} , N/mm ²)
1/1	40,28	39,64	1650	3,910
1/2	42,73	39,95	2700	5,939
1/3	43,18	46,73	4300	6,840
1/4	46,78	43,53	3550	6,007
2/1	43,35	40,02	650	1,404
2/2	44,17	41,39	500	0,991
2/3	45,71	41,32	650	1,249
2/4	43,06	41,74	500	1,000
3/1	44,58	44,01	350	0,608
3/2	42,66	46,78	3500	5,624
3/3	46,15	43,66	1450	2,472
3/4	45,50	44,09	1500	2,544
4/1	45,08	44,92	1200	1,979
4/2	43,47	47,61	2550	3,882
4/3	45,31	44,89	1550	2,546
4/4	45,74	40,51	1150	2,298

3.3.7 Basınç Dayanımı Deneyi

Eğilme dayanımı deneyi sonucu iki parçaya ayrılan numunelerin, her iki parçası üzerinde de (4x4x2=32 adet) Bölüm 3.2.7' de değinildiği şekilde basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, Tablo 3.18'de topluca sunulmuştur. Hesaplanan ortalama basınç dayanımları ve bu ortalamalara ait istatistiksel değerler sırasıyla Şekil 3.21 ve Tablo 3.19'da sunulmaktadır.

Tablo 3.18 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçları

Numune	P (N)	A (mm)	B (mm)	Alan (mm ²)	Basınç dayanımı. σ_b (N/ mm ²)
1/1a	50000	40	39,64	1585,6	31,534
1/1b	44750	40	39,64	1585,6	28,223
1/2a	30850	40	39,95	1598	19,305
1/2b	31750	40	39,95	1598	19,869
1/3a	44000	40	40	1600	27,500
1/3b	43000	40	40	1600	26,875
1/4a	42250	40	40	1600	26,406
1/4b	40500	40	40	1600	25,313
2/1a	15000	40	40	1600	9,375
2/1b	13500	40	40	1600	8,438
2/2a	12250	40	40	1600	7,656
2/2b	12500	40	40	1600	7,813
2/3a	15250	40	40	1600	9,531
2/3b	14250	40	40	1600	8,906
2/4a	14000	40	40	1600	8,750
2/4b	14500	40	40	1600	9,063
3/1a	22500	40	40	1600	14,063
3/1b	24500	40	40	1600	15,313
3/2a	42000	40	40	1600	26,250
3/2b	41500	40	40	1600	25,938
3/3a	34000	40	40	1600	21,250
3/3b	30000	40	40	1600	18,750
3/4a	33500	40	40	1600	20,938
3/4b	21500	40	40	1600	13,438
4/1a	24000	40	40	1600	15,000
4/1b	21250	40	40	1600	13,281
4/2a	29500	40	40	1600	18,438
4/2b	27000	40	40	1600	16,875
4/3a	36000	40	40	1600	22,500
4/3b	33500	40	40	1600	20,938
4/4a	34750	40	40	1600	21,719
4/4b	35000	40	40	1600	21,875



Şekil 3.21 Karşılaştırmalı Ortalama Basınç Dayanımı Değerleri (N/mm²)

Tablo 3.19 Basınç Dayanımı Deneyi Sonuçlarına Ait İstatistik Değerleri

Numune	Ortalama değer (X, N/mm²)	Standart Sapma (S, N/mm²)	Değişkenlik Katsayısı (V)	Ortalamanın Altdeğeri (Xalt, N/mm²)	Ortalamanın Üstdeğeri (Xüst, N/mm²)
■1(Eyüp)	25,628	4,149	0,162	21,919	29,337
◆2(Eyüp)	8,692	0,683	0,079	8,081	9,302
▲3(Avcılar)	19,493	5,022	0,258	15,003	23,982
●4(Avcılar)	18,828	3,484	0,185	15,714	21,943

3.3.8 Özgül Kütle Deneyi Sonuçları

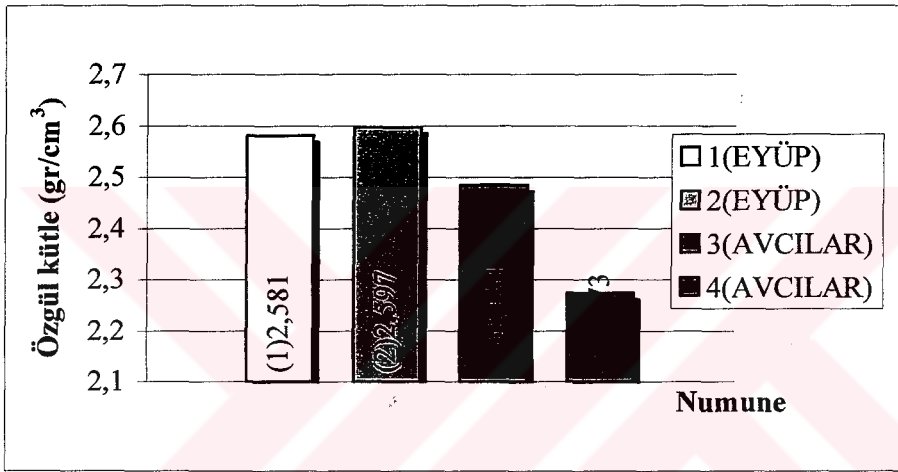
Bölüm 3.2.8’ de ifade edilen şekilde tespit edilen özgül kütle değerleri Tablo 3.20’de topluca sunulmuştur. Bu değerler Şekil 3.22’de histogram ile ifade edilmiştir.

3.3.9 Buhar Geçirgenliği Deneyi Sonuçları

Bölüm 3.2.9’da değinilen şekilde uygulanan deney sonucu elde edilen değerler Tablo 3.21’ de topluca sunulmuştur. Deney sürecinde elde edilen sonuçlar ise Tablo B.8’de görülmektedir.

Tablo 3.20 Özgöl Kütle Deneyi Sonuçları

Numune	Gm(Malzeme Ağırlığı, gr)	Gpm(Su dolu kap+su+kapak Ağ., gr)	Gpms(Su dolu kap+malz.+su+ kapak Ağ., gr)	D(Özgöl Kütle, gr/cm ³)
■1(Eyüp)	40	331,4	355,9	2,581
◆2(Eyüp)	40	329,4	354,0	2,597
▲3(Avcılar)	40	337,9	361,8	2,484
●4(Avcılar)	40	324,7	347,1	2,273



Şekil 3.22 Karşılaştırmalı Ortalama Özgöl Kütle Değerleri (gr/cm³)

Tablo 3.21 Buhar Difüzyon Direnç Katsayıları

Numune	Buhar Difüzyon Direnç Katsayıları (μ)
1/1	6,94
1/2	5,31
2/1	4,79
2/2	2,50
3/1	5,04
3/2	4,29
4/1	5,52
4/2	3,77

3.4 Bölüm Sonuçları

Avcılar ve Eyüp bölgesinden, deprem sonucu hasar görmüş binalardan temin edilen ve üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanan beton örnekleri deneyler sırasında gösterdikleri performanslara göre iyiden kötüye doğru göreceli olarak sıralandığında aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır (Tablo 3.22).

Tablo 3.22 Fiziksel ve mekanik büyüklüklerin iyiden kötüye doğru göreceli olarak sıralanması

Numunelerin sıralaması İyi → Kötü				Deney adı
■1 (2,098)	▲3 (1,867)	●4 (1,807)	◆2 (1,724)	Birim Ağırlık (gr/cm ³)
■1 (0,043)	▲3 (0,052)	◆2 (0,059)	●4 (0,063)	Kılcallık (gr/√dk)
■1 (2,023)	▲3 (1,914)	●4 (1,799)	◆2 (1,727)	Yoğunluk (gr/cm ³)
▲3 (%7,4)	■1 (%8,7)	●4 (%10,8)	◆2 (%12,7)	Su emme (kütlece)
■1 (3,032)	▲3 (2,686)	●4 (2,554)	◆2 (1,854)	Ultrases geçiş hızı (km/sn)
■1 (19,26)	▲3 (14,77)	●4 (12,35)	◆2 (6,32)	Dinamik E Modülü (N/mm ²)
■1 (5,674)	▲3 (2,812)	●4 (2,676)	◆2 (1,161)	Eğilme dayanımı (N/mm ²)
■1 (25,63)	▲3 (19,49)	●4 (18,83)	◆2 (8,69)	Basınç dayanımı (N/mm ²)
◆2 (2,597)	■1 (2,581)	▲3 (2,484)	●4 (2,273)	Özgül kütle (gr/cm ³)

Tablo 3.22 incelendiğinde, 4 örnek arasında, genel olarak Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı örneğin en iyi, yine Eyüp bölgesinin ◆2 numaralı örneğinin en kötü performansı gösteren beton örneği olduğu görülmektedir. Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı örneğin kütlece su emme ve özgül kütle hariç diğer özelliklerde en iyi, yine Eyüp bölgesinin ◆2 numaralı örneğinin ise kılcallık katsayısı ve özgül kütle hariç diğer özelliklerde en kötü performansı sergilediği de görülmüştür. (Tablo 3.22) Bu durum, bir anlamda deney sonuçlarının tutarlılığını da ortaya koymaktadır.

Literatürde, gerekli koşullara uyularak üretilmiş betonun birim ağırlığı 2,2 gr/cm³ ile 2,4 gr/cm³ arasında değiştiği belirtilirken [9], deney uygulanan örneklerin hiçbirinin bu sınırlar içinde bir birim ağırlık değerine sahip olmadığı görülmüştür. Şekil 3.2

incelendiğinde, ♦ 2 numaralı Eyüp bölgesi örneklerinin oldukça boşluklu bir yapıda olduğu, Şekil 3.4 incelendiğinde ise ● 4 numaralı avcılar bölgesi örneklerinin neredeyse hiç iri agrega içermediği görülmektedir. Gözle tespit edilebilen bu özellikler, betonların birim ağırlıkları üzerinde oldukça etkilidirler.

Kılcallık katsayısı, uygun granülometriye sahip betonlarda 0,01 cm/ $\sqrt{dk}$ ile 0,016 cm/ $\sqrt{dk}$ arasında değişmektedir[9]. Üzerinde deneyler uygulanan bütün numuneler bu değerlerle kıyaslanamayacak kadar yüksek kılcallık katsayılarına sahiptir. Bu durum öncelikle örneklerin uygun granülometriye sahip olmadıklarını ortaya koymaktadır. Aynı zamanda, beton içerisindeki boşlukların birbirleriyle ilişkisini sağlayan kanal borucuk ve çatlakların varlığı ve boyutları kılcallık katsayısını etkileyen önemli faktörlerdir. Elde edilen değerler ile örneklerin fazla miktarda boşluk içermesi ve bu boşlukların birbirleriyle ilişkili oldukları tahmin edilebilir.

Literatürde su emme oranı %5'ten büyük betonlar zayıf beton olarak nitelendirilmektedir[16]. Üzerinde deney uygulanan örneklerden hiçbiri zayıflık sınırı olan %5'lik kütlece su emme oranı değerine bile yaklaşamamışlardır. Avcılardan temin edilen ▲3 numaralı örnek kütlece %7,4'lük su emme oranıyla en düşük, Eyüp bölgesinden alınan ♦ 2 numaralı örnek ise kütlece % 12,7'lik su emme oranıyla en yüksek değere sahiptir.

Yukarıda değinilen birim ağırlık, kılcallık ve su emme özellikleri, betonun boşluklu yapıda olmasından ileri gelmektedir. Betonun boşluklu bir yapıya sahip olmasının nedenleri ise :

- Katılma sırasında oluşan büzölmeler ve mikroçatlakların oluşması
- Hidratasyon reaksiyonları sırasında açığa çıkan serbest kirecin oluşması
- Uygun agrega granülometrisinin sağlanamaması
- Çimento dozajının yetersizliği
- Gereğinden fazla su katılması
- Yerleştirme sırasında özen gösterilmemesi

şeklinde sıralanabilir. Uygulanan deneylerin sonuçları değerlendirildiğinde, örneklerin hepsinin oldukça yüksek miktarda boşluk içerdği anlaşılmış olup

(Tablo2.23), yukarıda sayılan koşulların birçoğunun Avcılar ve Eyüp bölgesinden elde edilen beton örnekleri için geçerli olduğu açıktır. Bu kadar yüksek derecede boşluk içeren (kompozite değeri 0,80'den küçük) betonların mekanik özelliklerinin istenilen değerlerde olması beklenemez [9].

Tablo 3.23 Beton Örneklerinin Ortalama Porozite ve Kompozite Değerleri

Numune	Porozite (boşluk oranı)	Kompozite (doluluk oranı)
■1(Eyüp)	0,187	0,813
◆2(Eyüp)	0,335	0,665
▲3(Avcılar)	0,229	0,771
●4(Avcılar)	0,208	0,792

Ultrases deneyi esnasında ölçülen hız değerleri betonun iç yapısı (boşluklar, hidratasyon derecesi, kılcal çatlaklar v.b.) hakkında önemli bilgiler sağlar [16]. Beton numuneleri ses geçiş hızlarına göre sınıflandırıldığında (Tablo 4.1), Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı örneğin şüpheli, diğer numunelerin hepsinin zayıf kalitede oldukları anlaşılmaktadır.

Avcılar ve Eyüp bölgesinden temin edilen beton örneklerinden hiçbirisi basınç dayanımı deneylerinde, betonarme binalarda kullanılabilecek bir beton performansı sergilememişlerdir. Betonarme yapılarda kullanılması gereken betonların en düşük BS16 (ortalama küp basınç mukavemeti 25 N/mm² olan) kalitesini sağlaması gerekmektedir [9]. Bu standarda sadece Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı örneğin yaklaşmış olduğu görülmektedir. Ancak numune boyutları küçüldükçe ölçülen basınç mukavemetinin daha yüksek değerler aldığı ve deneylerde kullanılan numune boyutunun (4x4x16 cm) TSE 500'de belirtilen (20x20x20 cm) boyuttan küçük olduğu bilindiğinden, bu betonun da betonarme bir yapıda kullanılabilecek bir basınç mukavemetine sahip olmadığı sonucuna varılmıştır. Diğer numuneler basınç dayanımı değerleri açısından birbirlerine yakın değerlere sahip iken, Eyüp bölgesinden temin edilen ◆2 numaralı beton örnekleri 8,691 N/mm² ile çok düşük bir basınç dayanımına sahiptir. Bu durumu sadece kompozite, porozite gibi etkenlere

bağlamak doğru olmaz. Bu örnekte iç yapıyla ilgili değil, çimento, su ve yerleştirme koşulları gibi diğer etkenlerle ilgili sorunlar olduğu tahmin edilmektedir. Bu durum ilerleyen bölümlerde incelenecektir.

İstanbul gibi 2. derece deprem kuşağında yer alan bir bölgedeki binalarda, bu kalitede betonların kullanılmış olması oldukça düşündürücüdür. 1998 Afet Yönetmeliği'ne göre, taşıyıcı sistemi çerçeveli (perdesiz, şartnameye göre minimum perdeli) binalarda 1. ve 2. deprem bölgelerinde kullanılması zorunlu asgari beton sınıfı BS20' dir (ortalama eşdeğer küp basınç dayanımı 32 N/mm^2) [17].

Avcılar ve Eyüp bölgelerinin deprem sonucu hasar görmüş binalarından temin edilen beton örneklerinin, üzerinde uygulanan deneyler sonucu elde edilen fiziksel ve mekanik büyüklüklerinin değerlendirilmesi neticesinde, hiçbir örneğin betonarme yapılarda kullanılmaya uygun değerler sahip olmadığı belirlenmiştir.



4. BETON ÖRNEKLERİ ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İRDELENMESİ

Bu bölümde, Avcılar ve Eyüp bölgelerinden deprem sonucu hasar gören binalardan temin edilen 4 örneğin, Bölüm 3'te değinilen birim ağırlık, kılcal su emme, yoğunluk, su emme gibi fiziksel ve ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, eğilme dayanımı, basınç dayanımı gibi mekanik performansları değerlendirilmiş ve tespit edilen fiziksel ve mekanik büyüklüklerin birbirleri ile ilişkileri ortaya konmuştur.

4.1 Kılcallık Deneyi

Bölüm 3.2.2'de belirtildiği gibi uygulanan deney sonucunda tespit edilen kılcallık katsayıları değerlendirildiğinde, Avcılar bölgesinden temin edilen ●4 numaralı örneğin 0,063 gr/√dak değeri ile en yüksek kılcallık katsayısına sahip olduğu görülmektedir. Şekil 3.13'te görüldüğü üzere en düşük kılcallık katsayısına ise 0,043 gr/√dak ile Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı örnek sahiptir. Bu sonuçlara göre Avcılar bölgesinden temin edilen ●4 numaralı ve Eyüp bölgesinden temin edilen ◆2 numaralı örneklerin, içerdiği kılcal boşlukların ve bu boşlukların sürekliliğinin ve birbirleriyle ilişkilerinin diğer örneklere göre daha fazla olduğu tahmin edilebilir.

4.2 Su Emme, Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk Deneyleri

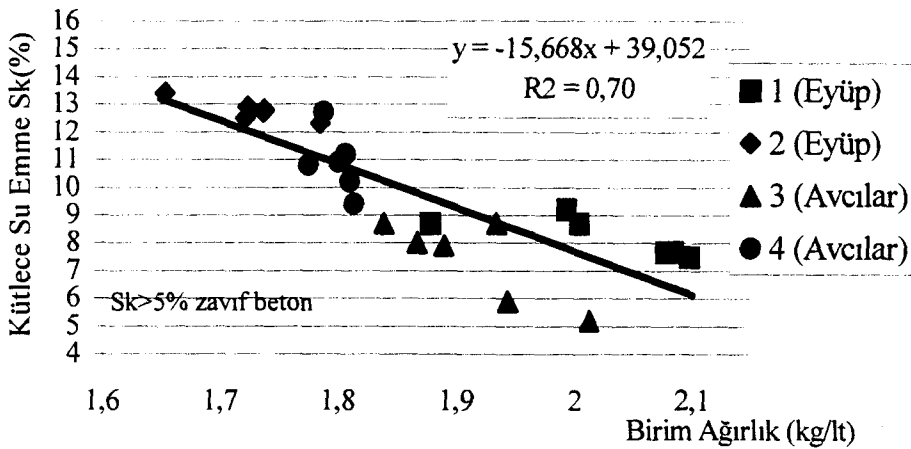
Su emme, birim hacim ağırlık ve yoğunluk deneylerinin hesaplamalarında aynı tablonun kullanılması ve bu üç fiziksel özelliğin birbirleriyle ilişkilerinin ortaya konması açısından, üç deney aynı başlıkta toplanmıştır.

Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen bütün numuneler üzerinde yapılan birim hacim ağırlık ve su emme deneylerinin sonuçları göz önüne alındığında iki fiziksel büyüklük arasında doğrusal bir ilişki görülmektedir. Bu ilişki doğrusal regresyon ile ifade edilmiştir (Şekil 4.1). Birim ağırlık değeri arttıkça, su emme oranı

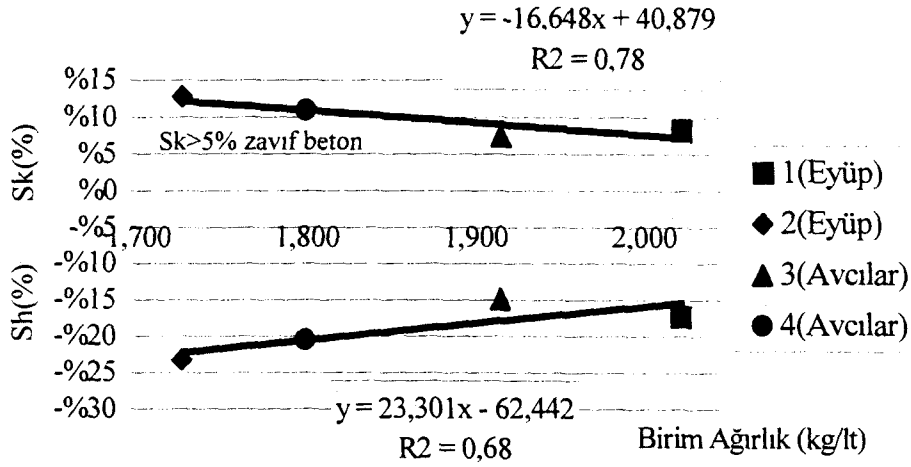
azalmaktadır. Bu durum malzeme içerisindeki boşluk miktarının azalmasıyla, birim ağırlık değerinin artması, dolayısıyla su emme oranının azalması ile açıklanabilir.

Numune birim ağırlığı betonun hava içeriğini dolayısıyla yerleştirme işleminde kullanılan “sıkıştırma”nın kalitesi konusunda önemli bilgi sağlar, artan birim ağırlık ile betonun su emmesi azalır. Su emme oranı yüksek betonların fiziksel (aşınma, erozyon, kavitasyon...) ve kimyasal (karbonatlaşma, korozyon, sülfat etkisi ...) dayanımlarının düşük olduğu beton pratiğinde bilinen bir olgudur. Beton literatüründe su emme oranı %5’den yüksek olan betonlara yüksek su emmeli beton denir ve kalitesi zayıf olarak kabul edilir [16].

Örnek bazında ortalama değerlerde yine aynı durum karşımıza çıkmaktadır. Birim ağırlık değeri dört örnek arasında göreceli olarak yüksek olan örneğin su emme oranı yine göreceli olarak düşüktür (Şekil 4.2). Temin edilen 4 örnek karşılaştırıldığında Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı örneğin kütlece ve hacimce en yüksek su emme oranlarına ve en düşük birim hacim ağırlığa sahip olduğu görülmektedir. ♦2 numaralı numunelerin fazla miktarda boşluk içerdikleri Şekil 3.2’de de görülmektedir. Benzer şekilde Avcılar bölgesinden temin edilen ●4 numaralı örnek de, diğer örnekler arasında yüksek sayılabilecek bir su emme oranına sahiptir. Bu durum sadece boşluk miktarından değil aynı zamanda bu örneğin oldukça fazla oranda ince agregaya içermesinden de kaynaklanmaktadır (Şekil 3.4). Bilindiği gibi ince agregaların (kumların) su emme oranları, iri agregalara göre oldukça yüksektir.

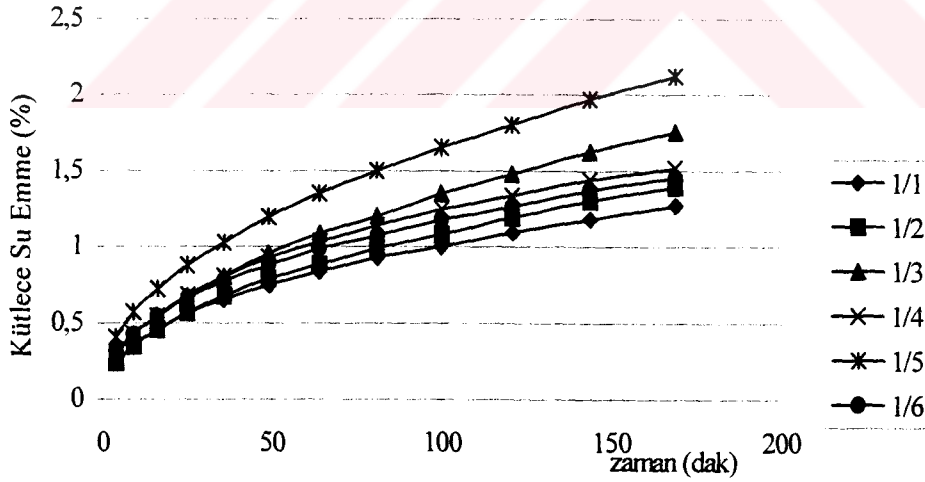


Şekil 4.1 Birim Ağırlık – Kütlece Su Emme Grafiği



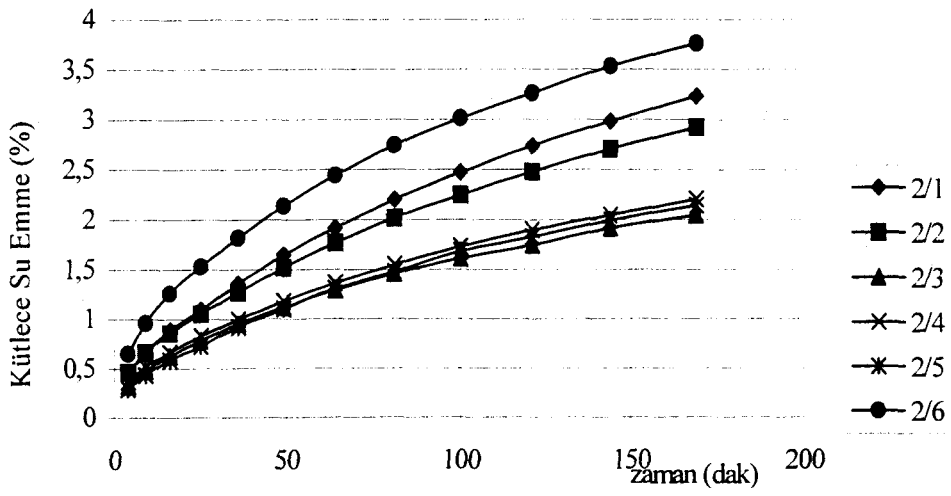
Şekil 4.2 Birim Ağırlık – Su Emme Grafiği

Su emme deneyi yapılan numunelerin, her zaman aralığı için su emme oranları hesaplanmış ve bu değerlerle zaman aralıkları arasındaki ilişkiyi ifade eden grafikler çizilmiştir. Şekil 4.3, 4.4, 4.5 ve 4.6'da örnekler için çizilen zaman-su emme grafikleri yer almaktadır. Görüldüğü gibi, su emme oranı zamana bağlı olarak logaritmik şekilde artmakta ve eğrilerin asimptotu o numune için doygun haldeki su emme oranını göstermektedir.

