

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİS DUMANI KATKILI GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI
BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ÖMER ÖZKAN SOFYANLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ÖZGÜR ÇAKIR**

İSTANBUL, 2015

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**SİLİS DUMANI KATKILI GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI
BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

ÖMER ÖZKAN SOFYANLI

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YAPI PROGRAMI**

**DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ÖZGÜR ÇAKIR**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİ KAZANILMIŞ AGREGALARIN BETON ÜRETİMİNDE
YENİDEN KULLANILABİLİRLİĞİNİN ARAŞTIRILMASI

Ömer Özkan SOFYANLI tarafından hazırlanan tez çalışması .././2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Bekir Y. PEKMEZCİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Nabi YÜZER
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütücülüğünü üstlenen, çalışmanın her aşamasında değerli zamanını, bilgi ve tecrübelerini aktaran Yrd. Doç. Dr.Özgür ÇAKIR'a,

Çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen değerli hocam Araş. Gör. Mansur TÜFEKÇİ'ye, değerli meslektaşım İnş. Müh. Selin SAYACA TOPGÜL'e ve laboratuvar sürecinin her aşamasında yardımlarını esirgemeyen Teknisyen Halil YAVAŞCI'ya,

Çimento teminindeki yardımlarından dolayı Akçansa Çimento San. A.Ş.'ye, kimyasal katkıların temininde gösterdikleri yardımdan dolayı BASF Yapı Kimyasalları Sanayi A.Ş.'ye, geri kazanılmış agrega teminindeki desteklerinden dolayı İSTAÇ A.Ş.'ye

Değerli çalışma arkadaşlarım Seyhan DALKILIÇ, Adem YILDIZ, Yücel ÇELİK ve Emre SABANCI'ya

Eğitim hayatımın tamamında yanımda olan ve bana her zaman güç veren değerli büyüklerim Halit ÖZER ve Av. Ahmet ÖZER'e

Tez çalışmalarım boyunca gösterdiği sonsuz sabır, fedakarlık ve destek için eşim Kimya Mühendisi Sevda SOFYANLI'ya

Hayatımın her aşamasında yanımda olan, beni her koşulda destekleyen başta babam Abdurrahman SOFYANLI ve kardeşim Sinan Serkan SOFYANLI olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

Şubat, 2015

Ömer Özkan SOFYANLI

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT.....	xiv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	
BETON HAKKINDA GENEL BİLGİLER	4
2.1 Beton.....	6
2.1.1 Taze Beton ve Sertleşmiş Beton.....	8
2.1.2 Taze ve Sertleşmiş Betondan Beklenen Performans	9
2.1.3 Betonun Sınıflandırılması.....	9
2.1.3.1 Birim Ağırlıklarına Göre.....	9
2.1.3.2 Basınç Dayanımlarına Göre	10
2.1.3.3 Üretildikleri Yere Göre	11
2.1.3.4 Özel Betonlar	12
2.2 Agrega.....	12
2.3 Çimento.....	15
2.4 Su	17
2.5 Beton Katkı Maddeleri.....	17
2.5.1 Kimyasal Katkı Maddeleri	18
2.5.2 Mineral Katkı Maddeleri	18
2.5.3 Puzolanik Malzemeler	18
2.5.3.1 Doğal Puzolanlar.....	19
2.5.3.2 Doğal Puzolan Katkıların Beton Özelliklerine Etkileri	20

2.5.3.3	Doğal Puzolan Katkıların Potansiyel Zararlı Etkileri	20
2.5.3.4	Uçucu Kül	20
2.5.3.5	Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu.....	21
2.5.3.6	Silis Dumanı.....	22
2.5.3.7	Silis Dumanının Fiziksel Özellikleri.....	25
2.5.3.8	Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi.....	26