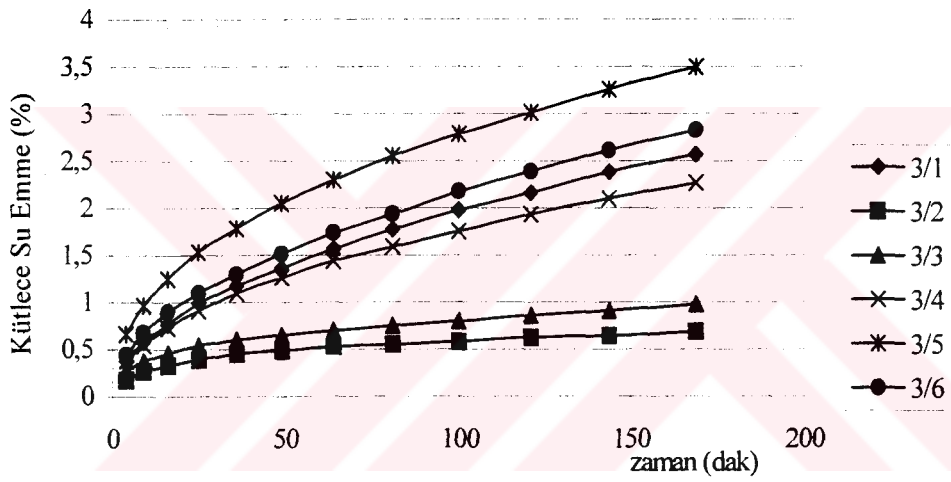


Şekil 4.3 1(Eyüp) Numaralı Numunelerin Zaman-Su emme Grafiği

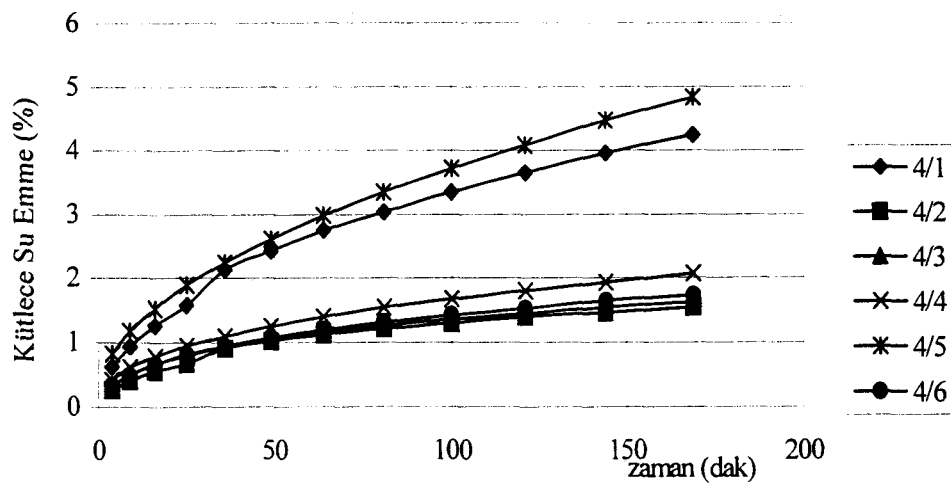
Birim hacim ağırlık değerleri gibi yoğunluk değerleri de su emme oranları ile karşılaştırılmış ve Şekil 4.7'deki grafikte ifade edilmiştir. Görüldüğü gibi yoğunluk değerleri arttıkça kütlece ve hacimce su emme oranları azalmaktadır. Bu durum doğrusal regresyonlarla ifade edilmiştir.



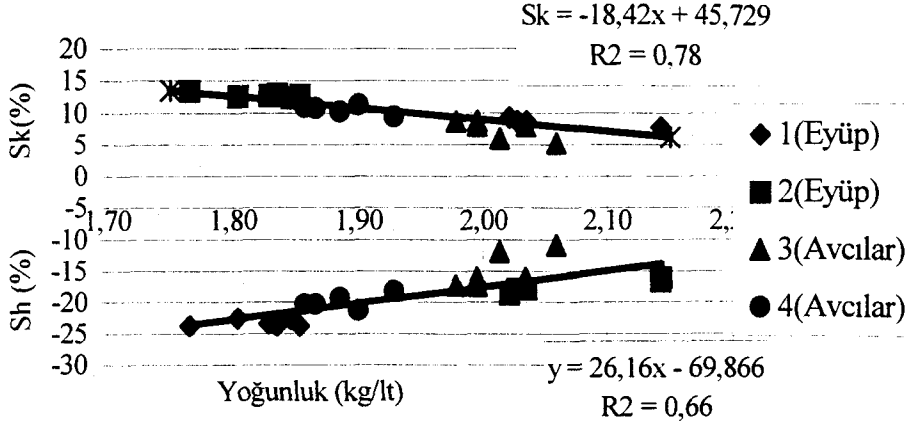
Şekil 4.4 ♦2 (Eyüp) Numaralı Numunenin Zaman-Su emme Grafiği



Şekil 4.5 ▲3 (Avcılar) Numaralı Numunenin Zaman-Su emme Grafiği



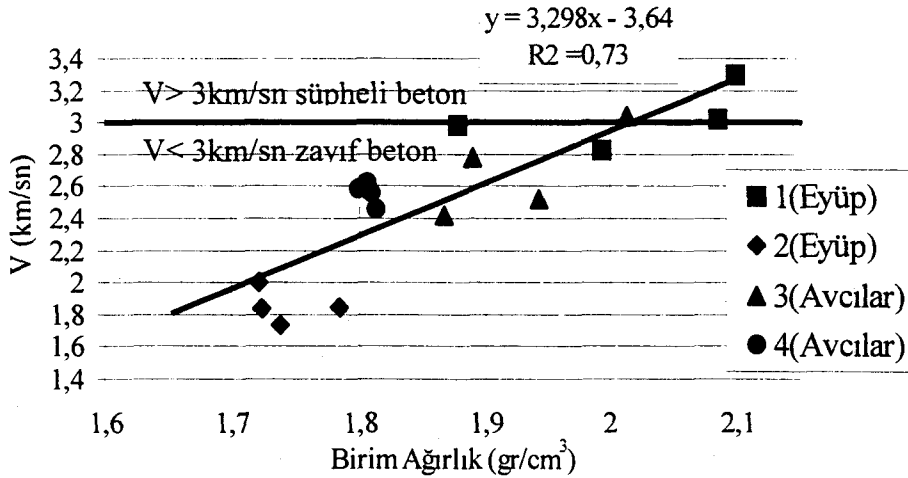
Şekil 4.6 ●4 (Avcılar) Numaralı Numunenin Zaman-Su emme Grafiği



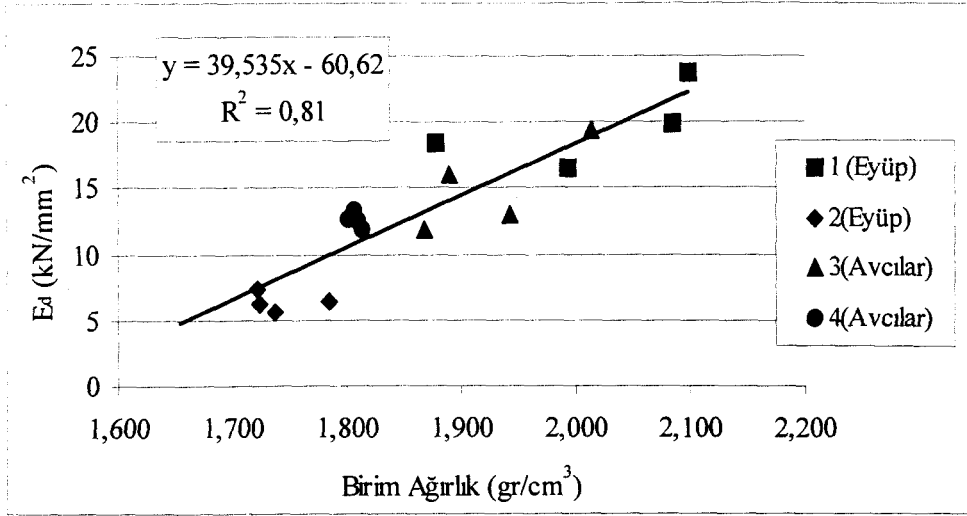
Şekil 4.7 Yoğunluk – Su Emme Grafiği

4.3 Ultrases Deneyi

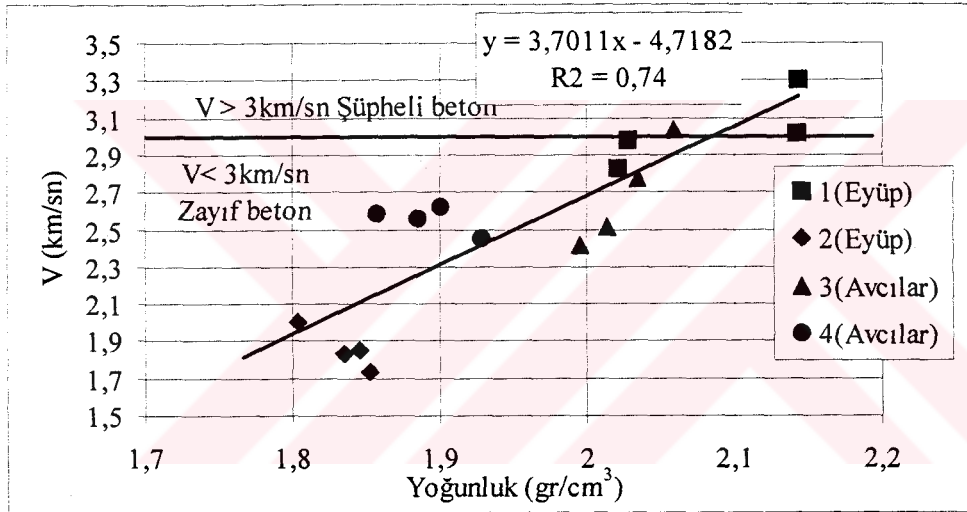
Bölüm 3.2.5'te değinilen şekilde 16 numune üzerinde uygulanan ultrases deneyi sonucu elde edilen ses geçiş hızı (V) ve dinamik elastisite modülü (E) değerleriyle, birim ağırlık değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'da bütün numunelerin deney sonuçları kullanılarak çizilmiş olan grafiklerle ortaya konmuştur. Bu grafikler, birim ağırlık değeriyle, elastisite modülü ve aynı zamanda ses geçiş hızı değerleri arasında doğrusal bir ilişki olduğunu göstermektedir. Birim ağırlık değeri arttıkça hem ses geçiş hızı, hem de elastisite modülü değeri artmaktadır. Aynı anlayışla yoğunluk değeri arttıkça ultrases geçiş hızında arttığı Şekil 4.10' da izlenmektedir.



Şekil 4.8 Birim Ağırlık-Ses Geçiş Hızı Grafiği



Şekil 4.9 Birim Ağırlık – Dinamik Elastisite Modülü Grafiği



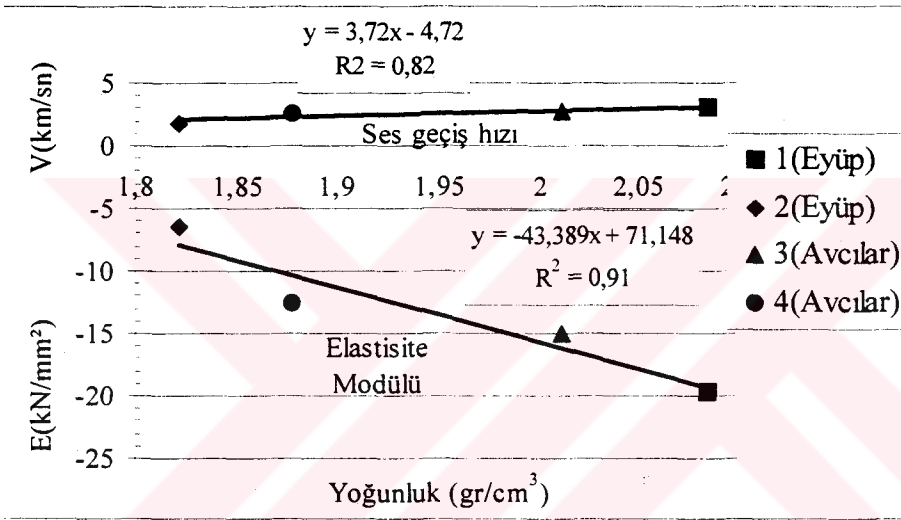
Şekil 4.10 Yoğunluk– Ses geçiş hızı Grafiği

Numune ortalamaları üzerinde değerlendirme yapılmadan önce betonların ses geçiş hızlarına göre sınıflandırma kriterlerini bilmek gerekir. Bu sınıflandırma Tablo 4.1’ de görülmektedir.

Tablo 4.1 Ses Geçiş Hızına Göre Sınıflandırma [16]

Ses Geçiş Hızı (V, km/sn)	Tanım
2,0-3,0	Zayıf beton
3,0-3,5	Şüpheli beton
3,5-4,0	İyi beton
>4,5	Çok iyi beton

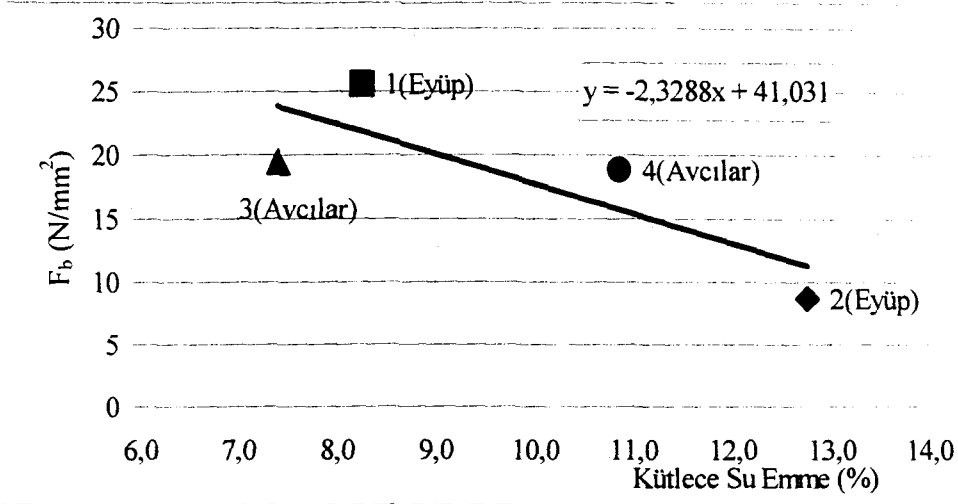
Şekil 4.7’ de görüldüğü üzere deney yapılan 16 numuneden sadece 3’ü “zayıf beton” sınırını az bir farkla geçmektedir ve “şüpheli beton” sınıfına girmektedir. Örneklerin ortalamaları arasında bir sıralama yapıldığında ise, daha önce yapılan deneylerde yüksek su emme oranına, düşük birim ağırlığa ve düşük yoğunluğa sahip olan 2 ve 4 numaralı örneklerin yine düşük performans göstererek göreceli olarak düşük elastisite modülü ve ses geçiş hızlarına sahip oldukları görülmüştür (Şekil 4.11). Grafikte yoğunluk ile ses geçiş hızı ve elastisite modülü arasındaki lineer doğru orantı yine okunabilmektedir. Bu deney sonucunda Tablo 4.1’e göre yapılan sınıflamada ♦2(Eyüp), ▲3(Avcılar), ●4(Avcılar) numaralı betonların “zayıf”, ■1(Eyüp) numaralı betonun ise “şüpheli” olduğu tespit edilmiştir.



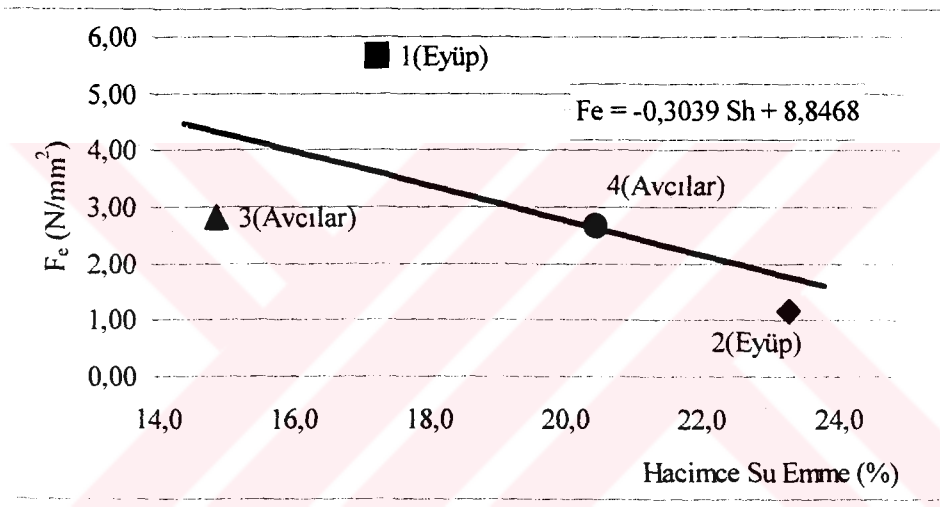
Şekil 4.11 Yoğunluk– V ses geçiş hızı / Dinamik Elastisite modülü Grafiği

4.4 Eğilme ve Basınç Dayanımı

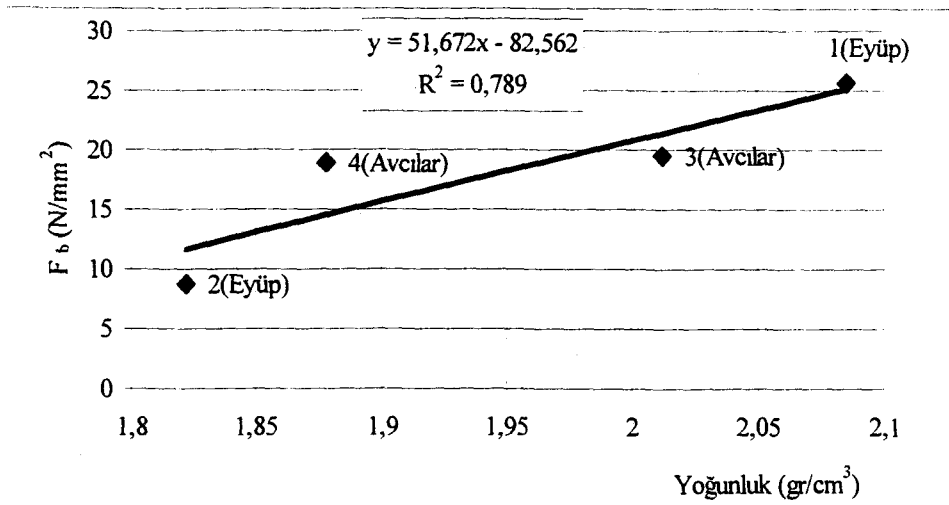
Mekanik dayanım deneyleri tamamlandığında, beklendiği gibi su emme oranı yüksek, birim ağılık değerleri, ses geçiş hızları, elastisite modülleri düşük olan numunelerin oldukça düşük mekanik performanslar sergilemişlerdir. Yukarıda sayılan fiziksel özelliklerin mekanik özelliklerle ilgileri araştırılmış ve su emme – basınç dayanımı, su emme – eğilme dayanımı, yoğunluk – basınç dayanımı grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.12, Şekil 4.12, Şekil 4.13). Bu grafiklerden, anılan fiziksel özellikler ile mekanik dayanımlar arasında lineer ilişkiler olduğu ortaya çıkmıştır ve doğrusal regresyonlarla ifade edilmişlerdir. Fiziksel özellikleri göreceli olarak kötü (yüksek (su emme) veya düşük (birim ağırlık)) olan numunelerin, mekanik performanslarının da kötü olduğu gözlenmiştir.



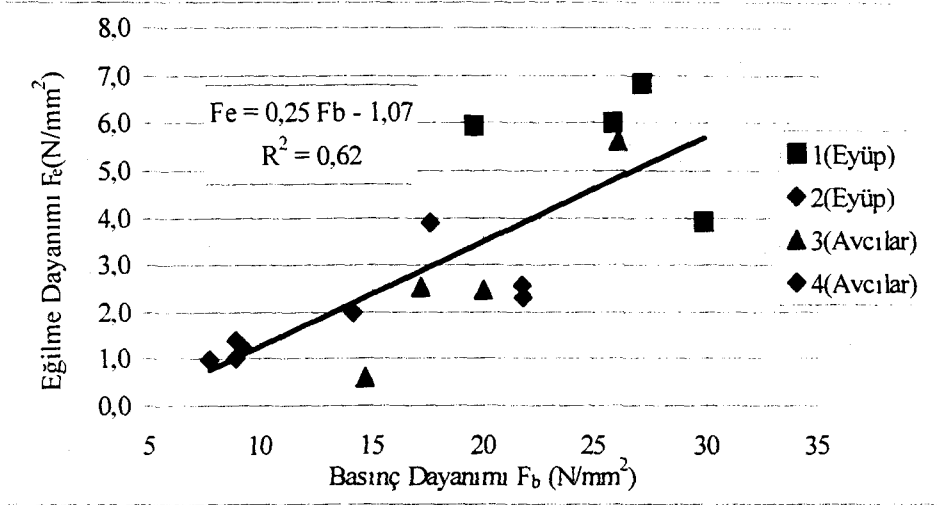
Şekil 4.12 Kütlege Su Emme – Basınç Dayanımı Grafiğı



Şekil 4.13 Hacimce Su Emme – Eğilme Dayanımı Grafiğı



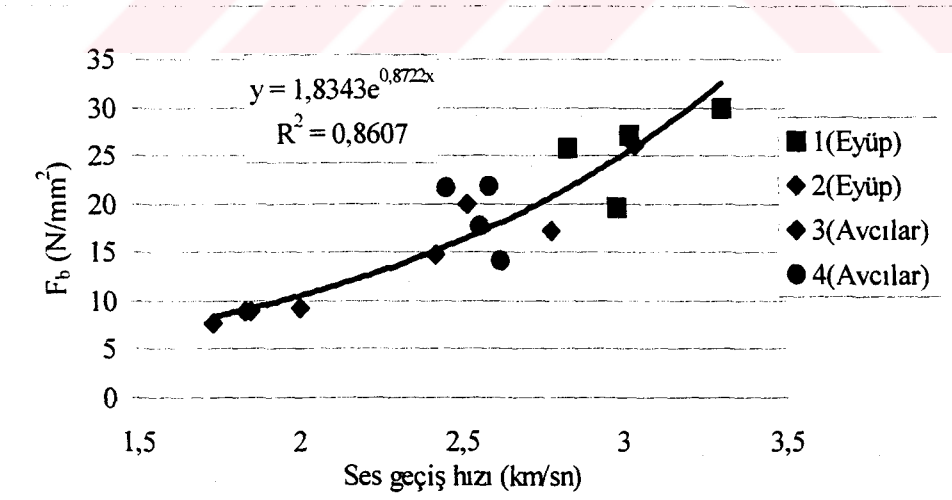
Şekil 4.14 Yoğunluk – Basınç Dayanımı Grafiğı



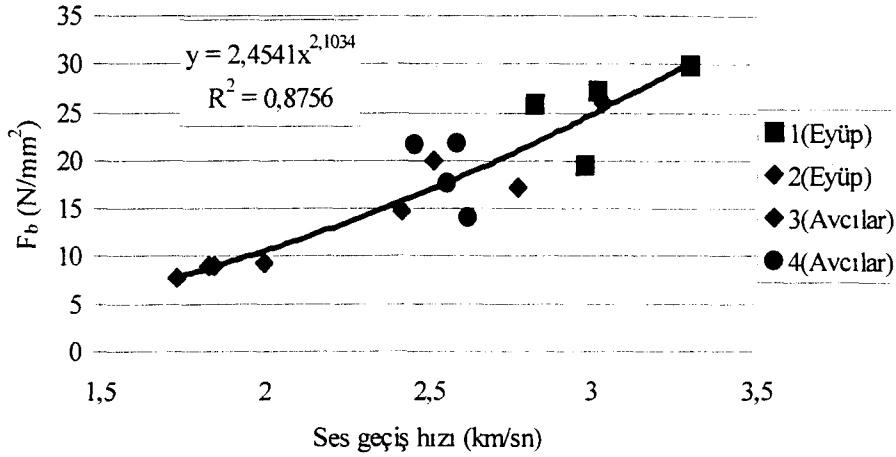
Şekil 4.15 Basınç-Eğilme Dayanımı Grafiği

Eğilme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki istatistiksel ilişkiyi sorguladığımızda ise, üzerinde deney yapılan tüm numunelerin sonuçlarının kullanıldığı Şekil 4.15'deki grafik elde edilmektedir. İki mekanik büyüklük arasındaki ilişki ise doğrusal regresyon ile ifade edilmiştir.

Beton literatüründe ultrases hızı ile basınç dayanımı arasında da çeşitli regresyon bağıntıları rapor edilmektedir [16]. Elde edilen bütün sonuçların kullanılmasıyla bu bağıntılar Şekil 4.16, Şekil 4.17'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.16 Ses Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Grafiği



Şekil 4.17 Ses Geçiş Hızı-Basınç Dayanımı Grafiği

4.5 Bölüm Sonuçları

Avcılar ve Eyüp bölgesinde, deprem sonucu hasar görmüş binalardan temin edilen beton örnekleri üzerinde uygulanan birim ağırlık, kılcallık, yoğunluk, su emme, gibi fiziksel ve ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, eğilme ve basınç dayanımı gibi mekanik deneylerin sonuçlarının birbirleri üzerindeki etkileri araştırılmış ve Tablo 4.2’de ifade edilmiştir.

Tablo 4.2’de satırda adı geçen büyüklükteki artışın, sütundaki büyüklüğü hangi yönde etkilediği açıklanmaktadır. “↗” ile büyüklükteki artış, “↘” ile büyüklükteki azalma ifade edilmektedir. Ayrıca, “Δ” ile birim ağırlık, “D” ile yoğunluk, “δ” ile özgül kütle, “Sk” ile kütlece su emme, “Sh” ile hacimce su emme, “V” ile ultrases geçiş hızı, “E” ile dinamik elastisite modülü, “σ_e” ile eğilme dayanımı, “σ_b” ile basınç dayanımı ifade edilmektedir. Buna göre: Birim ağırlık değerindeki artışla, yoğunluk, özgül kütle, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinde de artış, kütlece ve hacimce su emme oranlarında azalma sağlandığı anlaşılmaktadır. Yine aynı mantıkla, kütlece su emme oranındaki artışla, birim ağırlık, yoğunluk, özgül kütle, ultrases geçiş hızı, dinamik elastisite modülü, eğilme ve basınç dayanımı değerlerinde de azalma, hacimce su emme oranında artış sağlandığı anlaşılmaktadır. Bu artış ve azalmaların regresyon ifadeleri Bölüm 4 içerisinde yer almaktadır.

Tablo 4.2 Fiziksel ve Mekanik Büyüklüklerin Birbirleri Üzerinde Etkileri

		Etkilenen Büyüklükler									
		Fiziksel					Mekanik				
Adı geçen Büyüklükteki Artış	Fiziksel		Δ	D	δ	Sk	Sh	V	E	σ_e	σ_b
		$\Delta \nearrow$		$\nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
		D $\nearrow$	$\nearrow$		$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
		$\delta \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$		$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
		Sk $\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$		$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$
		Sh $\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$		$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\searrow$
	Mekanik	V $\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$		$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
		E $\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$		$\nearrow$	$\nearrow$
		$\sigma_e \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\nearrow$		$\nearrow$
		$\sigma_b \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	

Tablo 4.2 incelendiğinde, betonların mekanik mukavemetlerinin, birim ağırlık yoğunluk, su emme gibi betonun boşluk yapısı hakkında bilgi veren büyüklükler tarafından oldukça fazla etkilendiği görülmektedir. İncelenen beton örneklerinin hiçbirinin betonarme bir yapıda kullanılabilecek fiziksel ve mekanik değerlere sahip olmadığı hatırlanırsa, boşluk durumunun önemi ortaya çıkar. Beton içerisindeki boşlukları aşağıdaki şekilde sınıflara ayırmak mümkündür:

- **Agrega boşlukları.** Agregatanelerinin kendi yapıları içindeki boşluklardır. Genellikle küçük çaplı olup, agreganın cinsine, çap ve şekline göre değişir. Bu boşluklar ilerleyen bölümde deneylerle tespit edilmiştir.
- **Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki jel, kılcal ve makro boşluklar** Sertleşmiş çimento hamuru içerisindeki boyutları, 10 Å ile 35 Å arasındaki boşluklar jel, 60Å ile 1000000 Å arasındaki boşluklar da kılcal boşluklar olarak

tanımlanır. Bu boşlukların miktar, çap ve şekilleri betonun su/çimento (w/c) oranına, hidrasyon derecesine, agreganın en büyük tane boyutuna, çimento cinsine göre değişir. Kılcal boşlukları karma suyunun, hidrasyonun tamamlanmış olmasına rağmen reaksiyona katılmamış kısımları olarak düşünülebilir. Beton yerleştirildikten sonra, çimento hamuru ve agreganın dengeye oturması için su yukarı doğru hareket eder. Bu suyun bir kısmı iri agregalar ve donatıların altında tutunurlar. Betonun sertleşme sürecinde buharlaşan bu su betonda makro (1 – 10 mm) ve kılcal boşlukların oluşmasına neden olur. İşlenebilir bir beton için bu boşlukların oluşması kaçınılmazdır, önemli olan bu boşlukların miktarı, dağılımı ve birbirleriyle ilişkili olup olmadığıdır.

- Agreganın yığını içerisinde kalan boşluklar, işlenebilirliği kötü betonlarda agregaların sıkıştırılamamaları sonucu görülür. Bu boşlukların oluşmasındaki en büyük etken kullanılan agreganın ideal granülometrik bileşime sahip olmamasıdır.
- Betonun farklı oturması sonucu ortaya çıkan boşluklar, betonun oturması sırasında agreganın tanelerinin bu olayı takip edememesi sonucu iri agregaların altında meydana gelmektedir.
- Küresel hava boşlukları, plastik kıvamlı betonlarda çimento hamurunun agreganın tanelerinin arasını doldurması sırasında meydana gelirler. [18]

Yukarıda sayılan bu boşlukların oluşmasını en aza indirmek için öncelikle, betonda kullanılan agregalar problem çıkmasını engelleyecek nitelikte olmalıdır. Bu durum ilerleyen bölümde incelenecektir. Bunun yanı sıra betonun su/çimento oranı, agreganın tane dağılımı, karma suyu miktarı, çimento dozajı, özelliği, sıkıştırma - yerleştirme ve kür koşulları betonun boşluk yapısı üzerinde önemli etkilere sahiptir [18]. Dolayısıyla yukarıda sayılan bütün koşullar betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemekte ve belirlemektedir.

5. BİLEŞENLER ÜZERİNDE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

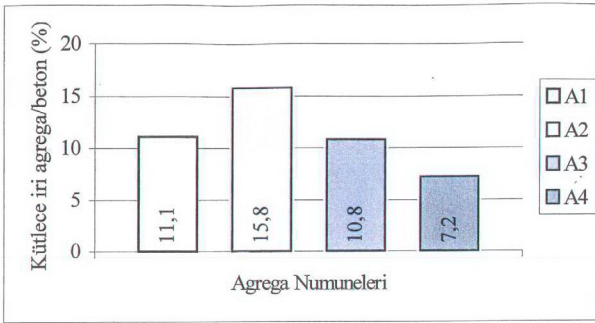
Bu bölüm, Avcılar ve Eyüp bölgelerinde deprem sonucu hasar gören binalardan temin edilen, üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanan beton numunelerinin, harç ve iri agregalar olarak bileşenlerine ayrılmasını, ve bu bileşenlerin fiziksel büyüklüklerinin, granülometri eğrilerinin, asit kayıplarının ortaya konması için yapılan deneyleri içermektedir.

5.1 Örneklerin Bileşenlerine Ayrılması

Öncelikle her örneğin 5'er numunesinin ($5 \times 4 = 20$ adet) bileşenlerine ayrılması öngörülmüştür. Ayırma işlemi tamamen mekanik yolla, elle yapılmıştır. Bu işlem yapılırken numuneler bir çekiç yardımıyla, agregaların kırılmamasına özen gösterilerek, kırılmış ve içlerinden elle ayrılabilen iri agregalar ($\geq 4\text{mm}$) yüzeylerindeki harçlar temizlenerek ayrılmıştır. Aynı örneğin numunelerinden ayrılan agregalar biraraya getirilmiş, ait oldukları örnek numarasının başına A harfi getirilerek, A1, A2, A3, A4 olarak adlandırılmıştır. Geriye kalan ince agregalar ve harç karışımları ise birbirleriyle karıştırılmadan ait oldukları numune numaralarıyla adlandırılmaya devam edilmişlerdir. Kırma işlemi esnasında bütün numunelerin oldukça fazla miktarda midye kabukları, kavkı vb. gibi organik maddeleri içerdikleri görülmüştür. Üzerinde mekanik yolla ayırma işlemi uygulanan numuneler, elde edilen agregalar kütlesi ve oranları Tablo 5.1'de bu oranların karşılaştırması Şekil 5.1'de ifade edilmiştir.

Tablo 5.1 Elde Edilen Agregalar

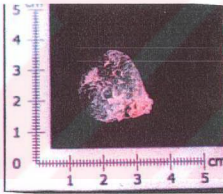
Üzerinde ayırma işlemi uygulanan numuneler	Ayrılan agregalar (gr)	Toplam Kütlesi (gr)	Kütleye Agregalar Oranı (%)
1/1, 1/2, 1/3, 1/4, 1/6	288,3	2581,2	11,1
2/1, 2/2, 2/3, 2/4, 2/6	476,8	3001,6	15,8
3/1, 3/2, 3/3, 3/4, 3/9	325,4	2986,1	10,8
4/1, 4/2, 4/3, 4/4, 4/5	209,6	2881,3	7,2



Şekil 5.1 Kütlece iri agrega / beton oranları

5.2 Elde Edilen İri Agregaların Jeolojik ve Mineralojik Özellikleri

Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar denizel kökenli olup, mıcır içermemektedir (Şekil E.1). İri agrega yığınının %85'ini bazalt ve gabbro gibi mikrobazik kayaç parçaları (Şekil 5.2), geri kalan %15'lik kısmını ise kuvarz ve opal tanecikleri (Şekil 5.3) oluşturmaktadır [19].



Şekil 5.2 Denizel kökenli Bazalt tanesi



Şekil 5.3 Kuvarz ve opal tanecikleri

Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar deniz ve kara kökenli bir karışım oluşturmaktadır (Şekil E.2). Karışımı üç ana grupta incelemek mümkündür.

- Muhtemelen İstanbul çevresinden elde edilmiş Bazalt, diabaz ve kalkerden oluşan karasal kökenli, köşeli malzeme (mıcır, Şekil 5.4). Bu taneler karışımın %10'unu oluşturmaktadır.

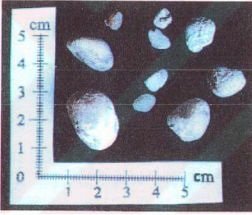
- Denizel kökenli yuvarlak iri malzeme. Andezit çakılı (Şekil 5.5) karışımın %2'sini, ofiyolit çakılı ise karışımın %1'ini oluşturmaktadır.
- Denizel kökenli ince taneler. Bu tanelerden bazalt kökenli olanlar karışımın %75'ini, kuvarz ve opaller (Şekil 5.6) %5'ini, deniz tabanında oluşan karbonat tüfleri (kavkı) (Şekil 5.7) ise %2'sini oluşturmaktadır [19]. Kavkı içeriklerinin fonksiyonu olarak agregaların donma dayanımları, kompoziteleri azalmakta, tane poroziteleri ve su emme oranları artmaktadır [20].



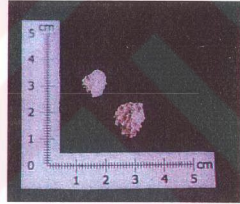
Şekil 5.4 Karasal kökenli mıcır (Bazalt)



Şekil 5.5 Andezit Çakılı



Şekil 5.6 Kuvarz ve opal taneleri

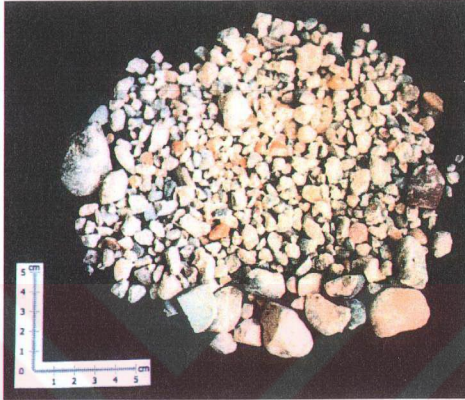


Şekil 5.7 Karbonat tüfleri

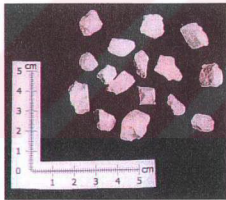
Avcılar bölgesinden temin edilen ▲3 numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregaların tamamı denizel kökenlidir (Şekil 5.8). Bu karışımı oluşturan taneler ise:

- %10-15 Opal
- %10-15 Kuvarz
- %8-10 Magmatik kayaç çakılları (Andezit, ofiyolit, metamorfik şist)
- %60-70 silikat bileşimli değişik minerallerdir [19].

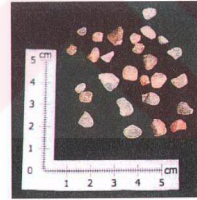
Avcılar bölgesinden temin edilen ●4 numaralı beton örneklerinden elde edilen agregaların tamamı ince boyutlu çakıl olarak nitelendirilebilir (Şekil E.3). Bu karışımın %40'ı kalker mıcırı (Şekil 5.9), geri kalanı ise opal ve kuvarz tanelerinden (Şekil 5.10) oluşmaktadır [19].



Şekil 5.7 Avcılar bölgesinden temin edilen ▲3 numaralı beton örneklerinden elde edilen iri agregalar



Şekil 5.8 Kalker Mıcırı



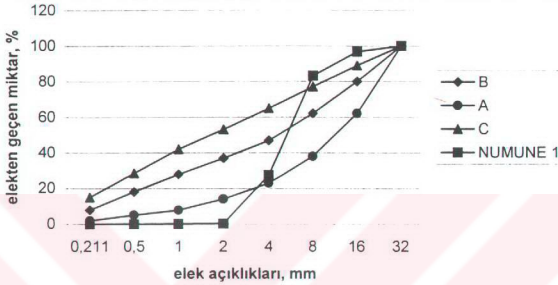
Şekil 5.9 Opal ve Kuvarz taneleri

5.3 Agregalar Üzerinde Yapılan Deneyler

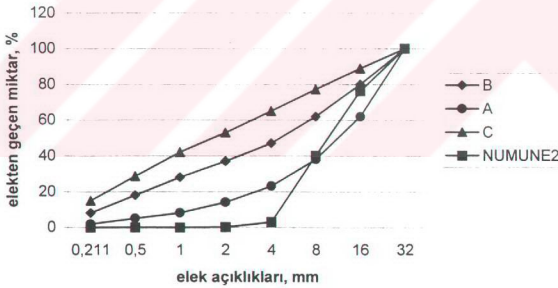
Bu bölüm agregaların fiziksel büyüklüklerine ulaşmak için yapılan elek analizi, su emme, birim hacim ağırlık, yoğunluk, özgül kütle deneylerini ve bunlardan elde edilen sonuçları içermektedir.

5.3.1 Elek Analizi

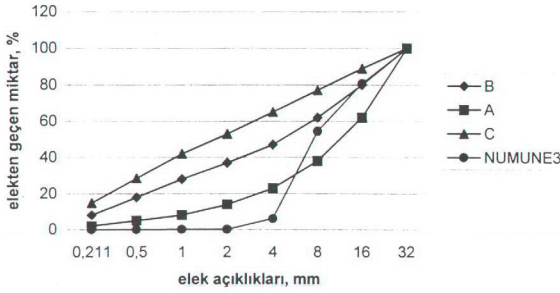
Agregaların granülometri eğrilerinin çizimi ve değerlendirilmesi için 4 agrega yığını üzerinde de, Bölüm 2.2.3'te belirtilen şekilde elek analizi yapılmıştır. Elek analizine ait deney sonuçları Tablo E.1'de, granülometri eğrileri Şekil 5.11, 5.12, 5.13, 5.14'te verilmiştir. Eğrilerdeki ince agregaların oranının düşük olması, elle ayırlamamasından ileri gelmektedir.



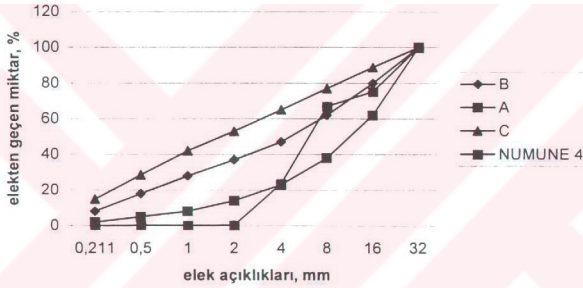
Şekil 5.11 A1 için Granülometri eğrisi



Şekil 5.12 A2 için Granülometri eğrisi



Şekil 5.13 A3 için Granülometri eğrisi



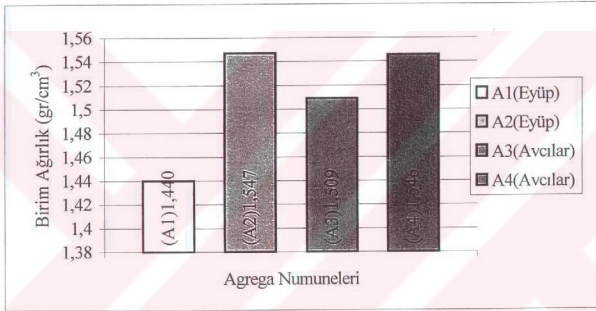
Şekil 5.14 A4 için Granülometri eğrisi

5.3.2 Su Emme, Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk Deneyleri

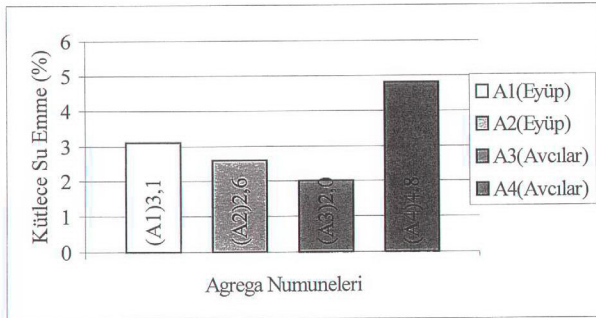
Su emme, birim hacim ağırlık ve yoğunluk deneyleri Bölüm 3.2.1 3.2.3 ve 3.2.4'te belirtilen şekilde yapılmıştır. Tablo 5.2 bu deneylere ait toplu sonuçlar sunulmaktadır. Şekil 5.15, Şekil 5.16, Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de bu değerler karşılaştırılarak ifade edilmiştir. Ayrıca yoğunluk değeri saptanırken hesaplamalarda kullanılan deney sonuçlarından yararlanılarak, beton örneklerinden ayrılan iri agregaların, örnekler içinde hangi oranda hacim kapladıkları belirlenip Şekil 5.19'da ifade edilmiştir.

Tablo 5.2 Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık Deney Tablosu

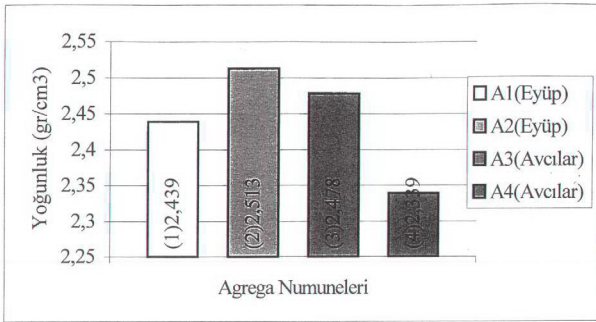
Numune	Etlüv kuru su (gr)	Ortam ağırlığı (gr)	Suya doymun ağırlık (gr)	Su içindeki ağırlık (gr)	Porozite	Birim Ağırlık (gr/cm ³)	Yoğunluk (gr/cm ³)	Su emme	
								Kütlece (%)	Hacimce (%)
A1	288,3	289,4	297,2	179,0	0,082	1,440	2,439	3,1	7,5
A2	476,8	477,1	489,1	299,4	0,068	1,547	2,513	2,6	6,5
A3	325,4	326,1	331,9	200,6	0,052	1,509	2,478	2,0	5,0
A4	209,6	210,2	219,6	130,0	0,124	1,546	2,339	4,8	11,2



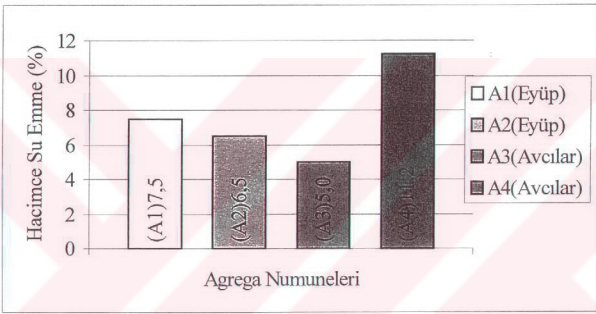
Şekil 5.15 Agregaların Karşılaştırmalı Birim Ağırlık Değerleri



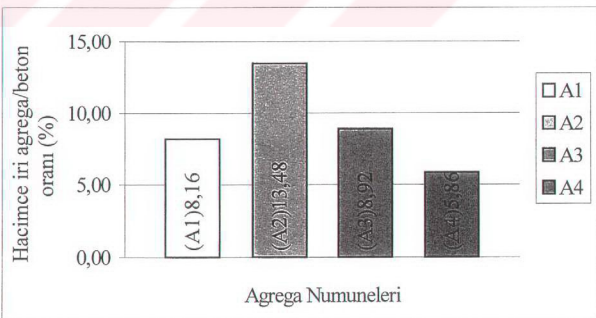
Şekil 5.16 Agregaların Karşılaştırmalı Kütlece Su Emme Oranları



Şekil 5.17 Agregaların Karşılaştırmalı Yoğunluk Değerleri



Şekil 5.18 Agregaların Karşılaştırmalı Hacimce Su Emme Oranları



Şekil 5.19 Hacimce iri agreg / beton oranları

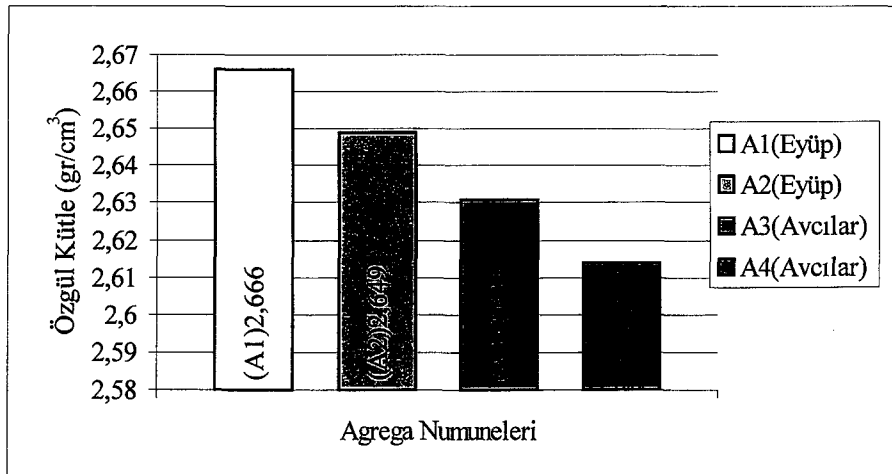
Yapılan karşılaştırmalar sonucu, ■1(Eyüp), ♦2(Eyüp), ▲3(Avcılar) numunelerinden elde edilen agregaların birbirine yakın su emme ve birim ağırlık değerlerine sahip olduğu ancak, 4 (● Avcılar) numaralı beton örneklerinden elde edilen agregaların diğer numunelere oranla oldukça yüksek su emme oranına ve düşük yoğunluğa sahip olduğu görülmektedir.

5.3.3 Özgül Kütle Deneyi

Özgül kütle deneyi, Bölüm 3.2.7’de değinilen şekilde yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo 5.3’te, sonuçların grafik gösterimi Şekil 5.20’de sunulmuştur.

Tablo 5.3 Özgül Kütle Deneyi Tablosu

Numune	Malzeme Ağırlığı	Su dolu kap+ su + kapak Ağ.	Su dolu kap+ malz.+su+kapak Ağ.	Özgül Kütle
	Gm (gr)	Gpm (gr)	Gpms (gr)	D (gr/cm ³)
A1	40	338,2	363,2	2,666
A2	40	337,9	362,8	2,649
A3	40	338,1	362,9	2,631
A4	40	338,0	362,7	2,614



Şekil 5.20 Agregaların Karşılaştırmalı Özgül Kütle Değerleri

5.4 Harç Üzerinde Yapılan Deneyler

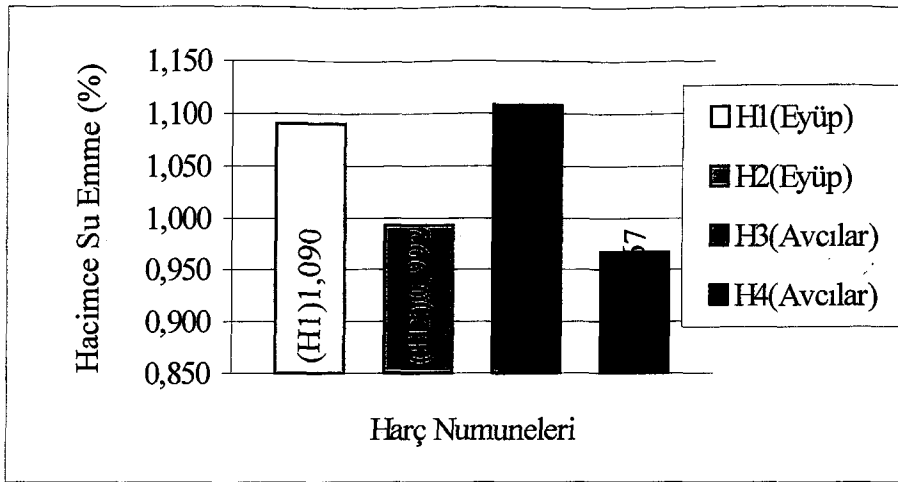
Bu bölüm beton örneklerinden iri agregataneleri ayrıldıktan sonra geriye kalan ince agregat ve harç karışımının fiziksel büyüklüklerine ulaşmak için gerçekleştirilen su emme, birim hacim ağırlık, yoğunluk, özgül kütle deneylerini ve bunlardan elde edilen sonuçları içermektedir. Agregalardan farklı olarak harçlarda asit kaybı deneyi gerçekleştirilmiş ve asitten geçirildikten sonra geriye kalan ince agregatanelerinin elek analizi yapılmıştır.

5.4.1 Su Emme ve Birim Hacim Ağırlık ve Yoğunluk Deneyleri

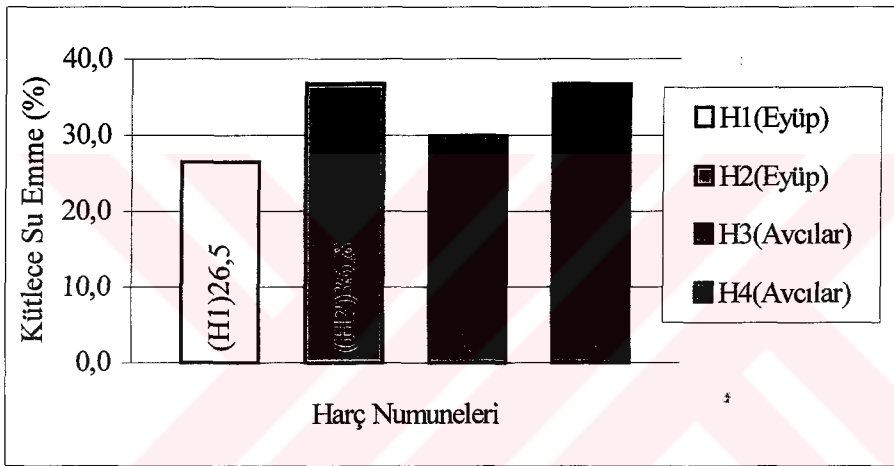
Su emme, birim hacim ağırlık ve yoğunluk deneyleri Bölüm 3.2.1 3.2.3 ve 3.2.4'te belirtilen şekilde uygulanmıştır. Şekil 5.21, Şekil 5.22, Şekil 5.23 ve Şekil 5.24'te sırasıyla birim hacim ağırlık, su emme, ve yoğunluk değerleri ifade edilmiştir.