BÖLÜM 3

GERİ KAZANIM HAKKINDA BİLGİLER	27
3.1 Yapısal Atıklar	27
3.1.1 Yapısal Atık Üretimi	30
3.1.2 Atık Yönetimine İlişkin Temel Esaslar	31
3.1.3 Yapısal Atıkların Çevresel Etkileri	32
3.2 Geri Kazanılmış Agregalar	32
3.3 Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Yaygınlaştırılmasındaki Engeller ..	33
3.4 Atıkların Geri Kazanılmış Agregalar Olarak Kullanılması	34
3.5 Atık Betonlar.....	36
3.6 Atık Betonların Yeni Betonda Agregalar Olarak Kullanılması	36
3.7 Geri Dönüşümün Önemi	36
3.8 Geri Kazanılmış Agregaların Elde Edildiği Yerler ve Üretimi.....	39
3.9 Geri Kazanım Tesisi Hakkında Bilgiler.....	40
3.10 Literatür Araştırması	42

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA.....	53
4.1 Üretimde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri	53
4.1.1 Agregalar	54
4.1.2 Çimento	56
4.1.3 Katkı Maddeleri.....	57
4.2 Numune Üretimi ve Kodlanması	57
4.3 Numunelerin Kürü	58
4.4 Taze Beton Deneyleri	61
4.4.1 Birim Ağırlık Deneyi.....	61
4.4.2 Çökme Deneyi	61
4.4.3 Hava İçeriği Tayini Deneyi	62
4.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri	63
4.5.1 Fiziksel Deneyler	63
4.5.1.1 Yoğunluk Tayini	63
4.5.1.2 Hacimce Su Emme Deneyi	64
4.5.1.3 Kılcal Su Emme Deneyi.....	64
4.5.1.4 Ultrases Deneyi	65
4.5.2 Mekanik Deneyler	66
4.5.2.1 Basınç Deneyi	66
4.5.2.2 Yarmada Çekme Deneyi	66

BÖLÜM 5

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	68
5.1 Agrega Özellikleri.....	68
5.2 Taze Beton Özellikleri	69
5.2.1 Taze Beton Yoğunluğu.....	69
5.2.2 Çökme.....	70
5.2.3 Hava İçeriği	70
5.3 Sertleşmiş Beton Özellikleri	71
5.3.1 Yoğunluk	71
5.3.2 Hacimce Su Emme Oranı	73
5.3.3 Kılcal Su Emme Katsayısı.....	74
5.3.4 Ultrases Geçiş Hızı	75
5.3.5 Basınç Dayanımı	77
5.3.6 Yarmada Çekme Dayanımı	78
5.3.7 Basınç Dayanımı Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi.....	80
5.3.8 Basınç Dayanımı Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi	80

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR	84

EK-A

DENEY SONUÇLARI.....	89
ÖZGEÇMİŞ	95

SİMGE LİSTESİ

A	Taze betonun hava muhtevası
D	Yoğunluk
E	Elastisite modülü
h_s	Hacimce su emme oranı
K	Kılcal su emme katsayısı
N	Doğal agrega
R	Geri kazanılmış agrega
S	Kıvam sınıfı
f_c	Basınç dayanımı
f_{cts}	Yarmada çekme dayanımı
τ	Çekip çıkarma dayanımı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society For Testing Materials
BCSJ	Bulletin of the Chemical Society of Japan
BS	British Standards
DIN	Deutsches Institut für Normung
JIS	Japanese Industrial Standards
LNEC	National Laboratory for Civil Engineering
TS	Türk Standardları