Tablo 5.4 Harçların Su Emme, Birim Hacim Ağırlık, Yoğunluk Deneyleri Sonuçları

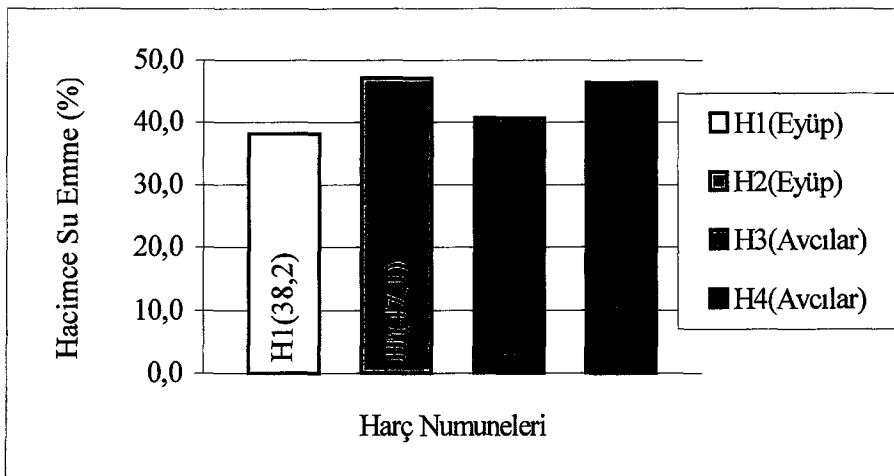
HARÇLAR		Ortam Ağ. (gr)	Suya doygun Ağ. (gr)	Su içi Ağ. (gr)	Yoğunluk (gr/cm ³)	SU EMME	
Numune	Etüv Kuruğu (gr)					Kütlece %	Hacimce %
1/2	491,1	495,0	651,7	338,0	1,566	28,0	47,3
1/3	582,2	585,5	712,3	276,0	1,334	22,3	29,8
1/4	578,9	583,8	748,4	297,4	1,284	29,3	37,6
1					1,395	26,5	38,2
2/2	412,2	419,3	558,0	246,4	1,323	35,4	46,8
2/3	416,0	424,7	571,5	234,5	1,234	37,4	46,1
2/4	403,0	409,2	554,2	242,5	1,293	37,5	48,5
2					1,283	36,8	47,1
3/2	589,5	601,9	765,1	331,6	1,360	29,8	40,5
3/3	545,1	554,6	712,8	310,1	1,354	30,8	41,6
3/4	489,1	494,1	631,9	273,4	1,364	29,2	39,8
3					1,359	29,9	40,7
4/2	520,6	532,3	701,8	300	1,296	34,8	45,1
4/3	514,1	526,8	695,1	296,4	1,289	35,2	45,4
4/4	489,3	499,2	685,9	280,4	1,207	40,2	48,5
4					1,264	36,7	46,3



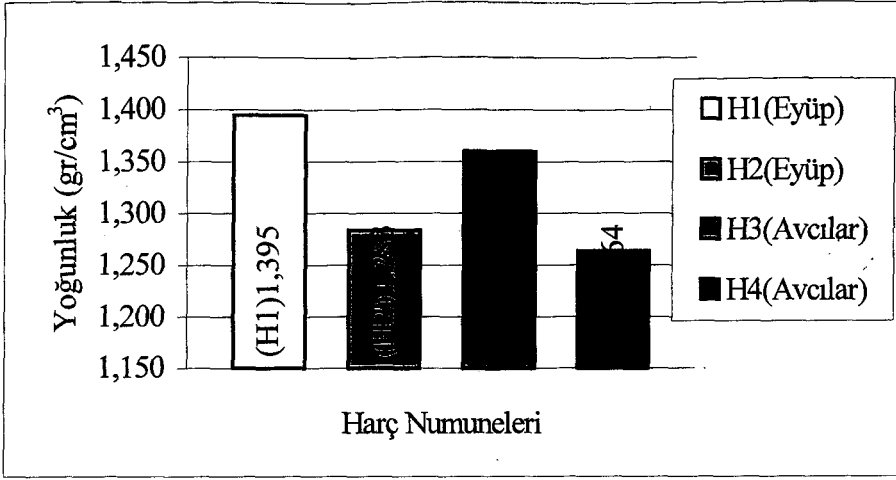
Şekil 5.21 Harçların Karşılaştırmalı Birim Ağırlık Değerleri (gr/cm³)



Şekil 5.22 Harçların Karşılaştırmalı Kütlece Su Emme Değerleri



Şekil 5.23 Harçların Karşılaştırmalı Hacimce Su Emme Değerleri (%)



Şekil 5.24 Harçların Karşılaştırmalı Hacimce Su Emme Değerleri

5.4.2 Özgül Kütle Deneyi

Bu deney Bölüm 3.2.8’de değinildiği şekilde yapılmıştır. Deneyde elde edilen sonuçlar Tablo 5.5’te yer almaktadır. Şekil 5.25’te bu değerlerin birbirleriyle karşılaştırılması görülmektedir.

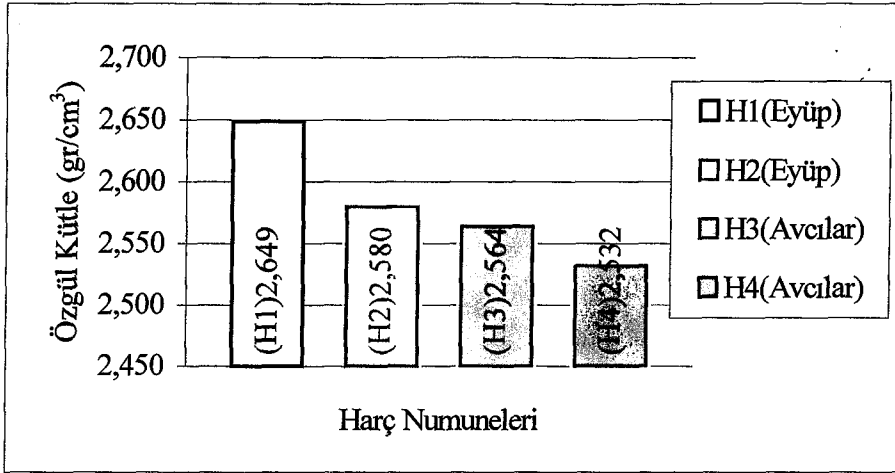
Tablo 5.5 Özgül Kütle Deneyi Sonuçları

Numune	Malzeme	Su dolu kap+	Su dolu kap+	Özgül Kütle
	Ağırlığı	su + kapak Ağ.	malz.+su+kapak Ağ.	
	Gm (gr)	Gpm (gr)	Gpms (gr)	D (gr/cm³)
H1	40	338,2	363,1	2,649
H2	40	337,9	362,4	2,580
H3	40	338,2	362,6	2,564
H4	40	338,1	361,1	2,532

5.4.3 Asit Kaybı Deneyi

Asit kaybı deneyinde % 10’luk HCl (hidroklorik asit) çözeltisi kullanılmıştır. Malzemelerin üzerine adı geçen çözelti boşaltılmış ve düzenek (Şekil 5.26) hemen tepkimeye başlamıştır. Malzeme asit ile yaptığı tepkime bitene kadar asit etkisine maruz bırakılmıştır. Tepkimenin devam edip etmediği, çözeltiye asit çözeltisi ilave edilerek tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu eklemelerde , yine bir tepkime başlıyorsa, daha da asit eklenip tepkimenin sona ermesi beklenmiştir, yeni bir tepkime

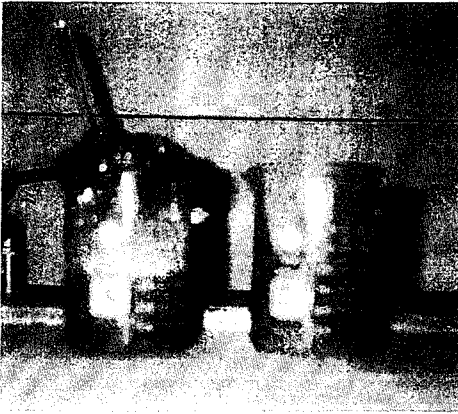
oluşmuyorsa deneye son verilmiştir (Şekil 5.27). Bu deney sonucu ölçülen ağırlıklar ve ne kadar harcın tepkimeler sonucu kaybolduğu Tablo 5.6 ve Şekil 5.28’de görülmektedir.



Şekil 5.25 Harçların Karşılaştırmalı Özgül Kütle Değerleri



Şekil 5.26 Asit Kaybı Deney Düzenneği

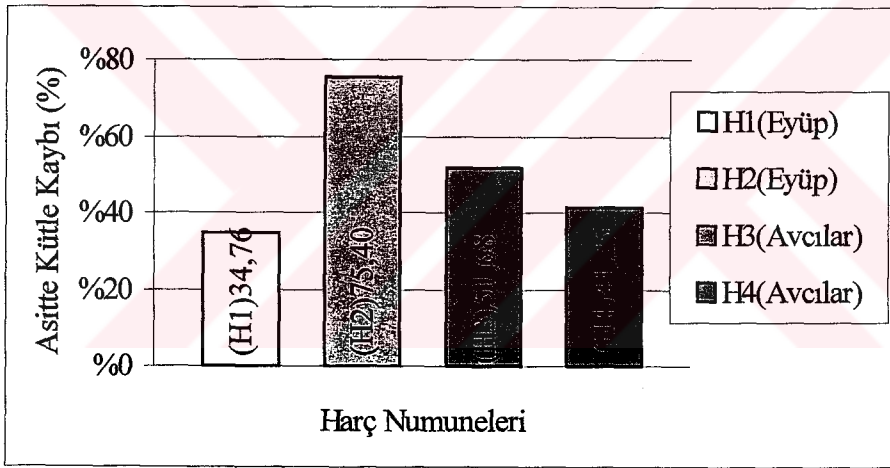


Şekil 5.27 Asit kaybı Deney Düzenneği(reaksiyonun devam etmesi)

Tepkime sürecinde, diğer bütün numuneler açık sarıya yakın bir çözelti oluştururken, 2 numaralı numune çok koyu, siyaha yakın bir çözelti oluşturmuş (Şekil 5.26) ve daha önce yapılan bütün deneylerde olduğu gibi numuneler arasında en kötü performansı sergileyerek %75,40 kütle kaybına uğramıştır.

Tablo 5.6 Asit Kaybı Deneyi Tablosu

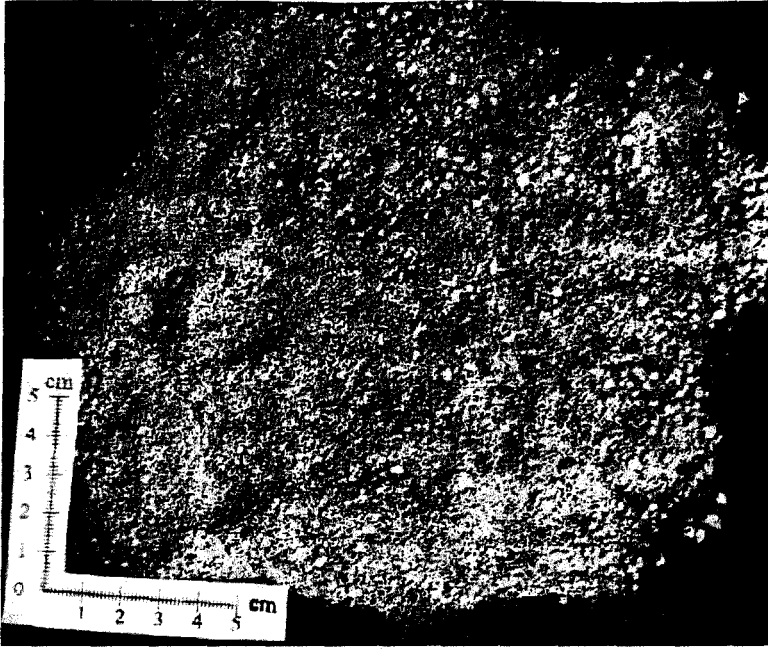
Numune	Malzeme Ağ.			
	Tepkimeden önce	Tepkimeden sonra	Kayıp	
	gr	gr	gr	%
H1	152,2	99,3	52,9	34,76
H2	169,5	41,7	127,8	75,40
H3	160,4	77,5	82,9	51,68
H4	165,1	97	68,1	41,25



Şekil 5.28 Harçların Karşılaştırmalı Asit Kaybı Değerleri

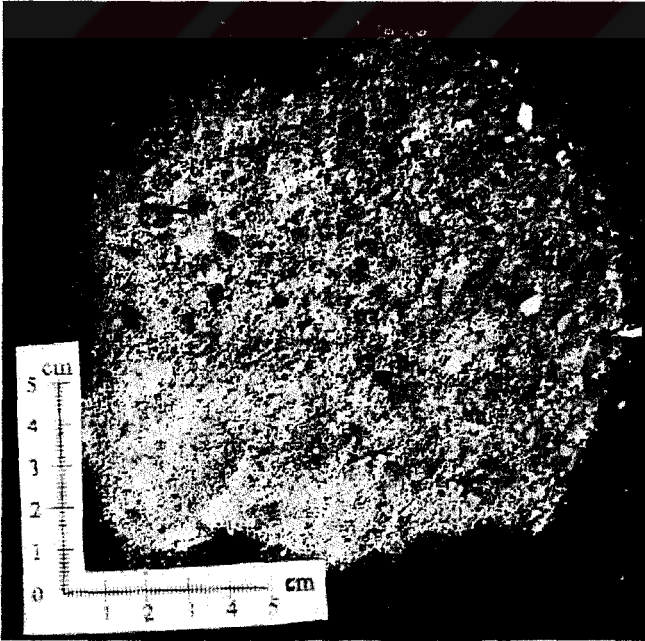
Asit kaybı deneyi uygulandıktan sonra elde edilen ince agregalar, jeolojik ve mineralojik özellikleri bakımından değerlendirilmiş ve şu sonuçlara varılmıştır.

- Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı beton örneklerinden, uygulanan kırma işlemi ve asit kaybı deneyi sonucunda elde edilen ince agregalar polijenik yani çok kökenlidir. Bu yığın %50'ye yakın miktarda 1 no'lu mıcır içerirken, %30 feldspat, %20 kuvarz ve opal, çok az miktarda da bazalt ve serpantin gibi ultrabazik kayaç parçaları içermektedir [19]. (Şekil 5.29)



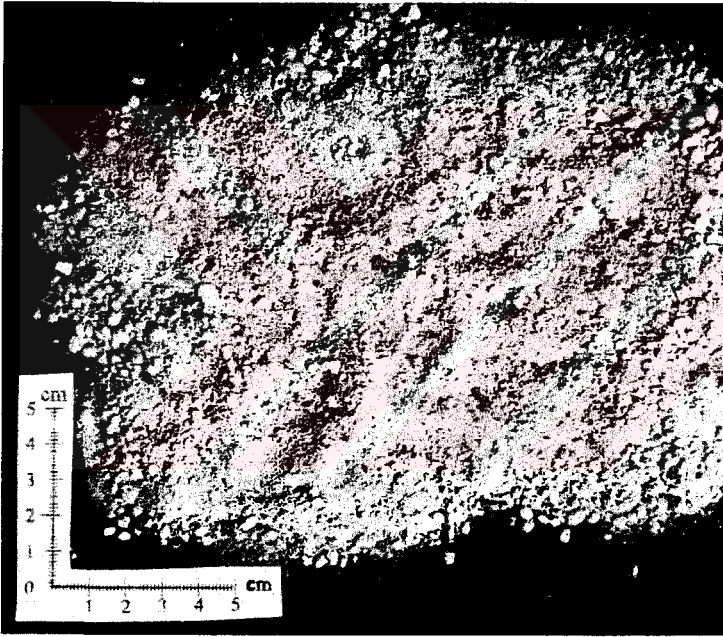
Şekil 5.29 ■1(Eyüp) numaralı beton örneklerinden elde edilen ince agregalar

- Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı beton örneklerinden, uygulanan kırma işlemi ve asit kaybı deneyi sonucunda elde edilen ince agregalar denizel kökenlidir. İnce agregalar %80-85 oranında feldspat, %10 oranında bazalt içermektedir. Geri kalan taneler ise kuvarz kumudur. İnce agregaya yığını genel olarak çok ince tanelerden oluşmaktadır [19]. (Şekil 5.30)



Şekil 5.30 ♦2(Eyüp) numaralı beton örneklerinden elde edilen ince agregalar

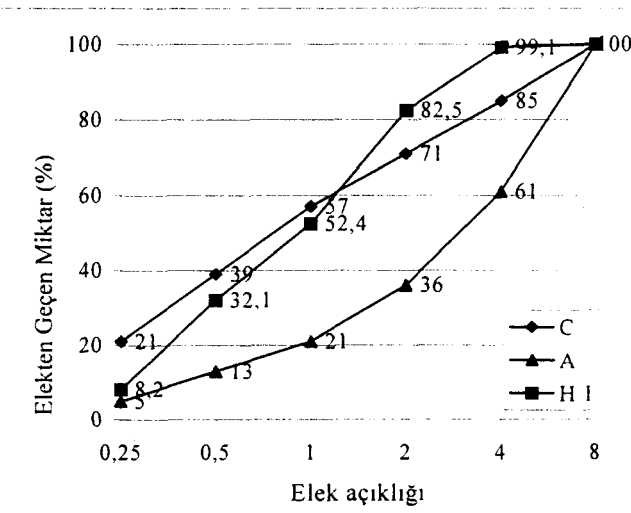
- Avcılar bölgesinden temin edilen ▲3 numaralı beton örneklerinden, uygulanan kırma işlemi ve asit kaybı deneyi sonucunda elde edilen ince agregalar denizel kökenlidir. İnce agregalar %70 oranında feldspat, %30 oranında kuvarz ve opal tanecikleri içermektedir [19].
- Avcılar bölgesinden temin edilen ●4 numaralı beton örneklerinden, uygulanan kırma işlemi ve asit kaybı deneyi sonucunda elde edilen ince agregalar, %80 oranında killeşmiş, yüksek boyutta volkanik kayaç kırıntıları ve çok ince boyutlu feldspat tanelerinden oluşmaktadır. Volkanik kayaç kırıntılarının su emmeleri çok yüksek olup, betonda kullanılamayacak kadar kötü niteliktedir. İnce agrega yığınının %10'u silikat bileşimli kuvarz ve opal taneleri, geri kalanı ise ultrabazik kayaç parçalarından oluşmaktadır [19]. (Şekil 5.31)



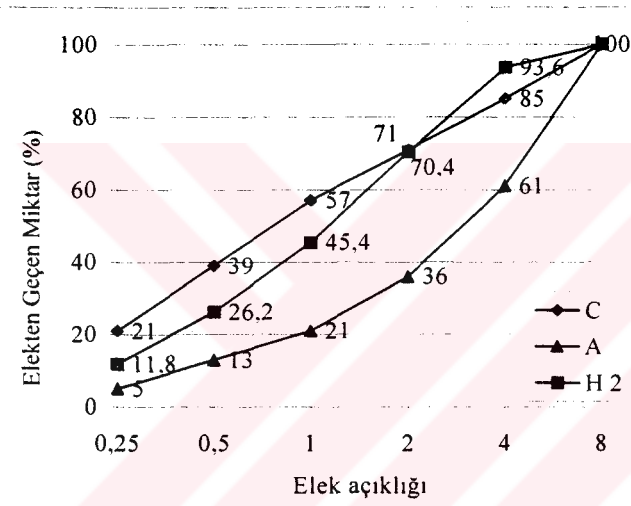
Şekil 5.31 ●4(Avcılar) numaralı beton örneklerinden elde edilen ince agregalar

5.4.4 Elek Analizi

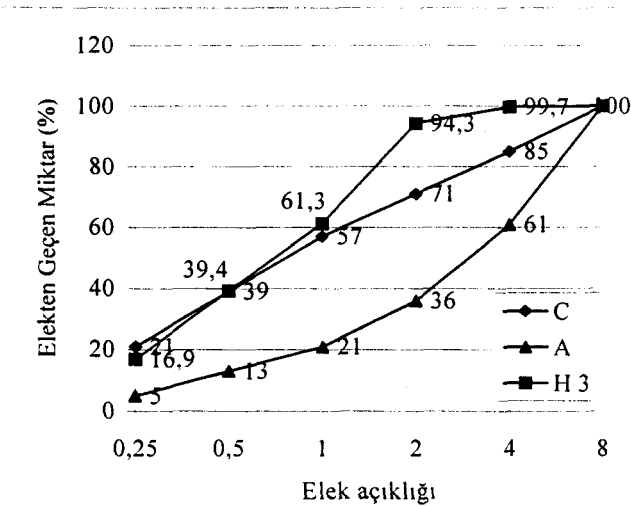
Asit kaybı deneyinden sonra, harçlardan kimyasal yolla ayrılan ince agrega taneleri üzerinde elek analizi yapılmıştır. Deney sonuçları Tablo E.2'de, granülometri eğrileri Şekil 5.32, 5.33, 5.34 ve Şekil 5.35'de görülmektedir.



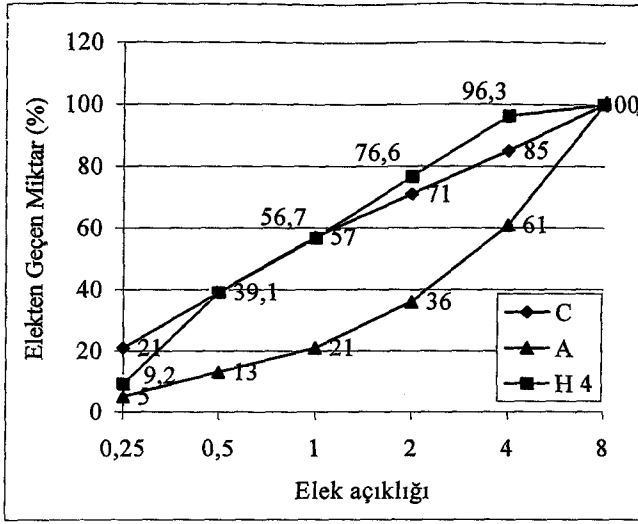
Şekil 5.32 H1 için Granülometri Eğrisi



Şekil 5.33 H2 için Granülometri Eğrisi



Şekil 5.34 H3 için Granülometri Eğrisi

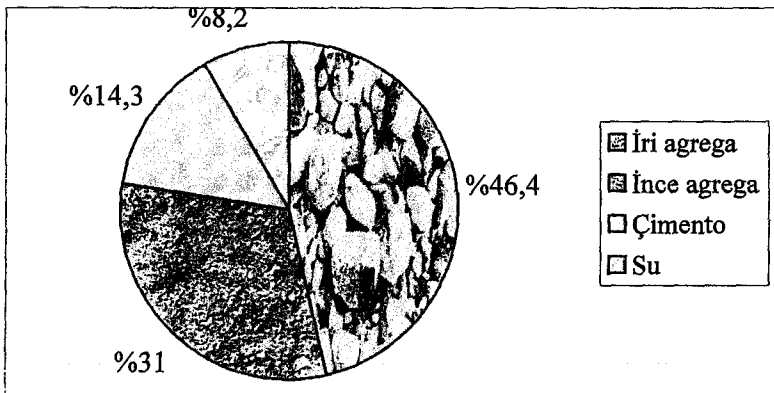


Şekil 5.35 H4 için Granülometri Eğrisi

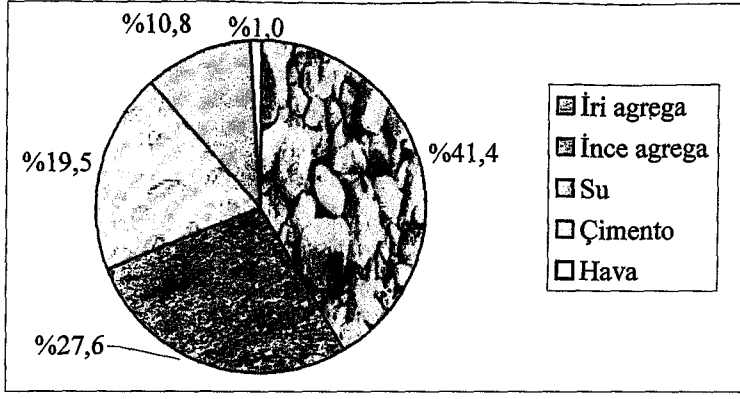
5.5 Bölüm Sonuçları

Avcılar Eyüp bölgesinden, depremde hasar görmüş binalardan temin edilen beton örneklerinin fiziksel ve mekanik büyüklükleri ortaya konduktan sonra, beton örneklerini oluşturan iri agregalar betonlar içinden ayrılmış ve bu agregaların fiziksel büyüklükleri ortaya konmuş, sahip oldukları fiziksel büyüklükler beton literatüründe belirtilen değerler ile karşılaştırılmıştır.

Öncelikle agregaların beton içerisinde kapladıkları ağırlık ve hacim payları incelenirse, Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen betonlarda iri agregaların kapladığı ağırlıkça payların %7,2 ile % 15,8 arasında, hacimce payların ise %5,86 ile %13,48 arasında değişmektedir. Beton literatüründe belirtilen [13], malzemelerin kapladıkları ağırlıkça ve hacimce paylar Şekil 5.36 ve Şekil 5.37’de görülmektedir.



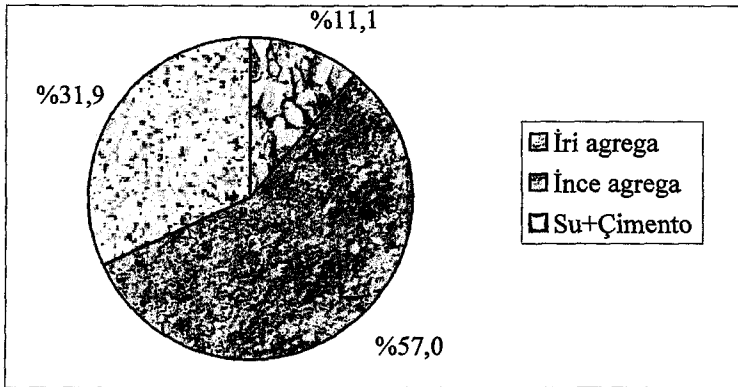
Şekil 5.36 Tipik bir beton karışımında kullanılan malzeme bileşenlerinin ağırlıkça payları



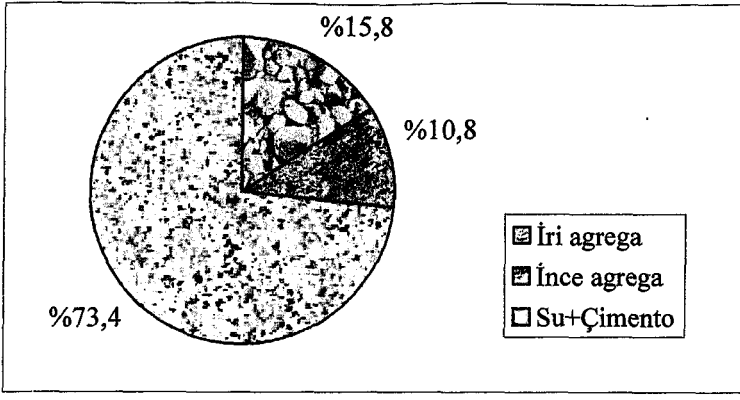
Şekil 5.37 Tipik bir beton karışımında kullanılan malzeme bileşenlerinin hacimce payları

Üzerinde deney uygulanan beton örneklerinde iri agregası oranının tipik bir betondaki orandan çok düşük olması, başta betonun birim ağırlığını olumsuz yönde etkilemektedir. Çünkü iri agregasının kaplaması gereken hacimler çimento, su ve ince agregası ile kaplanmıştır. Bu durumun betonun fiziksel ve mekanik bütün özelliklerini olumsuz yönde etkilemesi beklenir. Beklendiği gibi bütün betonların betonarme bir yapıda kullanılmayacak olması daha önceki bölümlerde yapılan deneyler sonucu ortaya konmuştur.

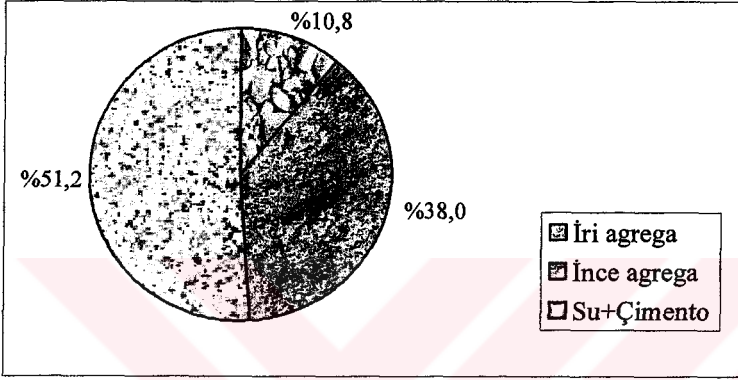
Beton örnekleri içindeki ince agregaların kütlece oranını hesaplamak için de, harçlar üzerinde uygulanan asit kaybı deneyinden faydalanılmıştır. Asit kaybı deneyinde kayıp kısım çimento hamuru olarak adlandırılıp, kayıp oranı yardımıyla ince agregaların beton içindeki kütlece oranına ulaşılmıştır. Bu değerlerin elde edilmesiyle, temin edilen beton örneklerinin kütlece malzeme oranlarına ulaşılmıştır. (Şekil 5.38, Şekil 5.39, Şekil 5.40, Şekil 5.41)



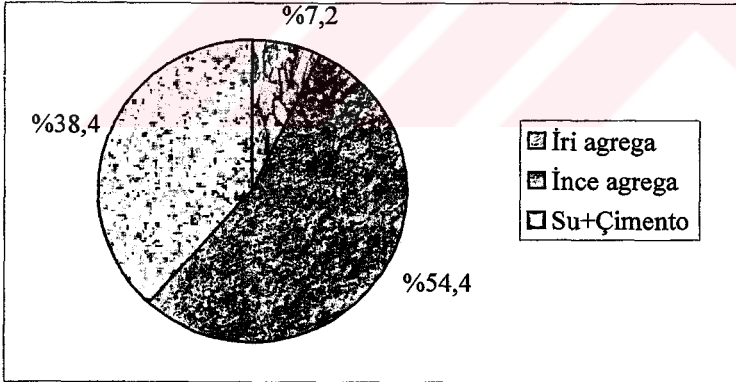
Şekil 5.38 ■1 (Eyüp) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları



Şekil 5.39 ♦2 (Eyüp) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları



Şekil 5.40 ▲3 (Avcılar) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları



Şekil 5.41 ●4 (Avcılar) numaralı beton örneklerinin malzeme oranları

Şekil 5.29, 5.30, 5.31 ve Şekil 5.32'deki değerler Şekil 5.27'deki değerlerle karşılaştırıldığında, Avcılar bölgesinden temin ●4 numaralı ve Eyüp bölgesinden temin edilen ■1 numaralı beton örneklerinin oldukça yüksek miktarda ince agregat içerdiği görülmektedir. Bu durum betonun birim ağırlık değerini azaltmakta ve bundan dolayı mekanik dayanımları olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte, Eyüp Bölgesinden temin edilen, fiziksel ve mekanik performansı bütün örnekler arasında

en kötü olan ♦2 numaralı örnek, bünyesinde iri agregalar gibi ince agregaları da yok denecek kadar az miktarda barındırmaktadır. Bu durum beton hacminin çoğunluğunun çimento hamuru ile kaplandığını göstermekte ve yüksek rötre sonucu betonda çatlaklar oluşabileceği ve bunun mekanik performansları düşürebileceğini akla getirmektedir.

Agrega granülometrisi, betonun karma suyu miktarı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Karma suyunun artmasıyla, betonun mukavemetinin azaldığı da bilindiğine göre, agregaların granülometrik bileşimleri beton mukavemetini dolaylı olarak etkilerler.

Beton mukavemetinin aynı zamanda, betonun kompozitesi ile etkilendiği de açıktır. Bu durum önceki bölümde yapılan deneyler ve değerlendirmeler sonucu ortaya konulmuştur. Agregaların granülometrik bileşimleri betonun kompozitesini etkileyen önemli etkenlerin başında gelmektedir. Granülometrik bileşimi uygun olmayan agregalar yığınları, taneler arasında kalacak boşluklar yüzünden, kompozitesi düşük, porozitesi yüksek betonların oluşmasında önemli rol oynarlar.

Agregaların granülometrik bileşimleri aynı zamanda betonun işlenebilirliğini de etkilemektedirler. İşlenebilirlik özelliğinden yoksun betonlar, kalıba iyi şekilde yerleştirilemez. Bundan dolayı malzeme içinde meydana gelecek boşluklar, betonun istenen mekanik dayanımlara ulaşmasına engel olur [9].

Nitekim, Eyüp bölgesinden temin edilen ■ 1 numaralı numunenin, göreceli olarak iyi granülometrik bileşime sahip olması, üzerinde deneyler uygulanan dört numune arasında en yüksek mekanik dayanımlara sahip olmasını sağlamıştır.

İnce agregaların granülometri eğrileri incelendiğinde ise genelde bütün örneklerin 4mm boyutuna yakın ince agregaları yüksek miktarda içerdiği görülmektedir (Şekil 5.32, 5.33, 5.34, 5.35). Bu durum iri agregaların aralarında boşlukların oluşabileceğini ve beton kompozitesinin düşük değerlere sahip olabileceğini akla getirmektedir. Nitekim yapılan deneyler bu durumu ortaya koymuştur.

Beton literatüründe normal mukavemetli bir betonda kullanılacak beton agregalarının porozite değerinin %10'u aşmaması gerektiği belirtilmiştir [9]. Ancak uygulanan deneyler sonucu elde edilen değerlere göre, diğer 3 numune bu sınırın altında kalırken, Avcılar bölgesinden elde edilen ●4 numaralı örnekten elde edilen

agregaların, %10,5'lik porozite ile beton yapımında kullanılamayacağı anlaşılmıştır. Bu agregalarla istenen mekanik dayanımlara sahip bir beton üretilmeyeceği açıktır. Gerçekleştirilen deneyler de bu durumu doğrulamıştır.

Beton literatüründe agregaların birim ağırlık değerlerinin 1,50 gr/cm³ ile 1,85 gr/cm³ arasında, özgül ağırlık değerlerinin 2,2 gr/cm³ ile 2,7 gr/cm³ arasında, su emme oranının ise (iri agregalar için) %10 dolaylarında olması gerektiği belirtilmiştir[9]. Agregalar üzerinde uygulanan deneyler sonucu elde edilen değerler bu aralıklar içerisinde kalmıştır.

Beton örneklerini oluşturan iri ve ince agregalar, jeolojik olarak incelendiğinde, Avcılar ve Eyüp bölgesinden deprem sonucu hasar gören binalardan temin edilen beton örneklerinin hepsinde denizel kökenli ince ve iri agregalar kullanıldığı anlaşılmıştır. Sadece Eyüp bölgesinden elde edilen ♦2(Eyüp) numaralı beton örneklerinde, denizel kökenli agregalarla birlikte karasal kökenli bazalt taneleri de kullanılmıştır. Yüzey pürüzlülüğü iyi olan karasal kökenli taneler ile çimento hamuru arasındaki aderansın da çok kuvvetli olduğu görülmüştür. Genel olarak jeolojik açıdan, beton örneklerinden ayrılan iri agregaların beton üretiminde kullanılmasında bir sakınca olmadığı belirlenmiştir [19]. Elde edilen beton örneklerini oluşturan ince agregalar incelendiğinde ise, kullanılmış olan bütün ince agregalar denizel kökenli olduğu tespit edilmiştir. Avcılar bölgesinden temin edilen ●4(Avcılar) numaralı beton örneklerinde kullanılan ince agregaların %85'ini, beton üretiminde kullanılamayacak kadar kötü nitelikte, killeşmiş volkanik kayaç kırıntılarının oluşturması ●4(Avcılar) numaralı örneğin bütün örnekler arasında en yüksek kütlece ve hacimce su emme oranlarına sahip olmasını sağlamıştır. Bu durum, ●4(Avcılar) numaralı beton örneklerinin mekanik dayanımlarını da olumsuz yönde etkilemiştir. Diğer beton örneklerinde kullanılan ince agregaların ise jeolojik açıdan beton için bir sakınca oluşturmadıkları tespit edilmiştir.

Sonuç olarak, üzerinde deneyler uygulanan beton numunelerini oluşturan iri agregalar, birim ağırlık, özgül ağırlık ve porozite gibi fiziksel büyüklükleri açısından, beton literatüründe belirtilen standartları yaklaşık olarak yakalamışlardır. Jeolojik açıdan ise, sadece Avcılar bölgesinden temin edilen ●4(Avcılar) numaralı örneğin ince agregaları hariç, diğer agregaların beton üretiminde kullanılması sakıncalı değildir. Eyüp bölgesinden temin edilen ■1(Eyüp) ve ♦2(Eyüp) numaralı ve Avcılar

bölgesinden temin edilen ▲3(Avcılar) numaralı beton örneklerin fiziksel ve mekanik performanslarının kötü olması, içerdikleri agregaların jeolojik özellikleriyle ilgili değildir. Ancak iri agregaların beton içerisinde kapladıkları ağırlık ve hacim paylarının inanılmaz bir şekilde düşük olması, uygun granülometrik bileşimlere sahip olmamaları, beton örneklerinin kendilerinden beklenen hiçbir performansı sergileyememelerini sağlamıştır. Avcılar ve Eyüp bölgesinden temin edilen betonlarda normal bir betonda kullanılması gereken agrega miktarının, neredeyse ¼'ünün bile kullanılmamış olması oldukça düşündürücüdür.

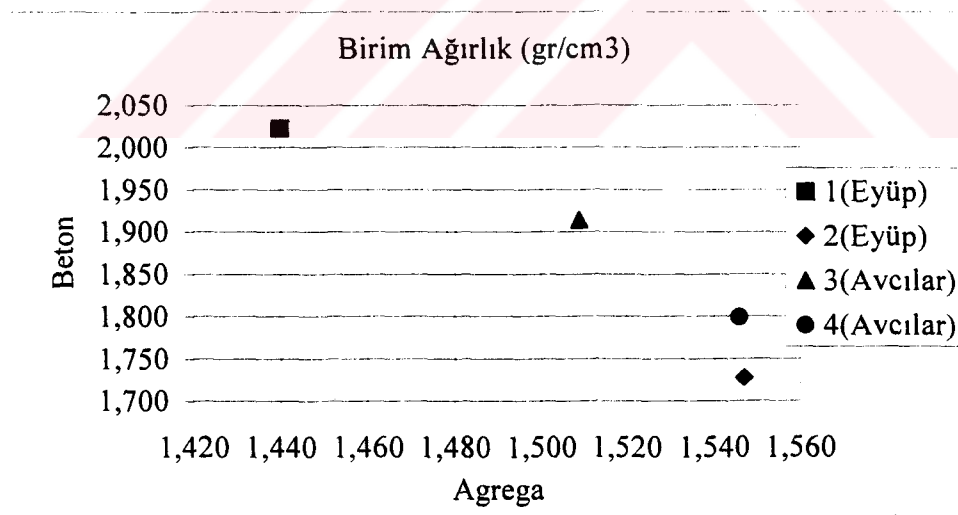


6. BİLEŞENLER ÜZERİNDE YAPILAN DENEYSEL ÇALIŞMALARIN İRDELEMESİ

Bu bölüm, Avcılar ve Eyüp bölgelerinde deprem sonucu hasar gören binalardan temin edilen, üzerinde fiziksel ve mekanik deneyler uygulanan beton numunelerinden ayrılan harç ve iri agregaların deneyler sonucu elde edilen fiziksel büyüklükleri doğrultusunda agrega ve harç örnekleri arasında bir karşılaştırmayı içermektedir. Yine bu deneyler ışığında fiziksel özelliklerin, bileşen-bütün ilişkisi ortaya konmuştur.

6.1 Birim Hacim Ağırlık Deneyleri

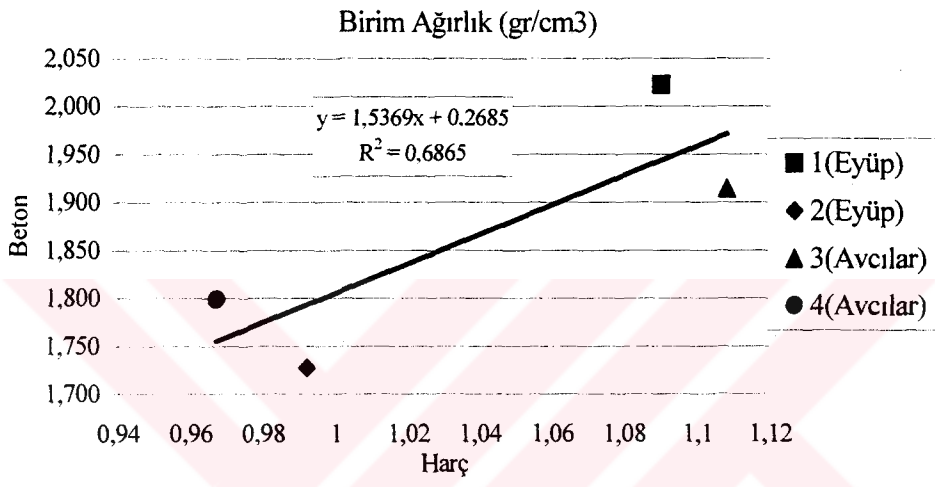
Hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, agregaların ve harçların birim ağırlık değerleri belirlenmiş ve birbirleriyle ilişkileri araştırılmıştır. Şekil 6.1 ve Şekil 6.2 bu ilişkileri ifade eden grafikleri içermektedir.



Şekil 6.1 Agreg a ve Beton Birim Ağırlıklarının İlişkisi

Beton ve agrega birim ağırlıkları karşılaştırıldığında (Şekil 6.1), agrega birim ağırlığı arttıkça beton birim ağırlığının azaldığı görülmektedir. Ancak agrega birim ağırlık değerlerinin Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 1,440 gr/cm³ ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 1,546 gr/cm³ gibi çok dar bir aralıkta, beton birim ağırlığının

ise Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 1,799 gr/cm³ ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 2,023 gr/cm³ arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Bu nedenle, elde edilen grafik, beton literatüründe söz edilen agrega ve betonun birim hacim ağırlıkları arasındaki doğru orantıdan uzak görünmektedir. Bu durumun başka bir nedeni olarak, agregaların granülometrik bileşimlerinin iyi olmaması da sayılabilir. Bu ilişkiyi daha sağlıklı bir biçimde ifade etmek için boşluk hacimlerini dikkate almadan, malzemenin sadece dolu hacmine göre hesaplanan yoğunluk değerleriyle de agrega ve beton arasındaki karşılaştırma tekrar edilmiştir.

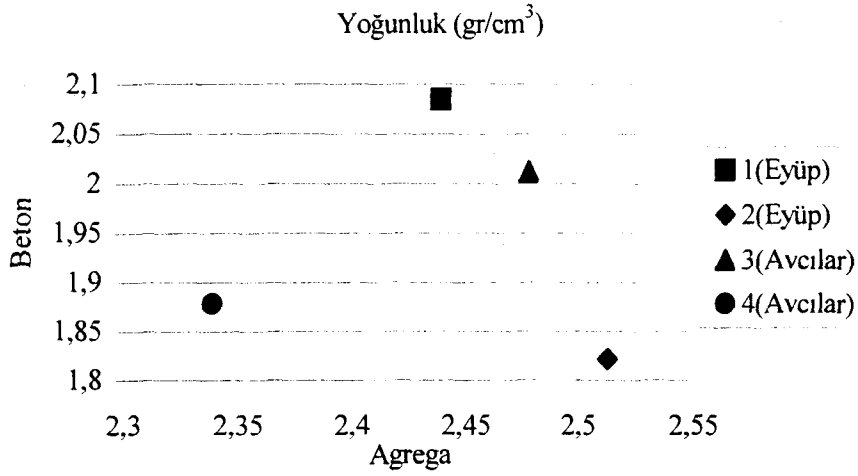


Şekil 6.2 Harç ve Beton Birim Ağırlıklarının İlişkisi

Beton ve harç birim ağırlıkları karşılaştırıldığında ise (Şekil 6.2), harç birim ağırlığı arttıkça beton birim ağırlığında da artma eğilimi görülmektedir. Bu durum beton literatüründe de beklenen bir eğilimdir. Harç birim ağırlık değerlerinin Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 0,967 gr/cm³ ile Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için 1,108 gr/cm³ aralığında, beton birim ağırlığının ise Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 1,799 gr/cm³ (2 ♦) ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 2,023 gr/cm³ arasında değişim gösterdiği izlenmektedir.

6.2 Yoğunluk Deneyleri

Uygulanan deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, agregaların ve harçların yoğunluk değerleri belirlenmiş ve bu bölümde birbirleriyle ilişkileri araştırılmıştır. Şekil 6.3 bu ilişkiyi ifade eden grafiği içermektedir.

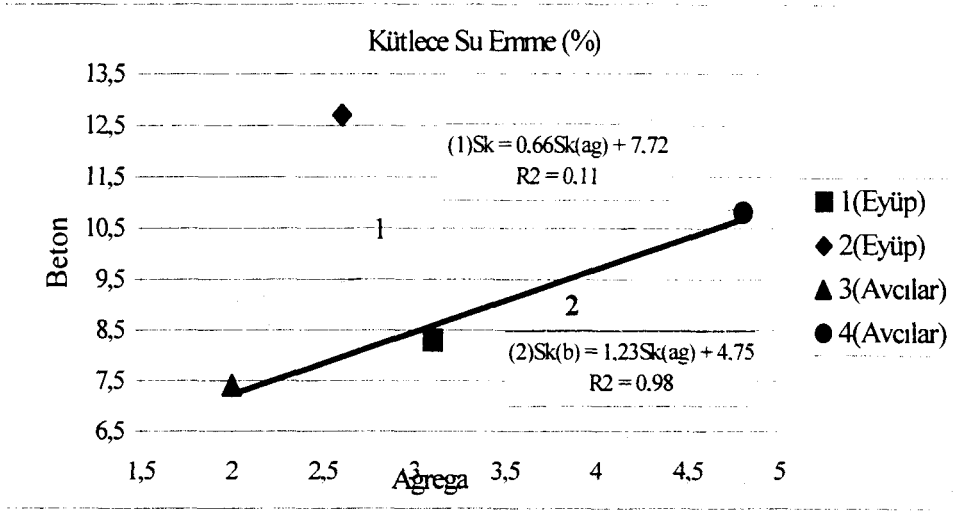


Şekil 6.3 Agregat - Beton Yoğunlukları Grafiği

Beton ve agregat yoğunlukları karşılaştırıldığında (Şekil 6.3), genel olarak agregat birim ağırlığı arttıkça beton birim ağırlığında da artma eğilimi görülmektedir. Ancak, Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı beton örnekleri daha önce yapılan bütün fiziksel ve mekanik deneylerde en kötü performansı sergilemesine karşın, bu betondan elde edilen agregaların 2,513 gr/cm³ ile diğer agregalar arasında en yüksek yoğunluk değerine sahip oldukları görülmüştür. Bu durum betonlarda gereken bağlayıcı harç fazını oluşturan, çimento ve ince agreganın gereken miktarlarda olmaması ve beton üretiminde özellikle yerleştirilmede hiç özen gösterilmemesi ve boşluk oranının yüksek olması ile açıklanabilir. Şekil 6.3 incelendiğinde agregat yoğunluk değerlerinin Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 2,339 gr/cm³ ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 2,513 gr/cm³ aralığında, beton yoğunluğunun ise Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 1,822 gr/cm³ ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 2,085 gr/cm³ arasında değişim gösterdiği izlenmektedir.

6.3 Su Emme Oranı Deneyleri

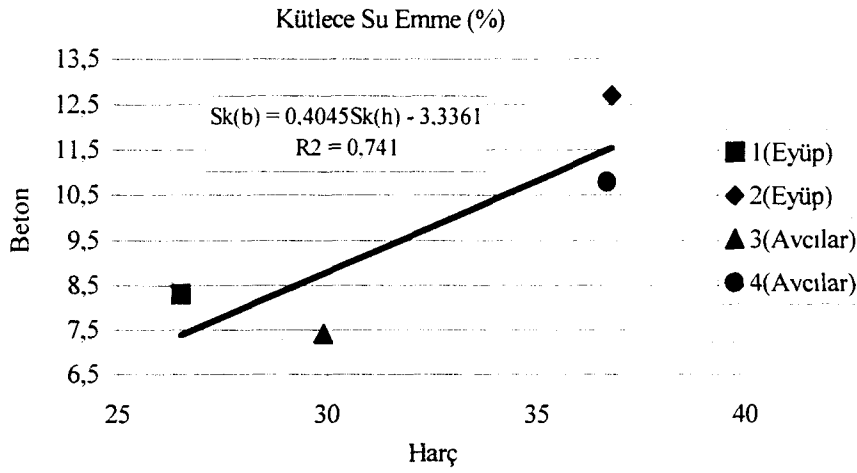
Hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, agregaların ve harçların kütleye ve hacimce su emme oranları belirlenmiş ve bu bölümde birbirleriyle ilişkileri araştırılmıştır. Şekil 6.4 ve Şekil 6.5, kütleye su emme, Şekil 6.6 ve Şekil 6.7 hacimce su emme ilişkilerini ifade eden grafikleri içermektedir.



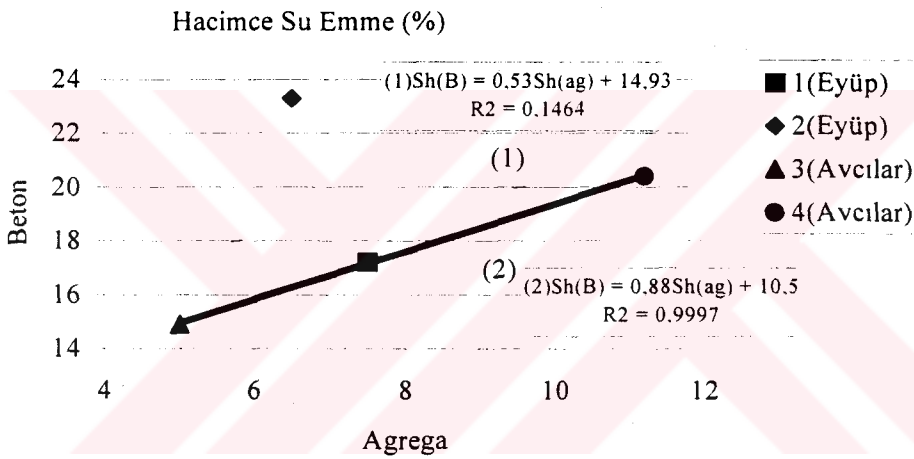
Şekil 6.4 Küttelece Su Emme (Agrega – Beton) Grafiği

Şekil 6.4 incelendiğinde, agrega su emme oranlarının Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için %2 ile Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için %4,8 aralığında, beton su emme oranlarının ise Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için %4 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %12,7 arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Beton ve agregaların küttelece su emme oranları karşılaştırıldığında, genel olarak agregaların küttelece su emme oranının arttıkça beton su emme oranında da artma eğilimi görülmektedir. Ancak, daha önce değinilen nedenler dolayısıyla Eyüp'ün ♦2 numaralı beton örnekleri ile, bu betondan elde edilen agregaların performansları arasında bir paralellik bulunmamaktadır. Bu nedenle Şekil 6.4'te iki adet doğrusal regresyon görülmekte, 1 numaralı doğru bütün örnekleri, 2 numaralı doğru ise ♦2(Eyüp) numaralı numuneyi dikkate almadan sadece ■1(Eyüp), ▲3(Avcılar) ve ●4(Avcılar) numaralı numunelerin deney sonuçları dikkate alınarak çizilmiştir. Bu şekilde 2 numaralı doğrusal regresyonda %98'lik bir korelasyon katsayısına ulaşılmıştır.

Şekil 6.5 incelendiğinde, harç su emme oranlarının Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %26,5 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %36,8 aralığında, beton su emme oranının ise Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için %7,4 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %12,7 arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Beton ve harçların küttelece su emme oranları karşılaştırıldığında, beklendiği gibi, harçların küttelece su emme oranının arttıkça beton su emme oranında da artma eğilimi görülmektedir. Bu eğilim Şekil 6.5'te doğrusal regresyonla ifade edilmiştir.



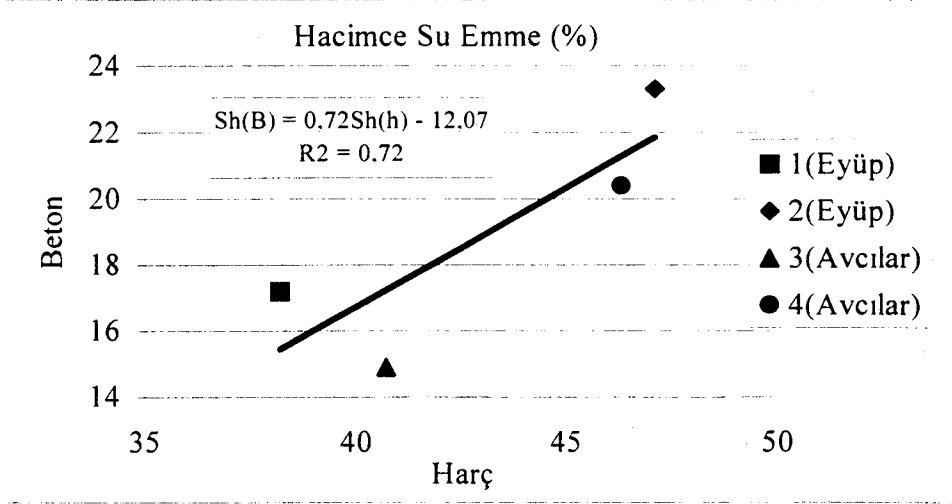
Şekil 6.5 Küttelece Su Emme (Harç – Beton) Grafiği



Şekil 6.6 Hacimce Su Emme (Agrega – Beton) Grafiği

Şekil 6.6 incelendiğinde, hacimce agregas su emme oranlarının Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için %5 ile Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için %11,2 aralığında, beton su emme oranının ise Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için %14,9 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %23,3 arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Beton ve agregaların hacimce su emme oranları karşılaştırıldığında, genel olarak agregaların hacimce su emme oranının arttıkça beton su emme oranında da artma eğilimi görülmektedir. Ancak, daha önce değinilen nedenler dolayısıyla ♦2(Eyüp) numaralı beton örnekleri ile, bu betondan elde edilen agregaların performansları arasında bir paralellik bulunmadığından Şekil 6.6'da iki adet doğrusal regresyon görülmekte, 1 numaralı doğru bütün örnekleri, 2 numaralı doğru ise ♦2(Eyüp) numaralı numuneyi dikkate almadan sadece ■1(Eyüp), ▲3(Avcılar) ve

4●(Avcılar) numaralı numuneleri kapsamaktadır. Bu şekilde 2 numaralı doğrusal regresyonda yaklaşık %100'lük bir korelasyon katsayısına ulaşılmıştır.

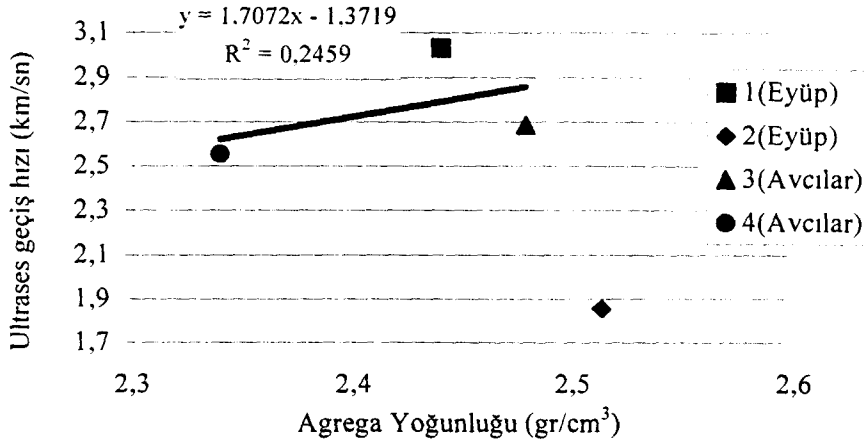


Şekil 6.7 Hacimce Su Emme (Harç – Beton) Grafiği

Şekil 6.7 incelendiğinde, harçların hacimce su emme oranlarının Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %38,2 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %47,1 değerleri aralığında, beton su emme oranının ise Avcılar'ın ▲3 numaralı numunesi için %14,9 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %23,3 değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Beton ve harçların kütlece su emme oranları karşılaştırıldığında, beklendiği gibi, harçların kütlece su emme oranının arttıkça beton su emme oranında da artma eğilimi görülmektedir. Bu eğilim Şekil 6.7'de doğrusal regresyonla ifade edilmiştir.

6.4 Ultrases Geçiş Hızı ve Dinamik Elastisite Modülü Deneyleri

Uygulanan deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, ultrases geçiş hızları ve dinamik elastisite modülleri belirlenmiş ve bu bölümde kendilerini oluşturan agregaların birim hacim ağırlıkları ve yoğunluklarıyla karşılaştırılmışlardır. Şekil 6.8 ultrases geçiş hızı ile agregaya yoğunluğu, Şekil 6.9 ise dinamik elastisite modülü ile agregaya yoğunluğunun ilişkilerini ifade eden grafikleri içermektedir.

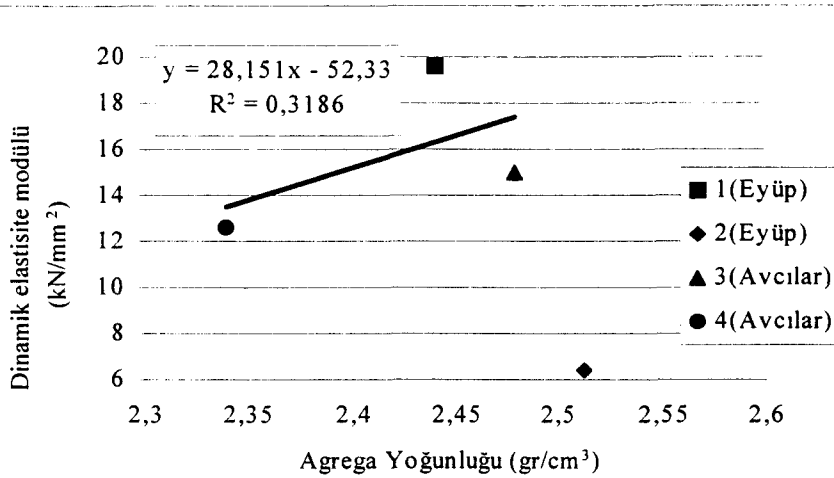


Şekil 6.8 Agreg a Yoğunluğu – Ultras es geç iş hız ı Grafi ği

Şekil 6.8 incelendiğinde, agreg a yoğunluğunun Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 2,339 gr/cm³ ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 2,513 gr/cm³ değeri aralığında, ultras es geç iş hız ının ise Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 1,854 km/sn ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 3,032 km/sn değeri arasında değ iş im gösterdi ğ i izlenmektedir. Agreg alar ın yoğunluklarıyla, beton örneklerinin ultras es geç iş hız lar ı karşılaşt ır ıld ığında, genel olarak agreg alar ın yoğunluğunun yüks elmesiyle betonun ultras es geç iş hız ında da artma eğ ilimi gör ülmektedir. Ancak, daha önce değ inilen nedenler dolay ısıyla ♦2(Eyüp) numaralı beton örneklerinin fiziksel ve mekanik performansları ile, bu betondan elde edilen agreg alar ın fiziksel ve mekanik performansları arasında bir paralellik bulunmad ığından Şekil 6.8'de gör ülen doğ rusal regresyon ♦2(Eyüp) numaralı numuneyi dikkate almadan sadece ■1(Eyüp), ▲3(Avcılar) ve ●4(Avcılar) numaralı numuneleri kapsamaktadır.

Şekil 6.9 incelendiğinde ise, agreg a yoğunluğunun Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 2,339 gr/cm³ ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 2,513 gr/cm³ değ erleri aralığında, dinamik elastisite modülünün ise Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 6,317 N/mm² ile 1 Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 9,260 N/mm² değ erleri arasında değ iş im gösterdi ğ i izlenmektedir. Agreg alar ın yoğunluklarıyla, beton örneklerinin elastisite modülleri karşılaşt ır ıld ığında, genel olarak agreg alar ın yoğunluğunun yüks elmesiyle betonun elastisite modülünün de artma eğ ilimi gör ülmektedir. Ancak, daha önce değ inilen nedenler dolay ısıyla ♦2(Eyüp) numaralı beton örneklerinin fiziksel ve mekanik performansları ile, bu betondan elde edilen

agregaların fiziksel ve mekanik performansları arasında bir paralellik bulunmamaktadır. Bu nedenle Şekil 6.9’da görülen doğrusal regresyon ♦2(Eyüp) numaralı numuneyi dikkate almadan sadece ■1(Eyüp), ▲3(Avcılar) ve ●4(Avcılar) numaralı numuneleri kapsamaktadır.

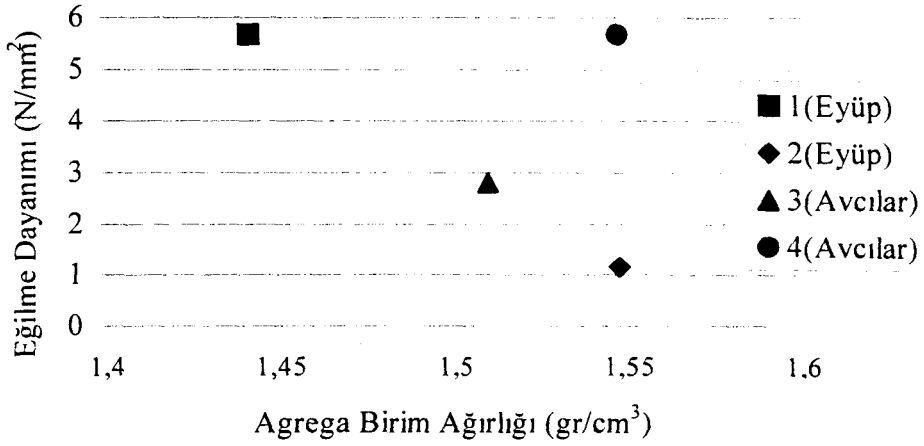


Şekil 6.9 Agregaya Yoğunluğu – Dinamik Elastisite Modülü Grafiği

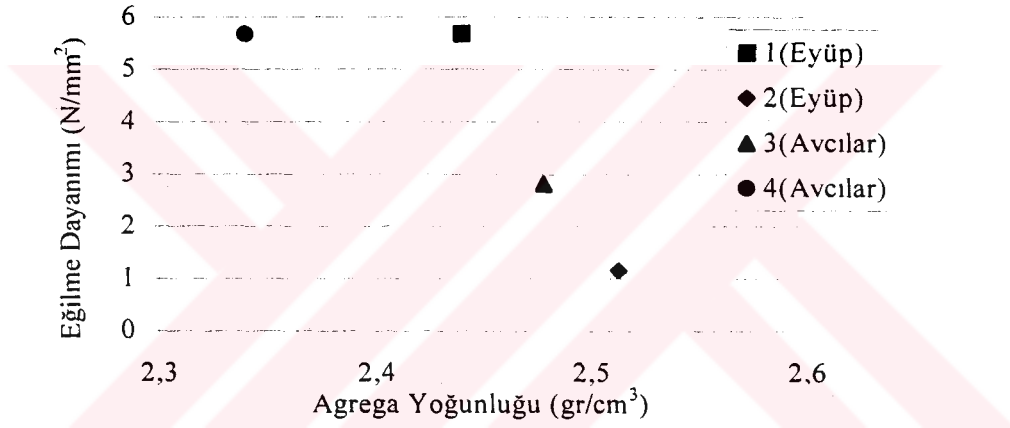
6.5 Eğilme Dayanımı

Uygulanan deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, eğilme dayanımları belirlenmiş ve bu bölümde kendilerini oluşturan agregaların birim ağırlıkları ve yoğunluklarıyla karşılaştırılmışlardır. Şekil 6.10 eğilme dayanımı ile agregaya birim ağırlığının, Şekil 6.11 ise eğilme dayanımı ile agregaya yoğunluğunun ilişkilerini ifade eden grafikleri içermektedir.

Şekil 6.10 incelendiğinde, agregaya birim ağırlığının Eyüp’ün ■1 numaralı numunesi için 1,440 gr/cm³ ile Eyüp’ün ♦2 numaralı numunesi için 1,547 gr/cm³ değeri aralığında, eğilme dayanımının ise Eyüp’ün ■1 numaralı numunesi için 1,161 N/mm² ile Avcılar’ın ●4 numaralı numunesi için 5,676 N/mm² değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Ancak beton literatüründe [16] agregaya birim ağırlığının artması ile eğilme dayanımının da yükselmesi beklenirken, iki değer arasında herhangi bir ilişki gözlenmemektedir. Bu durum, betonlarda gereken bağlayıcı – harç fazını oluşturan çimento ve ince agreganın gereken miktarlarda olmaması ile açıklanabilir.



Şekil 6.10 Agreganın Birim Ağırlığı – Eğilme Dayanımı Grafiği

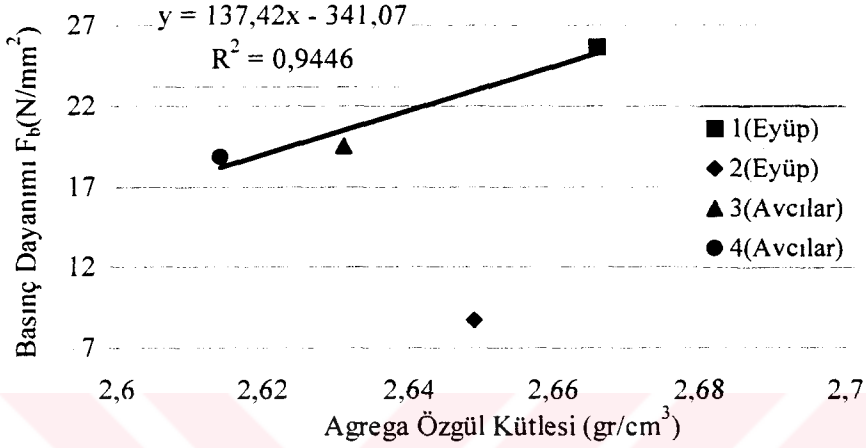


Şekil 6.11 Agreganın Yoğunluğu – Eğilme Dayanımı Grafiği

Şekil 6.11 incelendiğinde, agreganın yoğunluğunun Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 2,339 gr/cm³ ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 2,513 gr/cm³ değeri aralığında, betonun eğilme dayanımının ise Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için 1,161 N/mm² ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 5,676 N/mm² değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Tıpkı Şekil 6.10 gibi beklenmeyen bir şekilde elde edilen değerler uygun bir regresyona imkan vermemektedir.

6.6 Basınç Dayanımı

Uygulanan deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, basınç dayanımları belirlenmiş ve bu bölümde kendilerini oluşturan agregaların birim ağırlıkları ve yoğunluklarıyla karşılaştırılmışlardır. Şekil 6.12 basınç dayanımı ile agrega yoğunluğunun ilişkisini ifade eden grafiği içermektedir.

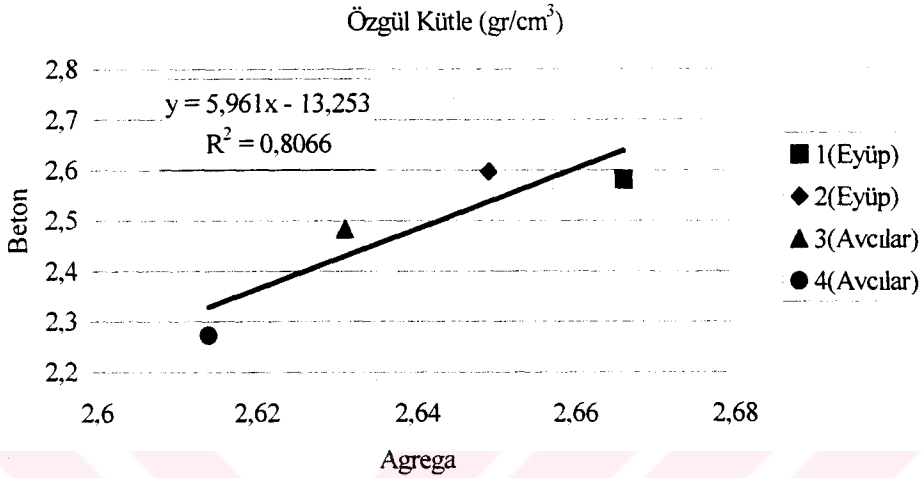


Şekil 6.12 Agreganın Özgül Kütlesi – Beton Basınç dayanımı Grafiği

Şekil 6.12 incelendiğinde, agrega özgül kütle değerlerinin Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 2,614 gr/cm³ ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 2,666 gr/cm³ değeri aralığında, beton basınç dayanımının ise Eyüp'ün ◆2 numaralı numunesi için 8,691 N/mm² ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 25,628 N/mm² değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Agregaların özgül kütle değerleriyle, beton örneklerinin basınç dayanımları karşılaştırıldığında, genel olarak agregaların özgül kütlesinin yükselmesiyle betonun basınç dayanımının da artma eğilimi görülmektedir. Ancak, daha önce değinilen nedenler dolayısıyla ◆2(Eyüp) numaralı beton örneklerinin fiziksel ve mekanik performansları ile, bu betondan elde edilen agregaların fiziksel ve mekanik performansları arasında bir paralellik bulunmadığından Şekil 6.12'de görülen doğrusal regresyon ◆2(Eyüp) numaralı numuneyi dikkate almadan sadece ■1(Eyüp), ▲3(Avcılar) ve ●4(Avcılar) numaralı numuneleri kapsamaktadır.

6.7 Özgöl Kütle

Uygulanan deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucu beton örneklerinin, agregaların ve harçların özgül ağırlık değerleri belirlenmiş ve bu bölümde birbirleriyle ilişkileri araştırılmıştır. Şekil 6.13 ve Şekil 6.14 bu ilişkileri ifade eden grafikleri içermektedir.

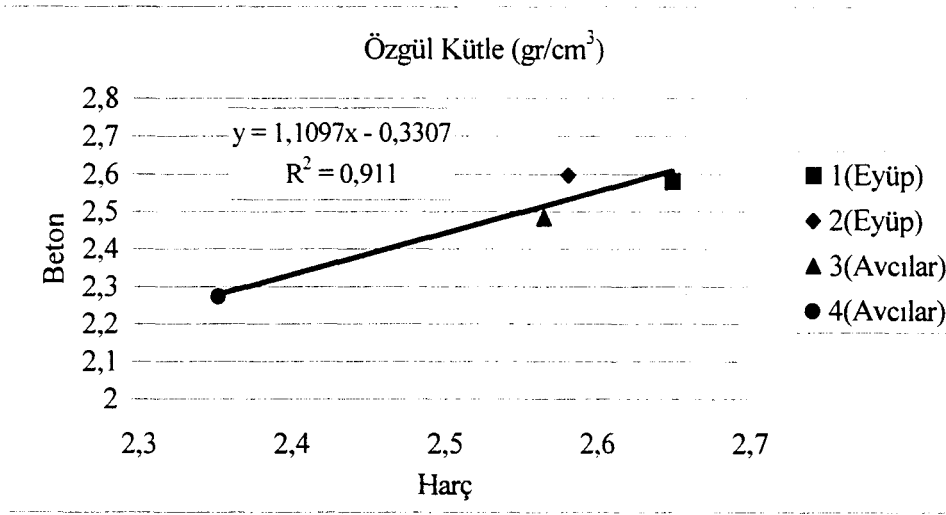


Şekil 6.13 Agregası – Beton özgül kütle Grafiği

Şekil 6.13 incelendiğinde, agregaların özgül kütle değerlerinin Avcılar'ın 4 numaralı numunesi için 2,614 gr/cm³ ile Eyüp'ün 1 numaralı numunesi için 2,666 gr/cm³ değeri aralığında, beton özgül kütle değerlerinin ise Avcılar'ın 4 numaralı numunesi için 2,273 gr/cm³ ile Eyüp'ün 2 numaralı numunesi için 2,597 gr/cm³ değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Beton ve agregaların özgül kütleleri karşılaştırıldığında, beklendiği gibi, agregaların özgül kütlelerinin arttıkça beton özgül kütlelerinin de artma eğilimi görülmektedir. Bu eğilim Şekil 6.13' doğrusal regresyonla ifade edilmiştir. Birim hacim ağırlık değerleri bir regresyona imkan tanımazken, özgül kütle değerlendirmesinde bu imkanı bulmak, özgül kütle hesaplamalarında boşluk hacimlerinin hesaba katılmamasıyla açıklanabilir.

Şekil 6.14 incelendiğinde ise, harçların özgül kütle değerlerinin Avcılar'ın 4 numaralı numunesi için 2,351 gr/cm³ ile Eyüp'ün 1 numaralı numunesi için 2,649 gr/cm³ değeri aralığında, beton özgül kütle değerlerinin ise Avcılar'ın 4 numaralı numunesi için 2,273 gr/cm³ ile Eyüp'ün 2 numaralı numunesi için 2,597 gr/cm³ değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Beton ve harçların özgül kütle değerleri karşılaştırıldığında, beklendiği gibi, harçların özgül kütlelerinin arttıkça

beton özgül kütlelerinin de artma eğilimi görülmektedir. Bu eğilim Şekil 6.14'te doğrusal regresyonla ifade edilmiştir.

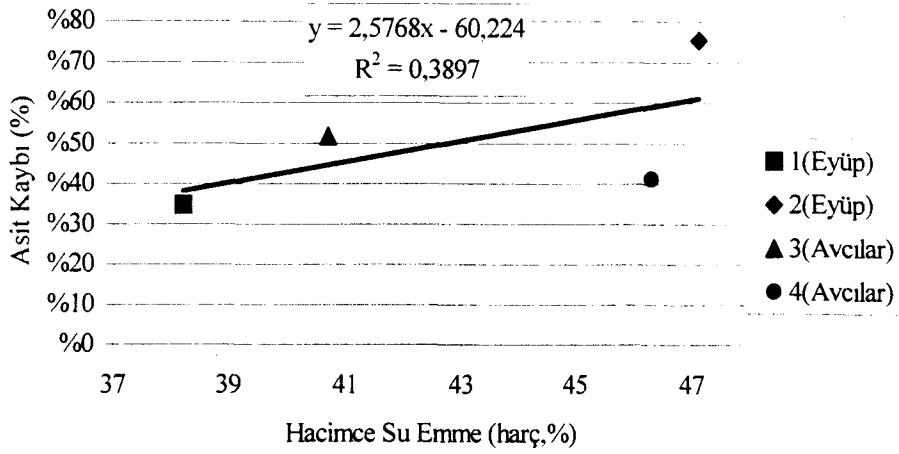


Şekil 6.14 Harç – Beton özgül kütle Grafiği

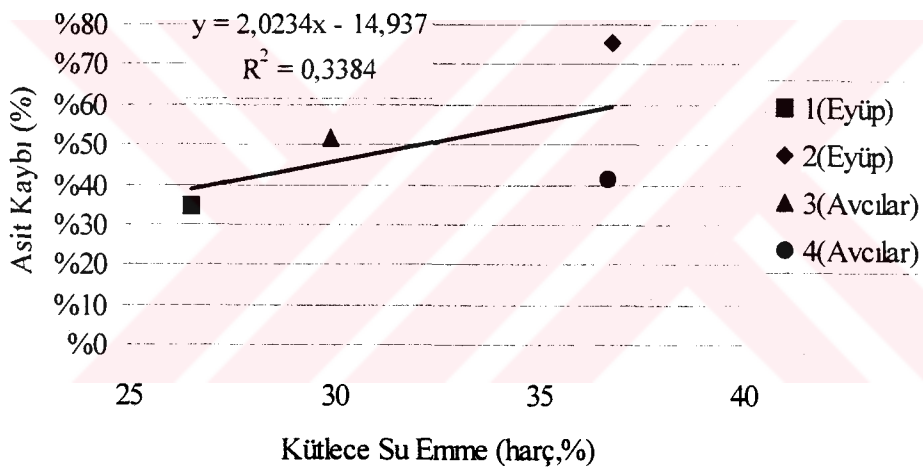
6.8 Asit Kaybı

Uygulanan deneyler ve yapılan hesaplamalar sonucu harçların %10'luk HCl çözeltisiyle tepkimesi sonucu kütle kayıp oranları belirlenmiş ve bu bölümde bu kayıp oranının harçların birim ağırlık ve su emme oranlarıyla ilişkileri araştırılmıştır. Şekil 6.15, Şekil 6.16, Şekil 6.17' su emme oranı ile, Şekil 6.18 ise birim ağırlık ile asitte kütle kaybı ilişkilerini ifade eden grafikleri içermektedir.

Şekil 6.15 incelendiğinde, harçların hacimce su emme oranlarının Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %38,2 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %47,2 değeri aralığında, harçların asit çözeltisi tepkimesi sonucu kütle kaybının ise Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %34,76 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %75,4 değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Bu değerler karşılaştırıldığında, beklendiği gibi, harçların su emme oranları arttıkça, asit kayıplarında da artma eğilimi görülmektedir. Bu eğilim Şekil 6.15'te doğrusal regresyonla ifade edilmiştir. Bu durum ince agrega ve harç karışımlarındaki, su emme kapasiteleri yüksek ve asit dayanımları zayıf olan karbonatlı mineralleri bulundurma oranıyla açıklanabilir. Başka bir deyişle, su emme oranı ve asitte kayıp oranı en yüksek olan numune ♦2(Eyüp), en yüksek miktarda karbonatlı mineraller ve organik maddeler içermektedir. Bu durum jeolojik değerlendirmede de doğrulanmıştır.

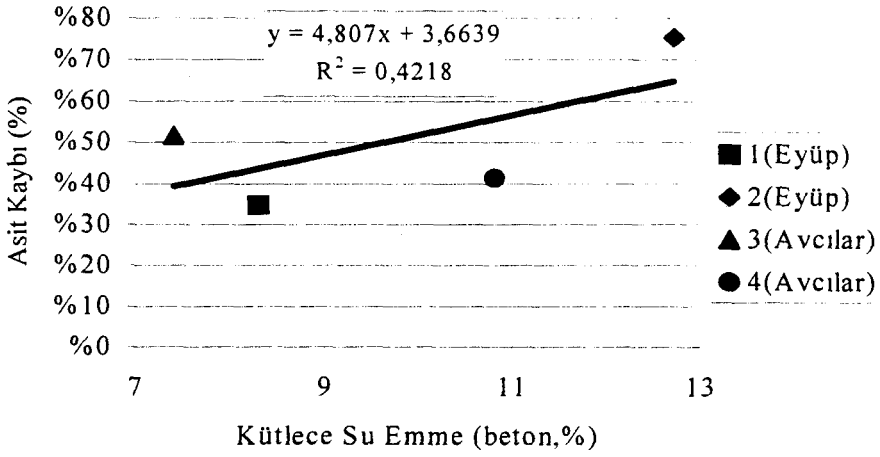


Şekil 6.15 Harcın Hacimce Su emme oranı - Asitte kayıp ilişkisi



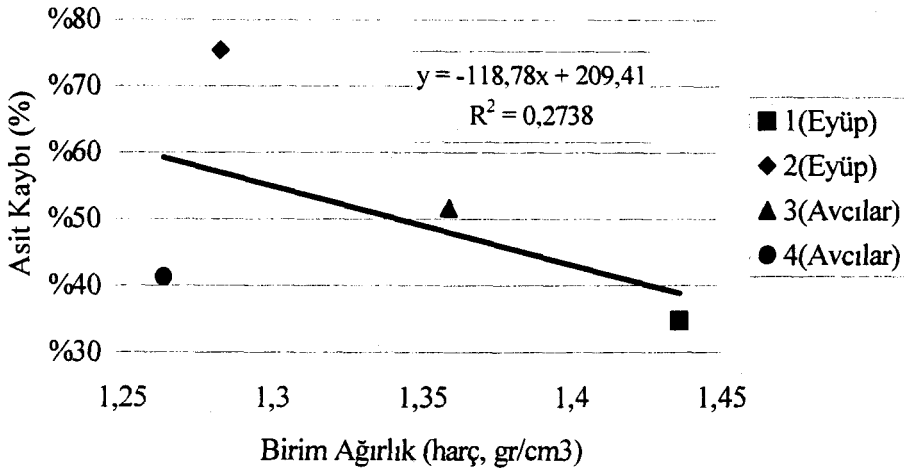
Şekil 6.16 Harcın Kütlece Su emme oranı - Asitte kayıp ilişkisi

Şekil 6.16 incelendiğinde, harçların kütlece su emme oranlarının Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %26,5 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %36,8 değeri aralığında, harçların asit çözeltisi tepkimesi sonucu kütle kaybının ise Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %34,76 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %75,4 değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Aynen Şekil 6.15'te izlenebildiği gibi, harçların su emme oranları arttıkça, asit kayıplarında da artma eğilimi görülmektedir.



Şekil 6.17 Betonun Küttelece Su Emme Oranı - Asitte kayıp ilişkisi

Şekil 6.17 incelendiğinde, beton örneklerinin küttelece su emme oranlarının Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %7,4 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %12,7 değeri aralığında, harçların asit çözeltisi tepkimesi sonucu kütle kaybının ise oranlarının Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %34,76 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %75,4 değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Aynen Şekil 6.15 ve Şekil 6.16'da izlenebildiği gibi, beton örneklerinin su emme oranları arttıkça, asit kayıplarında da artma eğilimi görülmektedir.



Şekil 6.18 Harç irim Ağırlığı - Asitte kayıp ilişkisi

Şekil 6.18 incelendiğinde, beton örneklerinin birim ağırlıklarının Avcılar'ın ●4 numaralı numunesi için 1,264 gr/cm³ ile Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için 1,436

gr/cm³ değeri aralığında, harçların asit çözeltisi tepkimesi sonucu kütle kaybının ise Eyüp'ün ■1 numaralı numunesi için %34,76 ile Eyüp'ün ♦2 numaralı numunesi için %75,4 değerleri arasında değişim gösterdiği izlenmektedir. Harç örneklerinin birim ağırlık değerleri arttıkça, asit kayıplarında azalma eğilimi görülmektedir.

6.9 Bölüm Sonuçları

Avcılar ve Eyüp bölgelerinden, deprem sonucu hasara uğramış binalardan temin edilen beton örnekleri ve bu betonları oluşturan agregalar ve harçlar üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen değerler karşılaştırılmış ve bileşen bütün ilişkisi içerisinde birbirleri üzerinde etkileri ortaya konulmuştur.

Uygulanan deneylerin sonuçlarından yararlanılarak, beton ve kendisini oluşturan agregaların birim ağırlığı arasında bir ilişki saptanamamıştır. Beton literatürüne göre beklenmeyen bu durum, agregaların beton içerisinde kütlece ve hacimce çok düşük miktarda bulunması ile açıklanabilir. Aynı zamanda, agregaların granülometrik bileşimlerin uygun olmamaları agregalar arasında boşluklar oluşmasına sebep olduğundan dolayı agregaların birim ağırlığının betonun birim ağırlığı üzerinde olan etkisi azalmıştır. Harçların birim ağırlığı ise ait oldukları beton birim ağırlığı üzerinde oldukça etkilidir. Bu durum harcın, beton içerisinde kütlece ve hacimce oldukça fazla miktarda bulunmasından ileri gelmektedir. Yukarıda bahsedilen bütün durumlar agregaların ve harçların beton birim ağırlığının, beton birim ağırlığına etkisi konusunda da geçerlidir.

Beton örneklerinin ve kendilerini oluşturan agregaların kütlece ve hacimce su emme oranları arasındaki ilişki araştırıldığında, Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı örneğin karşılaştırma dışı tutulması halinde, bu ilişki oldukça güvenilir bir doğrusal regresyonla ifade edilebilmiştir (Şekil 5.5). Agregaların kütlece ve hacimce su emme oranı yükseldikçe, ait oldukları betonların da kütlece ve hacimce su emme oranları yükselmektedir. Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı örneğin bu genel eğilime zıt bir şekilde değerlere sahip olması, diğer fiziksel ve mekanik büyüklüklerin bileşen bütün ilişkisi içinde değerlendirilmesinden sonra açıklanacaktır. Harçların kütlece ve hacimce su emme oranları ile betonun su emme oranlarının ilişkisi karşılaştırıldığında ise güvenilirliği daha düşük bir doğrusal regresyonla ifade edilebilmiştir (Şekil 6.6, Şekil 6.8).

Beton örneklerinin ultrases geçiş hızı (V), dinamik elastisite modülü (E) ve basınç dayanımı (σ_b) değerleri üzerinde kendilerini oluşturan agregaların yoğunlunun etkisi araştırıldığında, yine Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı örneğin karşılaştırma dışı bırakılması halinde, bu ilişkiler doğrusal regresyonlarla ifade edilebilmişlerdir. Başka bir deyişle, agregaların yoğunluk değerleri yükseldiğinde, (♦2 numaralı örnek hariç) oluşturdıkları betonların mekanik özellikleri daha yüksek değerlere ulaşmaktadırlar. Ancak beton örneklerinin eğilme dayanımı ile kendilerini oluşturan agregaların yoğunluğu ve birim ağırlığı arasında bir ilişki tespit edilememiştir.

Agrega ve harçların özgül kütlelerinin, oluşturdıkları betonların özgül kütle değerleri üzerinde oldukça etkili oldukları uygulanan deneyler ve yapılan değerlendirmeler sonucu tespit edilmiştir. Bu ilişkiler harçta %91'lik agregalarda ise % 80'lik güvenlik derecelerine sahip doğrusal regresyonlarla ifade edilebilmiştir (Şekil 6.14, Şekil 6.13).

Genel olarak ■1(Eyüp), ▲3(Avcılar) ve ●4(Avcılar) numaralı beton örneklerini oluşturan agregaların fiziksel özellikleri, oluşturdıkları betonların fiziksel ve mekanik büyüklüklerini beklediği gibi aynı yönde etkilemektedirler. Örneğin , bu üç örnek arasında kütlece su emme oranı en yüksek olan agregaların ait oldukları beton yine bu üç örnek arasında en yüksek kütlece su emme oranına sahiptir. Ancak ♦2(Eyüp) numaralı agregaların fiziksel büyüklükleri literatürde belirtilen standartlar içinde kalırken, ait oldukları betonun fiziksel ve özellikle mekanik büyüklükleri normal bir betondan beklenen değerlere yaklaşmamaktadır. Bu durumun en önemli nedeni içeriğinde bulundurması gereken miktardan çok az miktarda ince ve iri agrega içermesidir. ♦2(Eyüp) numaralı beton kütlece yaklaşık olarak %46,4 oranında iri agrega içermesi gerekirken %15,8, kütlece %31 oranında ince agrega içermesi gerekirken % 10,8 oranında ince agrega içermektedir. Diğer bir önemli etken ise çok az miktarda ince agrega içermesinden dolayı, granülometrik bileşimin oldukça kötü olmasıdır. Ancak, bu durumların kısmen diğer betonlar için de geçerli olduğu düşünülürse, ♦2(Eyüp) numaralı betonun bu kadar kötü performanslar sergilemesinin başka nedenleri de olması gerekir. Bu nedenler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Betonun meydana getiren agrega tanelerini birbirine bağlayan çimento hamuru mukavemetini kaybettiği zaman betonun da mukavemeti sona ermektedir. Bu

bakımdan bir tahmin yapıldığında, adı geçen betonda uygun bir çimento cinsi kullanılmamış ve/veya betona yeterli miktarda çimento katılmamış olabilir.

- Yetersiz karma suyu kullanılmasından dolayı, çimento hidratasyonunu tamamlayamamış, agrega tanelerini yüzeyleri tamamen ıslanmadığından çimento ve agrega arasındaki aderans zayıflamış ve betonun işlenebilirlik özelliği yeterli düzeyde bulunmamış olabilir.
- Gerekenden fazla miktarda karma suyu kullanılması ile çimento mukavemeti azalmış ve betonun sıkışması engellenerek boşlukları artmış olabilir.
- Yerinde hazırlama ve döküm şartlarında su / çimento oranı düşük bir değere ulaşabilmiş ve mukavemet olumsuz yönde etkilenmiş olabilir.
- Betonun taşınması sırasında dinamik etkilere ve ani yüklemeler maruz kalmasından dolayı, beton homojenliğini kaybetmiş, iri agregalar çimento hamurundan ayrılarak ayrı bir bölgede toplanmış olabilir.
- Beton kalıba yerleştirilirken tokmaktama, şişleme ve vibrasyon işlemleri uygulanmamış ve betonun boşluklu bir yapıya sahip olması sağlanmış olabilir. (Bu betonun kalıba yerleştirilmesi sırasında özen gösterilmediği, ara verilerek gerçekleştirildiği daha önceden tespit edilmiştir.)
- Uygun kür şartları sağlanamamış, hidratasyon sırasında betonun kaybettiği su ilave edilmemiş olabilir [9].

Sonuç olarak, beton örneklerini oluşturan agregalar fiziksel özellikleri açısından literatürde belirtilen standartlara uymakta, ancak betonlar literatürde belirtilen standartlardan neredeyse tamamına yakınına yaklaşamamışlardır. Uygulanan deneyler sonucu tespit edilen, yeterli miktarda agrega içermemeleri, içerdikleri agregaların granülometrik bileşimlerin uygun olmaması bu durumun sebepleri arasında sayılabilir. Betonun üretilmesi, taşınması, yerleştirilmesi ve sertleşmesi sürecinde bu durumu oluşturabilecek olumsuzluklar yukarıda sıralanmıştır.

7. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE AGREGA GERİ KAZANIMI

Türkiye’de özellikle İstanbul ve benzeri büyük şehirlerde agrega temini, hem rezervlerin hızla tükenmesi, hem de çarpık şehirleşmenin etkisiyle önem kazanan çevre problemleri nedeniyle önümüzdeki 5 yıl içerisinde büyük problemlerle karşı karşıya kalacaktır. Ülkemizde konut inşaat sektörünün büyüklüğü ve kalite denetiminin de yetersiz olduğu dikkate alındığında, bu yapıların gelecekteki rehabilitasyon ve yıkım çalışmaları sırasında çıkacak betonların değerlendirilmesi için geri kazanılmış agrega sektörünün ülkemizde de kurulması gereği ortaya çıkmaktadır [21].

7.1 1999 Yılında Yaşanan Depremler Sonucu Oluşan Hasar

Elde edilen örneklerin de hasar gördüğü veya yıkıldığı 17 Ağustos 1999 Doğu Marmara Depremi’nde hasar gören toplam konut ve işyeri sayıları Tablo 7.1’de sunulmuştur. 12 Kasım 1999 Düzce Depremi sonucu hasar gören konut ve işyeri sayıları da bu rakamlara ilave edildiğinde karşımıza ağır hasarlı veya yıkık durumda 79,382 adet konut ve 13.351 adet işyeri çıkmaktadır.

Tablo 7.1 17 Ağustos 2001 Marmara Depremi Sonrasında Hasarlı Konut ve İşyeri Sayıları [22]

Ağır Hasarlı - Yıkık		Orta Hasarlı		Az Hasarlı	
Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri
66.441	10.901	67.242	9.927	80.160	9.712

Tablo 7.2 12 Kasım 2001 Düzce Depremi Sonrasında Hasarlı Konut ve İşyeri Sayıları [23]

Yer	Yıkılacak bina	Ağır hasarlı-Yıkık		Orta Hasarlı		Az hasarlı	
		Konut	İşyeri	Konut	İşyeri	Konut	İşyeri
Bolu merkez	266	2180	153	4135	398	4607	641
Bolu köyleri	68	81	5	122	3	425	10
Akçakoca	147	177	17	248	29	506	29
Cumayeri	22	63					
Düzce merkez	1646	8378	1921	4704	1572	3444	731
Düzce köyleri	312	408	12	287	17	851	12
Konuralp	32	40		126	15	209	16
Gölyaka	42	97	21	43	26	239	28
Gümüşova	84	160	38	544	89	869	59
Çilimli	4	9	1	44	4	32	9
Kaynaşlı	513	1023	276	94	24	236	25
Yığılca	259	325	6	621	3	399	4
Toplam	3395	12941	2450	10968	2180	11817	1564

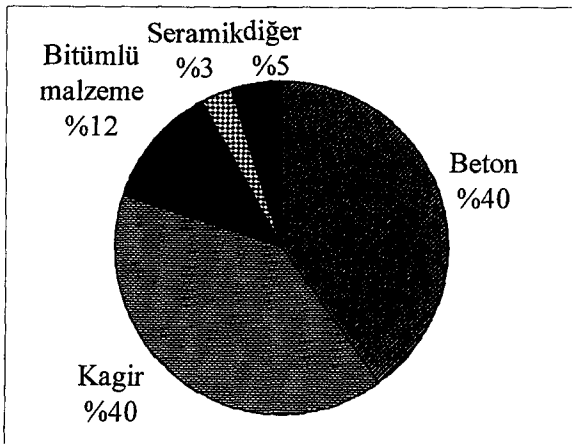
7.2 Dünyada ve Türkiye’de İnşaat Atıkları

Ülkemizde 1999 yılı içerisinde yaşanan deprem felaketleri sonucu hasar görmüş binaların enkazların tamamına yakını, üzerlerinde hiçbir işlem uygulanmadan atık sahalarına uzaklaştırılmışlardır. İnşaat atıklarının atık sahalarına uzaklaştırma ücretleri ülke bazında Tablo 7.3’de yer almaktadır.

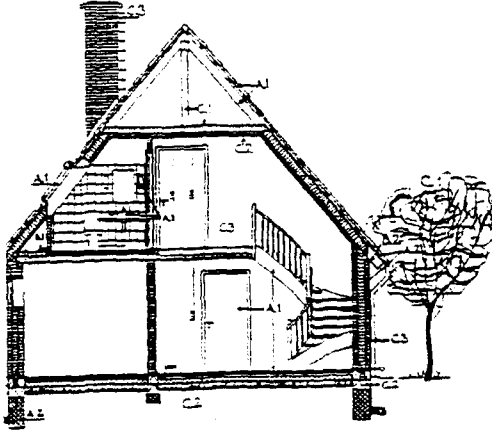
Tablo 7.3 İnşaat Atıklarının Atık Sahalarına Atılma Ücretleri [21, 24]

Ülke	Atık özellikleri	Fiyat
Belçika'da Beton (geri dönüşüm tesisine)	Donatısız, <70cm	0 – 0,98 \$
Belçika'da Beton (geri dönüşüm tesisine)	Donatılı, <70cm	3,26 – 3,91 \$
Belçika'da Beton (geri dönüşüm tesisine)	Donatılı, >70cm	4,88 – 5,86 \$
Belçika'da Kagir (geri dönüşüm tesisine)	Temiz	4,88 – 5,86 \$
Belçika'da Kagir (geri dönüşüm tesisine)	Kirlilik oranı <%10	7,49 – 9,77 \$
Belçika (geri dönüşüm tesisine)	Asfalt	2,44 – 4,88 \$
Belçika (atık sahasına)		16,28 – 32,56 \$
Danimarka (atık sahasına)		50,94 \$ / ton
Almanya (atık sahasına)		40 – 200 DM / ton
ABD (atık sahasına)		325 \$ / kamyon
Türkiye (atık sahasına)	Her çeşit moloz	4-7 \$ / ton

Lauritzen ve Jannerup (1994)'a göre Şekil 6.2'de bir kesiti görülen 100-150 m² taban alanlı tipik bir Danimarka aile evinden, birim m²'si için 1,0-1,5 ton inşaat atığı ortaya çıkmaktadır [25]. Bu ev için geri kazanılabilir malzemelerin oran ve miktarları Tablo 7.4'te görülmektedir. Belçika'da inşaat atıklarının malzeme oranları ise Şekil 7.1'de yer almaktadır.



Şekil 7.1 Belçika'da İnşaat Atıklarındaki Malzeme Oranları



Şekil 7.2 Geri Dönüşebilecek Malzeme Oranları Belirtilen Tipik Danimarka Aile Evi

Tablo 7.4 Tipik Danimarka Aile Evi İçin Yeniden kullanılabilir ve Geri Kazanılabilir Malzemeler [25]

Geri kazanılabilir atık türü	Miktar (ton)	Toplam atık içinde oranı (%)
Yeniden kullanılabilir malzemeler		
Ahşap ve paneller	14	% 10
İşlenmemiş taşlar	10	% 7
Beton ve Kagit		
Briketler ve karolar	43	% 30
Beton	56	% 40
Çeşitli hafif beton	4	% 3
Toplam	127	% 90

Tablo 7.4 ve Şekil 7.1'deki değerler incelendiğinde inşaat atıklarının ortalama %40'ını betonun oluşturduğu görülmüştür. 1999 Doğu Marmara ve Düzce depremleri sonucu yıkılan veya ağır hasar gören 92.773 adet konut ve işyeri enkazının atık sahalarına uzaklaştırıldığı görülmektedir. Ortalama konut ve işyeri alanı 90 m² ve birim m²'den 1 ton inşaat atığı olduğu [26] kabul edildiğinde (92.733 x 90 x 1) 8.345.970 ton inşaat atığının atık alanlarına ortalama 5 \$ birim fiyatı ile toplam 41.729.850 \$ harcanarak uzaklaştırıldığı tahmin edilmektedir. Bu enkazın % 40'ının, yani 3.338.388 tonunun sadece, geri dönüştürülmesi muhtemel, beton olduğu da düşünülürse asıl parasal kaybın çok daha fazla olduğu tahmin edilebilir. İnşaat yıkımlarında ortaya çıkan beton Avrupa Birliğinde 50 milyon ton/yıl ve japonyada 10-12 milyon ton/yıl'dır. Yıllık toplam inşaat yıkıntı miktarında

bakıldığında ise, Belçika'da 7.5 milyon ton, Fransa'da 25 milyon ton, İngiltere'de 27.5 milyon ton Almanya'da 70 milyon ton olduğu görülmektedir [21].

Dünyada inşaat atıklarının geri kazanım oranlarına bakıldığında, Japonya'da geri kazanım oranı %48, Belçika'da %33, İngiltere'de %40, Almanya'da %17 ve Danimarka'da %60'dır. Fransa'da geri kazanılabilir potansiyelin %20-30'u değerlendirilebilmektedir. İngiltere'de geri kazanılan agrega, kullanılan toplam %10'unu oluşturmaktadır [21].

Türkiye örneği için, sadece 1999 yılında Marmara ve Düzce depremlerinden sonra atık alanlarına uzaklaştırılan inşaat atıklarının, diğer ülkelerdeki geri kazanım oranları değerlendirilerek, ortalama geri kazanım oranı %25 olarak kabul edildiğinde, geri dönüştürülmesi sonucu 2.086.492 ton agrega geri kazanılması mümkündür. Ayrıca enkazların yoğun olduğu bölgelere kurulabilecek hareketli (mobil) geri kazanım makinaları ile, nakliye maliyetinin çok aza indirilebileceği ve geri dönüşüm maliyetinin de bu oranda azalacağını tahmin etmek zor değildir. 1995 yılı için çimento ve demir tüketimine göre hesaplanan agrega tüketiminin 31 milyon ton olduğu tahmin edilmektedir [21]. Bu durum da, Marmara ve Düzce depremleri sonucu yıkılan binalardan geri kazanılabilecek agregaların, Türkiye'nin yıllık agrega tüketiminin % 6,7'sini karşılayabileceğini göstermektedir. Şüphesiz ki, agrega geri kazanımı için tek kaynak doğal afet yıkıntıları değildir. Agrega geri kazanımı için sayılabilecek diğer kaynaklar şu şekilde sıralanabilir:

- Yıkılan eski binalar
- Yangın yıkıntıları
- Hatalı beton üretimi
- Kalite kontrol numuneleri
- Prefabrikasyonda üretim artıkları ve uygun olmayan ürünler

Tablo 7.5'de 1992 yılında Türkiye'de yanan ve yıkılan yapı sayıları görülmektedir. Bu rakamlar da dikkate alındığında, deprem sonrası dönemde geri kazanılmış agregaların ortalama yıllık agrega tüketiminin %6,7'sinden çok daha fazlasını karşılayabileceği açıktır.

Tablo 7.5 1992 yılı İstatistiklerine Göre Türkiye’de Yanan ve Yıkılan Yapı Adedi

Kullanım Amacı	Toplam Yanan Yapı Sayısı	Kısmen Yanan Yapı Sayısı	Tamamen Yanan Yapı Sayısı	Yıkılan Yapı Sayısı
Ev	1184	986	198	1515
Ev daire	1326	-	-	1722
Apartman	115	115	-	135
Apart. daire	575	-	-	530
Toplam daire	1901	-	-	2252
Ticari yapılar	423	391	32	205
Sanayi yapıları	168	163	5	20
Sağlık, sosyal ve kültürel yapılar	22	22	-	8
Dini yapılar	9	9	-	4
İdari yapılar	25	25	-	5
Diğer yapılar	31	27	4	8
Toplam	1977	1738	239	1900

7.3 Geri Kazanılmış Agregaların Kullanım Alanları

Geri kazanılmış agregaların günümüzde en yaygın kullanım alanları aşağıda belirtilmiştir. Gelecekte, standartları ortaya koyularak, bu kullanımlar doğal agrega kullanım alanlarına çekilecektir.

- 80-200 mm beton agregaları, dolgu malzemesi olarak hidrolik işlerinde
- 0-80 mm beton agregaları, standartları yerine getirmek şartıyla beton üretiminde, yol inşaatlarında zemin malzemesi olarak, toprak dolgu malzemesi olarak ve sertleşmiş zemin oluşturmak için park alanlarında
- Geri kazanılmış kum, çoğunlukla yol kaplamalarının altında ya da yol alt temel yapısında
- 0-56 mm geri kazanılmış kagır, zemin dolgusu olarak ve sertleşmiş zemin oluşturmak için park alanlarında
- Asfalt agregaları, yollar ve park alanları kaplamalarında, yeni asfalt içinde [21]

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Avcılar ve Eyüp bölgelerinin deprem sonucu hasar görmüş binalarından temin edilen beton örneklerinin, üzerinde uygulanan deneyler sonucu elde edilen fiziksel ve mekanik büyüklüklerinin değerlendirilmesi neticesinde, hiçbir örneğin betonarme yapılarda kullanılmaya uygun değerler sahip olmadığı belirlenmiştir. Özellikle Eyüp bölgesinden temin edilen ♦2 numaralı beton örneklerinin, bütün örnekler arasında, gösterdiği düşük performans dikkat çekmiştir.

Beton örnekleri, mekanik yolla harç ve iri agregalar olarak bileşenlerine ayrıldıktan sonra uygulanan deneyler sonucu ise iri agregaların, birim ağırlık, özgül ağırlık ve porozite gibi fiziksel değerleri bakımından beton literatüründe belirtilen değerleri yakalamış oldukları tespit edilmiştir. Ancak iri agregaların beton içerisinde kapladıkları ağırlık ve hacim paylarının çok düşük olması, uygun granülometrik bileşime sahip olmamaları, beton örneklerinin kendilerinden beklenen hiçbir performansı sergileyememelerini sağlamıştır. Avcılar ve Eyüp bölgelerinden temin edilen betonların hepsinde normal bir betonda kullanılması gereken agregaların miktarının, neredeyse $\frac{1}{4}$ 'ünün bile kullanılmamış olması oldukça düşündürücüdür. Bu nedenlerden dolayı beton ve kendisini oluşturan agregaların performansları arasında güvenilir regresyon ifadelerine ulaşılamamıştır. Betonların kötü performanslarının, içerdikleri agregaların fiziksel özelliklerinden değil, betonun üretilmesi, yerleştirilmesi ve sertleşmesi sürecinde oluşabilecek olan olumsuzluklardan kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.

Hem 1999 yılında yaşanan Doğu Marmara ve Düzce depremleri sonucu ortaya çıkan hem de her yıl belli bir sayıda yanan ve yıkılan bina atıklarının değerlendirilerek endüstriye geri kazandırılması, hem agregalar temin hem de enerji tüketimi açısından çok önemli bir kaynaktır. Ülkemizde agregalar geri kazanım sektörü oluştuğunda hem kaynakların etkin ve verimli bir şekilde kullanımı hem de standartlara uygun bir beton üretiminin gerçekleşmesi sağlanabilecek, ulusal ekonomiye çok önemli katkılar sağlanacaktır [21].

KAYNAKLAR

- [1] **Erdoğan, T.**, 1995. *Betonu Oluşturan Malzemeler, Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği*, İstanbul.
- [2] **Neville, A.M.**, 1998. *Properties of Concrete*, John Wiley & Sons Inc, New York.
- [3] **Popovics, S.**, 1992. *Concrete Materials*, Noyes Publications, New Jersey.
- [4] **Güner, M. S., Süme, V.**, 2000. *Yapı Malzemesi ve Beton*, Aktif Yayınevi, İstanbul.
- [5] **TS 706**, 1980. *Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- [6] **Çağlayan, M., Haberveren, S., İpekoğlu, B., Kurşun, İ.**, 1999. Beton yapımında kullanılan agregaların özellikleri ve örnek bir kuruluş "İSTON", 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, s. 69-79.
- [7] **Taylor, W. H.**, 1992. *Concrete Technology & Practice*, American Elsevier Publishing Company Inc, New York.
- [8] **Akman, S. M.**, 1992. *Deniz Yapılarında Beton Teknolojisi*, İ.T.Ü. Gemi İnşaatı ve Deniz Bilimleri Fakültesi Ofset Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [9] **Postacioğlu, B.**, 1987. *Beton (Cilt 2, Agregalar, Beton)*, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [10] **Uğurlu, A.**, 1999. *Agrega – Çimento Hamuru Bağı Üzerine*, 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, s. 213-225.
- [11] **Toydemir, N., Gürdal, E., Tanaçan, L.**, 2000. *Yapı Elemanı Tasarımında Malzeme, Literatür Yayıncılık*, İstanbul.
- [12] **Anonim**, 1993. *ACI Manual of Concrete Practice Part 1-1993*, American Concrete Institute, Michigan.
- [13] **Arioğlu, E., Arioğlu, N., Yılmaz, A. O.**, 1999. *Çözümlü Beton Agregaları Problemleri*, Evrim Yayınevi, İstanbul.

- [14] Manzak, O. Dondurmacı, A., Köylüoğlu, Ö. S., Arıoğlu, E., 1996. Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş.'de Beton Agrega Kalite Denetimi, *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul, s. 163-178.
- [15] Uyan, M., 1975. Beton ve Harçlarda Kılcallık Olayı, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [16] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A. O., 1998. Üst ve Alt Yapılarda Beton Karot Deneyleri ve Değerlendirilmesi, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [17] Anonim, 1998. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, *T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.
- [18] Uğurlu, A., 1993. Taşunu Kullanımının Beton Özellikleri Üzerindeki Etkisi, DSİ Genel Müdürlüğü Basımevi, Ankara.
- [19] Erdoğan, M., 2001. Kişisel görüşme, İ.T.Ü. Maden Fakültesi Maslak, İstanbul.
- [20] Akman, S. M., 1977. Denizden Çıkarılan Beton Agregalarının Teknik Sorunları, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi Baskı Atölyesi, İstanbul.
- [21] Arıoğlu, E., Köylüoğlu, Ö. S., Arıoğlu, N., 1996. Dünyadaki Geri Kazanılmış Agrega Üretim ve Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi, *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- [22] Anonim, 1999. 15/09/1999 tarihli Basın Bildirisi, *T.C. Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi*,
www.basbakanlik.gov.tr/krizyonetimmerkezi/basinbildirileri..
- [23] Anonim, 2000. 02/02/2000 tarihli Basın Bildirisi, *T.C. Başbakanlık Kriz Yönetim Merkezi*,
www.basbakanlik.gov.tr/krizyonetimmerkezi/basinbildirileri..
- [24] Simons, B. P., Henderrieckx, F., 1994. Guidelines for Demolition with Respect to the Reuse of Building Materials: Guidelines and Experiences in Belgium, *Proceedings of the third International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry*, Odense, Denmark, 24-27 October 1993, 25-35.

- [25] **Lauritzen, E. K., Jannerup, M.**, 1994. Guidelines and Experience from the Demolition of Houses in Connection with the Oresund Link between Denmark and Sweden, *Proceedings of the third Internaional RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concreteand Masonary* , Odense, Denmark, 24-27 October 1993, 35-46.



Tablo B.1 Numune Boyutları

Numune	Boyutlar (cm)			Hacim (cm ³)
	a	b	l	V
1/1	3,964	4,028	16,4	261,8587
1/2	3,995	4,4273	16,4	290,0678
1/3	4,318	4,673	16,2	326,8838
1/4	4,353	4,678	16,2	329,886
1/5	4,239	4,151	16,2	285,0566
1/6	4,188	4,158	16,3	283,8434
2/1	4,335	4,002	16,2	281,0485
2/2	4,417	4,139	15,9	290,6832
2/3	4,132	4,571	16,2	305,9754
2/4	4,174	4,306	16,9	303,7478
2/5	3,834	4,604	16,5	291,2536
2/6	4,304	4,289	16,3	300,8957
3/1	4,458	4,401	16	313,9145
3/2	4,266	4,678	16	319,3016
3/3	4,615	4,366	15,8	318,3556
3/4	4,55	4,409	15,9	318,9691
3/5	3,836	4,708	16	288,9582
3/6	4,498	4,149	15,9	296,729
4/1	4,492	4,508	16,1	326,024
4/2	4,347	4,761	15,9	329,0675
4/3	4,489	4,531	16	325,4345
4/4	4,051	4,574	16,1	298,3213
4/5	4,373	4,52	16,1	318,232
4/6	4,479	4,478	16,2	324,9228

Tablo C.1 ♦2(Eyüp) Numaralı Numuneler İçin Kılcallık Deney Sonuçları

Numune	2/1		2/2		2/3		2/4		2/5		2/6	
a (mm)	43,35		44,17		41,32		41,74		38,34		43,04	
b (mm)	40,02		41,39		45,71		43,06		46,04		42,89	
l (mm)	16,20		15,90		16,20		16,90		16,50		16,30	
A (cm ²)	17,348		18,281		18,887		17,973		17,651		18,459	
Etüv kuru ağırlık	484,5		505,1		526,8		542,1		481,7		522,7	
Ortam ağırlığı	485,5	N	505,9	N	527,4	N	543,1	N	481,3	N	523,7	N
İlk ağırlık	485,9		506,4		527,7		543,5		481,7		524,3	
4 dak. Ağırlık	488,1	0,063	509,0	0,071	529,4	0,045	545,5	0,056	483,1	0,040	527,7	0,092
9 dak. Ağırlık	489,1	0,061	510,1	0,067	530,2	0,044	546,3	0,052	483,8	0,040	529,3	0,090
16 dak. Ağırlık	490,2	0,062	511,2	0,066	531,0	0,044	547,1	0,050	484,5	0,040	530,9	0,089
25 dak. Ağırlık	491,2	0,061	512,3	0,065	531,8	0,043	548,0	0,050	485,2	0,040	532,3	0,087
36 dak. Ağırlık	492,5	0,063	513,5	0,065	532,7	0,044	548,9	0,050	486,1	0,042	533,8	0,086
49 dak. Ağırlık	493,9	0,066	514,9	0,066	533,6	0,045	549,9	0,051	487,0	0,043	535,5	0,087
1 saat 04 dk. Ağırlık	495,2	0,067	516,3	0,068	534,5	0,045	550,9	0,051	488,0	0,045	537,1	0,087
1 saat 21 dk. Ağırlık	496,6	0,069	517,7	0,069	535,4	0,045	551,9	0,052	488,8	0,045	538,7	0,087
1 saat 40 dk. Ağırlık	497,9	0,069	519,0	0,069	536,2	0,045	552,9	0,052	498,8	0,097	540,1	0,086
2 saat 01 dk. Ağırlık	499,2	0,070	520,3	0,069	536,9	0,044	553,8	0,052	490,5	0,045	541,4	0,084
2 saat 24 dk. Ağırlık	500,4	0,070	521,6	0,069	537,8	0,045	554,6	0,051	491,3	0,045	542,8	0,084
2 saat 49 dk. Ağırlık	501,6	0,070	522,8	0,069	538,5	0,044	555,5	0,051	492,0	0,045	544,0	0,082
N ort (cm/√dak)	0,066		0,067		0,044		0,052		0,047		0,087	

Tablo C.1’de “N” ile Kılcallık Katsayısı (cm/√dak) ifade edilmektedir.

Tablo C.2 ▲3(Avcılar) Numaralı Numuneler İçin Kılcallık Deney Sonuçları

Numune	3/1		3/2		3/3		3/4		3/5		3/6	
a (mm)	44,58		42,66		46,15		45,5		38,36		44,98	
b (mm)	44,01		46,78		43,66		44,09		47,08		41,49	
l (mm)	16		16		15,8		15,9		16		15,9	
A (cm ²)	19,619		19,956		20,192		20,06		18,059		18,662	
Etüv kuru ağırlık	586,2		642,9		618,6		602,9		558,9		545,8	
Ortam ağırlığı	587,4		639,8		615,4		604,0		560,3		547,5	
İlk ağırlık	588,0	N	640,1	N	615,8	N	604,5	N	561,0	N	548,2	N
4 dak. Ağırlık	590,2	0,056	641,2	0,028	617,5	0,042	606,8	0,057	564,7	0,102	550,6	0,064
9 dak. Ağırlık	591,4	0,058	641,8	0,028	618,1	0,038	607,8	0,055	566,4	0,100	551,9	0,066
16 dak. Ağırlık	592,5	0,057	642,2	0,026	618,6	0,035	608,9	0,055	568,0	0,097	553,1	0,066
25 dak. Ağırlık	593,8	0,059	642,6	0,025	619,1	0,033	610,0	0,055	569,6	0,095	554,2	0,064
36 dak. Ağırlık	594,9	0,059	643,0	0,024	619,5	0,031	611,1	0,055	571,0	0,092	555,3	0,063
49 dak. Ağırlık	596,0	0,058	643,2	0,022	619,8	0,028	612,1	0,054	572,5	0,091	556,5	0,064
1saat04 dk. Ağırlık	597,2	0,059	643,5	0,021	620,1	0,027	613,2	0,054	573,9	0,089	557,7	0,064
1saat21 dk. Ağırlık	598,4	0,059	643,6	0,019	620,4	0,025	614,1	0,053	575,3	0,088	558,8	0,063
1saat40 dk. Ağırlık	599,6	0,059	643,8	0,019	620,7	0,024	615,1	0,053	576,6	0,086	560,1	0,064
2saat01 dk. Ağırlık	600,7	0,059	644,1	0,018	621,1	0,024	616,2	0,053	577,9	0,085	561,3	0,064
2saat24 dk. Ağırlık	602,0	0,059	644,2	0,017	621,4	0,023	617,2	0,053	579,3	0,084	562,5	0,064
2saat49 dk. Ağırlık	603,1	0,059	644,5	0,017	621,8	0,023	618,2	0,053	580,6	0,083	563,7	0,064
N ort (cm/ $\sqrt{\text{dak}}$)	0,058		0,022		0,029		0,054		0,091		0,064	

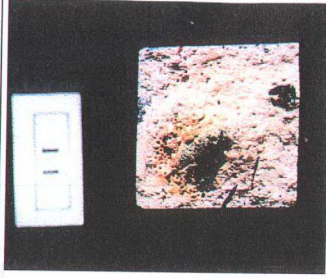
Tablo C.2’de “N” ile Kılcallık Katsayısı (cm/ $\sqrt{\text{dak}}$) ifade edilmektedir.

Tablo C.3 •4(Avcılar) Numaralı Numuneler İçin Kılcallık Deney Sonuçları

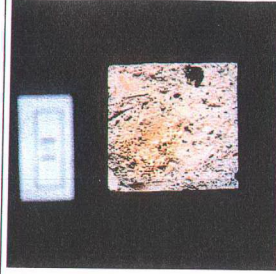
Numune	4/4		4/2		4/3		4/4		4/5		4/6	
a (mm)	44,92		43,47		44,89		40,51		43,73		44,79	
b (mm)	45,08		47,61		45,31		45,74		45,20		44,78	
l (mm)	16,10		15,90		16,00		16,10		16,10		16,20	
A (cm ²)	20,249		20,696		20,339		18,529		19,765		20,056	
Etliv kurusu ağır.	589,1		595,6		590,2		537,4		569,0		576,8	
Ortam ağırlığı	589,2		595,1		588,8		537,1		570,2		577,0	
İlk ağırlık	589,8	N	595,5	N	589,3	N	537,7	N	571,1	N	577,4	N
4 dak. Ağırlık	593,5	0,091	597,1	0,039	591,3	0,049	539,9	0,059	575,8	0,119	579,3	0,047
9 dak. Ağırlık	595,3	0,091	597,9	0,039	592,2	0,048	541,0	0,059	577,8	0,113	580,2	0,047
16 dak. Ağırlık	597,2	0,091	598,8	0,040	593,2	0,048	541,9	0,057	579,8	0,110	581,2	0,047
25 dak. Ağırlık	599,1	0,092	599,5	0,039	594,0	0,046	542,8	0,055	581,9	0,109	582,1	0,047
36 dak. Ağırlık	602,4	0,104	600,9	0,043	594,7	0,044	543,6	0,053	583,9	0,108	582,8	0,045
49 dak. Ağırlık	604,1	0,101	601,6	0,042	595,4	0,043	544,4	0,052	586,0	0,108	583,6	0,044
1saat04 dk. Ağır.	606,0	0,100	602,2	0,040	596,1	0,042	545,2	0,051	588,1	0,108	584,3	0,043
1saat21 dk. Ağır.	607,7	0,098	602,7	0,039	596,7	0,040	546,0	0,050	590,2	0,107	585,0	0,042
1saat40 dk. Ağır.	609,5	0,097	603,2	0,037	597,3	0,039	546,7	0,049	592,3	0,107	585,6	0,041
2saat01 dk. Ağır.	611,3	0,097	603,8	0,036	597,8	0,038	547,4	0,048	594,4	0,107	586,2	0,040
2saat24 dk. Ağır.	613,1	0,096	604,2	0,035	598,4	0,037	548,1	0,047	596,6	0,108	586,9	0,039
2saat49 dk. Ağır.	614,8	0,095	604,7	0,034	598,9	0,036	548,8	0,046	598,7	0,107	587,4	0,038
N ort (cm/√dak)	0,096		0,039		0,043		0,052		0,109		0,043	

Tablo C.3'te "N" ile Kılcallık Katsayısı ($\text{cm}/\sqrt{\text{dak}}$) ifade edilmektedir.

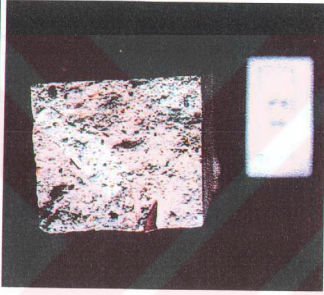
Tablo C.4 Eğilme Deneyi Sonucu ■1 No'lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri



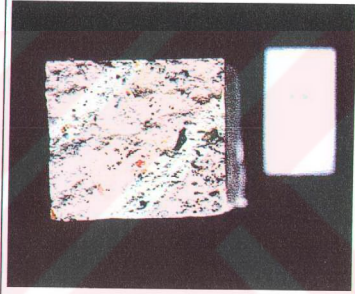
Numune 1/1A



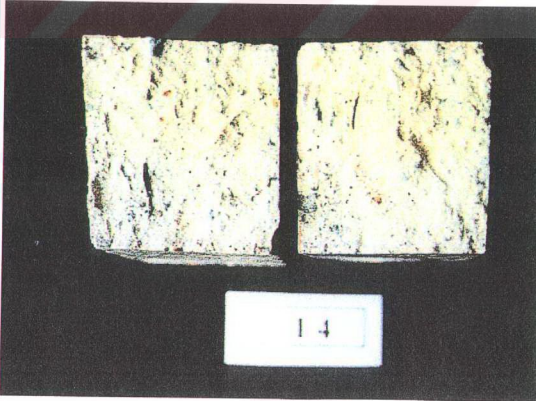
Numune 1/1B



Numune 1/2A

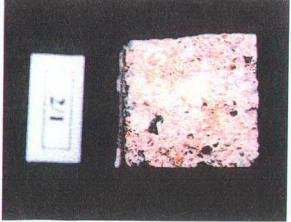
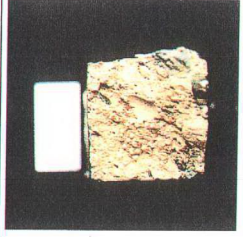
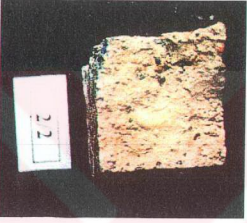
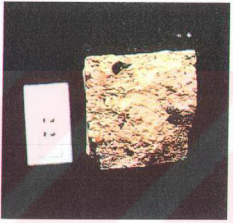
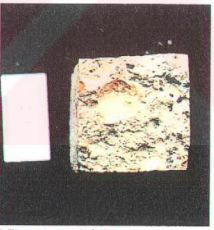


Numune 1/2A



Numune 1/4A ve Numune 1/4B

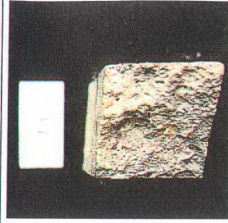
Tablo C.5 Eğilme Deneyi Sonucu ♦2 No'lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri

	
Numune 2/1A	Numune 2/1B
	
Numune 2/2A	Numune 2/2A
	
Numune 2/3A	Numune 2/3B
	
Numune 2/4A	Numune 2/4A ve Numune 1/4B

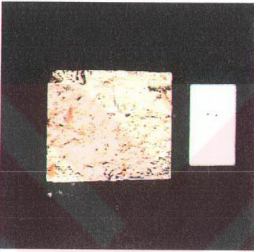
Tablo C.6 Eğilme Deneyi Sonucu ▲3 No'lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri



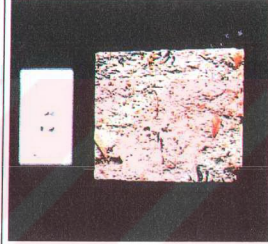
Numune 3/1A



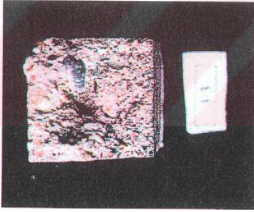
Numune 3/1B



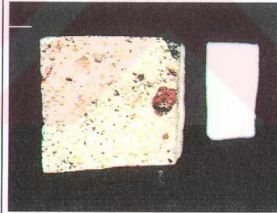
Numune 3/2A



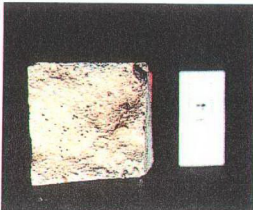
Numune 3/2A



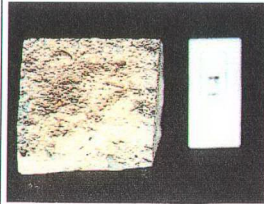
Numune 3/3A



Numune 3/3B

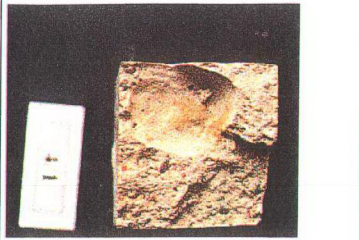
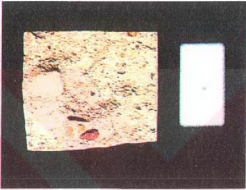
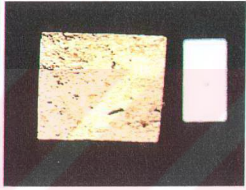
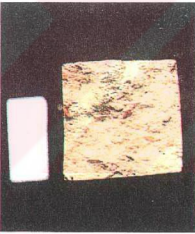
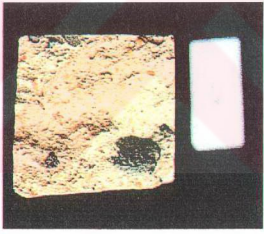
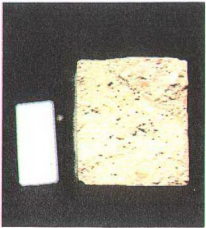


Numune 3/4A



Numune 3/4B

Tablo C.7 Eğilme Deneyi Sonucu ●4 No'lu Numunelerde Oluşan Kırılma Yüzeyleri

	
Numune 4/1A	Numune 4/1B
	
Numune 4/2A	Numune 4/2B
	
Numune 4/3A	Numune 4/3B
	
Numune 4/4A	Numune 4/4B

Tablo C.8 Geçirgenlik Katsayısı Deney Sonuçları

		Numune																	
		1/1		1/2		2/1		2/2		3/1		3/2		4/1		4/2			
		μ		μ		μ		μ		μ		μ		μ		μ			
		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)			
h ort (m)		0,015		0,022		0,014		0,015		0,021		0,015		0,022		0,019			
dh ort (m)		0,015		0,015		0,015		0,014		0,013		0,017		0,017		0,010			
r ort (m)		0,036		0,037		0,036		0,036		0,036		0,036		0,037		0,036			
A ort(m)		0,0040		0,0042		0,0041		0,0041		0,0041		0,0041		0,0043		0,0042			
ortalama		μ		μ		μ		μ		μ		μ		μ		μ			
t dış		Nem		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)		Fark (gr)			
1.gün		22,3	47,0	10,36	0,05	6,10	0,06	4,60	0,11	2,49	0,17	7,70	0,05	4,69	0,10	9,64	0,04		
2.gün		22,0	47,7	5,28	0,09	4,37	0,08	4,10	0,12	1,82	0,21	3,98	0,09	3,02	0,14	3,37	0,10		
3.gün		21,5	51,0																
4.gün		21,0	50,0																
5.gün		21,0	52,6	6,47	0,23	5,17	0,21	4,17	0,36	2,45	0,52	4,37	0,24	4,37	0,32	5,52	0,20		
6.gün		20,7	50,1	4,46	0,10	3,23	0,10	3,93	0,12	2,01	0,19	3,38	0,10	2,60	0,15	4,20	0,11		
7.gün		20,8	53,3	4,31	0,11	3,45	0,10	4,27	0,12	2,22	0,19	3,66	0,10	4,31	0,11	3,98	0,09		
8.gün		20,5	52,0	8,31	0,06	9,32	0,04	4,04	0,12	2,08	0,19	5,22	0,07	3,27	0,13	5,08	0,07		
9.gün		20,5	50,0	9,39	0,05	5,52	0,06	8,44	0,06	4,39	0,10	6,99	0,05	7,75	0,06	6,85	0,05		
μ (ort)		6,94		5,31		4,79		2,50		5,04		4,29		5,52		3,77			

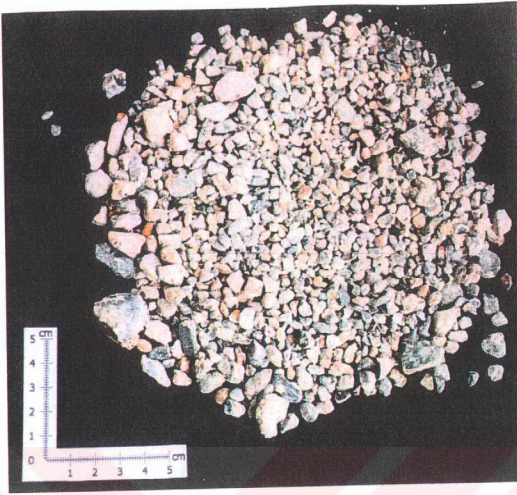
Tablo C.8'de μ , buhar geçirgenlik katsayısını ifade etmektedir.

Tablo E.1 İri Agregaların Granülometri Deneyi Sonuçları

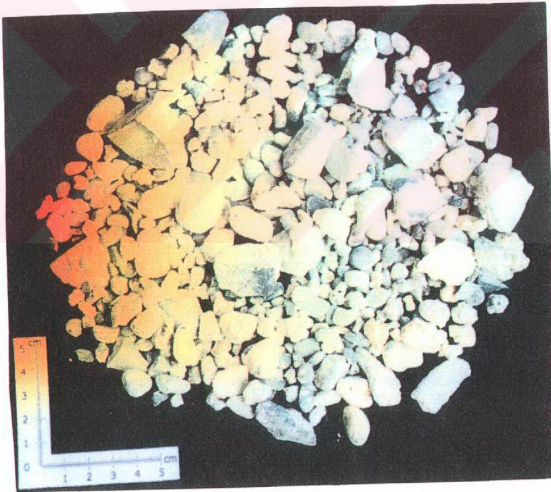
Numune A1	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	9,5	279,1	96,708
8 mm	39,1	240	83,160
4 mm	160,1	79,9	27,685
2 mm	78,7	1,2	0,416
1 mm	0,7	0,5	0,173
0,5 mm	0,3	0,2	0,069
0,211 mm	0,1	0,1	0,035
KAP	0,1		
Numune A2	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	113,6	363,2	76,174
8 mm	171,9	191,3	40,122
4 mm	176,6	14,7	3,083
2 mm	13,5	1,2	0,252
1 mm	0,8	0,4	0,084
0,5 mm	0,2	0,2	0,042
0,211 mm	0,1	0,1	0,021
KAP	0,1		
Numune A3	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	62,6	262,9	80,768
8 mm	85,6	177,3	54,470
4 mm	157,5	19,8	6,083
2 mm	19	0,8	0,246
1 mm	0,5	0,3	0,092
0,5 mm	0,1	0,2	0,061
0,211 mm	0,1	0,1	0,031
KAP	0,1		
Numune A4	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	51,7	158	75,346
8 mm	17,5	140,5	67,000
4 mm	91,1	49,4	23,557
2 mm	48,6	0,8	0,381
1 mm	0,5	0,3	0,143
0,5 mm	0,1	0,2	0,095
0,211 mm	0,1	0,1	0,048
KAP	0,1		

Tablo E.2 İnce Agregaların Granülometri Deneyi Sonuçları

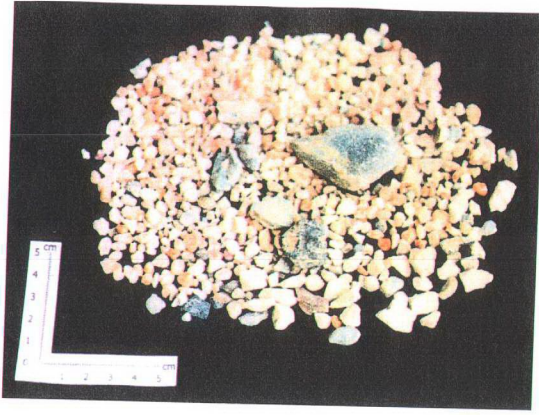
Numune H1	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	0	99,2	100,000
8 mm	0	99,2	100,000
4 mm	0,9	98,3	99,093
2 mm	16,5	81,8	82,460
1 mm	29,8	52	52,419
0,5 mm	20,2	31,8	32,056
0,25 mm	23,7	8,1	8,165
KAP	8,1		
Numune H2	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	0	42,3	100,000
8 mm	0	42,3	100,000
4 mm	2,7	39,6	93,617
2 mm	9,8	29,8	70,449
1 mm	10,6	19,2	45,390
0,5 mm	8,1	11,1	26,241
0,25 mm	6,1	5,0	11,820
KAP	5		
Numune H3	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	0	77,0	100,000
8 mm	0	77,0	100,000
4 mm	0,2	76,8	99,740
2 mm	4,2	72,6	94,286
1 mm	25,4	47,2	61,299
0,5 mm	16,9	30,3	39,351
0,25 mm	17,3	13,0	16,883
KAP	13		
Numune H4	Elekten		
Elekler	Kalan (gr)	Geçen (gr)	Geçen (%)
16 mm	0	97,0	100,000
8 mm	0	97,0	100,000
4 mm	3,6	93,4	96,289
2 mm	19,1	74,3	76,598
1 mm	19,3	55,0	56,701
0,5 mm	17,1	37,9	39,072
0,25 mm	29	8,9	9,175
KAP	8,9		



Şekil E.1 ■1(Eyüp) Numaralı Örneklerden Elde Edilen İri Agregalar



Şekil E.2 ♦2(Eyüp) Numaralı Örneklerden Elde Edilen İri Agregalar



Şekil E.3 •4(Avcılar) Numaralı Örneklerden Elde Edilen İri Agregalar

ÖZGEÇMİŞ

Halil İnan 18.08.1976 tarihinde Ankara'da doğdu. İlköğrenimini 1982 – 1987 yılları arasında Özel Yükseliş Koleji ve Beypazarı İstiklâl İlkokulu'nda, ortaöğrenimini 1987-1994 yılları arasında Ankara Anadolu Lisesi Almanca bölümünde, lisans öğrenimini ise 1994-1999 yılları arasında İ.T.Ü Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'nde tamamladı. Ortaöğrenim ve lisans eğitimi sırasında Almanca ve İngilizce olmak üzere iki yabancı dil eğitimi aldı. Mezun olmasının ardından aynı yıl yüksek lisans yapmaya hak kazandı. Bu dönem içerisinde Polimer Ltd. Şti'de 1 yıl süreyle mimar olarak çalıştı.