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1	Beton uygulamalarından örnekler.....	6
Şekil 2. 2	Türkiye ve Avrupa’da 2012 yılı beton üretim miktarları.....	8
Şekil 2. 3	Türkiye ve Avrupa’da 2010-2011-2012 yılları beton üretim miktarları.....	8
Şekil 2. 4	Silindir ve küp numune örnekleri	10
Şekil 2. 5	Agrega işletmelerinden örnekler.....	14
Şekil 2. 6	2013 yılı dünya çimento üretimi	16
Şekil 2. 7	Puzolanik malzemeler	19
Şekil 2. 8	Silis dumanı numunesi	24
Şekil 3. 1	Deprem sonrası oluşan atıklar.....	29
Şekil 3. 2	2011 Atık kaynakları.....	30
Şekil 3. 3	AB ülkelerinin bazılarında oluşan inşaat ve yıkıntı atığı	31
Şekil 3. 4	Geri kazanılmış agrega numuneleri	35
Şekil 3. 5	2011 ve 2012 yıllarında agrega üretim miktarlarındaki değişiklikler.....	38
Şekil 3. 6	2011 yılı üretilen agrega miktarları.....	39
Şekil 3. 7	Geri kazanım tesisi ve geri kazanım işleminin uygulama aşamaları	41
Şekil 4. 1	Karışımın granülometri eğrisi	55
Şekil 4. 2	Geri kazanılmış agregaların elenmesi	55
Şekil 4. 3	Farklı tane boyutlarında elde edilen geri kazanılmış agregalar	56
Şekil 4. 4	Kalıplardan çıkarılan numunelerin kür edilmesi.....	58
Şekil 4. 5	Deney planı	60
Şekil 4. 6	Birim ağırlık deneyi	61
Şekil 4. 7	Taze betonda çökme deneyi.....	62
Şekil 4. 8	Taze betonda hava içeriği tayini	62
Şekil 4. 9	Kapiler su emme deneyi.....	65
Şekil 4. 10	Ultrases geçiş hızı ölçüm deneyi.....	65
Şekil 4. 11	Basınç deneyi	66
Şekil 4. 12	Yarmada çekme deneyi.....	67
Şekil 5. 1	Taze beton yoğunluğu	70
Şekil 5. 2	Taze betonda hava içeriği	71
Şekil 5. 3a	Yoğunluk – ikame oranı ilişkisi (7. gün)	72
Şekil 5. 3b	Yoğunluk – ikame oranı ilişkisi (28. gün)	72
Şekil 5. 3c	Yoğunluk – ikame oranı ilişkisi (90. gün)	72
Şekil 5. 4a	Hacimce su emme – ikame oranı ilişkisi (7. gün).....	73
Şekil 5. 4b	Hacimce su emme – ikame oranı ilişkisi (28. gün).....	73
Şekil 5. 4c	Hacimce su emme – ikame oranı ilişkisi (90. gün).....	74

Şekil 5. 5a Kılcal su emme katsayısı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)	74
Şekil 5. 5b Kılcal su emme katsayısı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)	75
Şekil 5. 5c Kılcal su emme katsayısı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)	75
Şekil 5. 6a Ultrases geçiş hızı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)	76
Şekil 5. 6b Ultrases geçiş hızı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)	76
Şekil 5. 6c Ultrases geçiş hızı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)	76
Şekil 5. 7a Basınç dayanımı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)	77
Şekil 5. 7b Basınç dayanımı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)	77
Şekil 5. 7c Basınç dayanımı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)	78
Şekil 5. 8a Yarmada çekme dayanımı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)	79
Şekil 5. 8b Yarmada çekme dayanımı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)	79
Şekil 5. 8c Yarmada çekme dayanımı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)	79
Şekil 5. 9 Basınç dayanımı – yarmada çekme dayanımı ilişkisi	80
Şekil 5. 10 Basınç dayanımı – ultrases geçiş hızı ilişkisi	81



ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2. 1	Normal ve ağır betonlar için basınç dayanım sınıfları 11
Çizelge 2. 2	Silis dumanı minerallerinin yüzey özellikleri 26
Çizelge 2. 3	Silis dumanının kimyasal bileşimi 26
Çizelge 4. 1	Agregaların elek analizi değerleri 54
Çizelge 4. 2	Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri 56
Çizelge 4. 3	Silis dumanının ve kimyasal katkının teknik özellikleri 57
Çizelge 4. 4	Numune kodları..... 59
Çizelge 4. 5	1 m ³ Taze beton için gerçek malzeme miktarları 59
Çizelge 4. 6	Taze beton özellikleri..... 63
Çizelge 5. 1	Agregaların fiziksel özellikleri..... 68
Çizelge 5. 2	Agregalarda yapılan L.A. ve su emme deney sonuçları..... 69
Çizelge A.1	Yoğunluk (D, kg/m ³) ve değişim oranları..... 89
Çizelge A.2	Hacimce su emme oranı (h _s , %) ve değişim oranları 89
Çizelge A.3	Kılcal su emme katsayısı (K, cm ² /sn) ve değişim oranları 90
Çizelge A.4	Ultrases geçiş hızı (V, m/sn) ve değişim oranları 90
Çizelge A.5	Basınç dayanımı (f _c , MPa) ve değişim oranları 90
Çizelge A.6	Yarmada çekme dayanımı (f _{ct} , MPa) ve değişim oranları 91
Çizelge A.7	28. günde beton sınıfları..... 91
Çizelge A.8	Basınç dayanımı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri 92
Çizelge A.9	Yarma dayanımı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri 92
Çizelge A.10	Hacimce su emme ortalama değerleri ve standart sapma değerleri 93
Çizelge A.11	Kılcal su emme ortalama değerleri ve standart sapma değerleri..... 93
Çizelge A.12	Ultrases geçiş hızı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri 94

**SİLİS DUMANI KATKILI GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI
BETONLARIN ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Ömer Özkan SOFYANLI

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR

Doğal kaynaklar, bilinçsiz kullanım, tüketim alışkanlıklarının değişmesi ve dünya genelindeki nüfus artışı gibi nedenlerle her geçen gün azalmaktadır. Sınırlı olan doğal kaynaklar, doğru yöntemlerin uygulanamaması ve geri dönüşümün sağlanamaması durumunda tükenmeyle karşı karşıya kalacaktır. Kaynakların her geçen gün azalması ve ihtiyaçların artması nedeniyle geri dönüşüm çok önemli bir konu haline almaktadır. Atıkların doğaya karışması hava kirliliği, yer altı suyu kirliliği ve arazi kirliliği gibi önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu atıkların geri kazanımı çevreye vereceği zararları azaltacağı gibi doğal kaynakların kullanımını da önemli ölçüde azaltacaktır. Bu nedenle oluşan atıkların mümkün olan en fazla oranlarda geri kazanılarak tekrar kullanılmaları büyük önem taşımaktadır.

Geri dönüşüm; mevcut doğal kaynakların kullanımını en aza indirerek, atık olarak nitelendirilen ürünlerin tekrar kullanılmasının sağlanmasıdır. Geri dönüşümün geliştirilip uygulanabilmesi ile doğal kaynakların korunması, çevresel atıkların azaltılması ve ekonomik avantajlar sağlanabilecektir. Geri dönüşüm sürdürülebilir kalkınmanın gereklerindendir. Doğal kaynakların hızlı kullanımı geri kazanımı zorunlu hale getirmiştir. İnşaat sektöründe geri kazanılmış agregaların beton içinde tekrar kullanılması hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamaktadır. Dünyada geri kazanımlı agrega kullanımını yaygınlaştırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Gelişmiş ülkelerde çok sayıda atık geri kazanım tesisleri kurulmuştur.

Ülkemizde doğal kaynakların sınırlı oluşuyla birlikte hızla tükenmesi, aşırı ve çarpık kentleşme betonun ana bileşenlerinden olan agreganın temin edilmesinde çeşitli zorluklara neden olmaktadır. Ülkemizdeki yapıların geneli incelendiğinde depreme dayanıklı yapı oranının az olduğu görülmektedir. Bu nedenle son dönemlerde büyük ölçekli kentsel dönüşüm projeleri hayata geçirilmiştir ve yeni dönüşüm projeleri yürürlüğe konulmuştur. Söz konusu projelerde oluşan yıkıntı atıklarının geri kazanılarak tekrar beton içinde kullanılmaları hem bu atıkların doğaya karışmalarına engel olacak hem de doğal kaynakların daha az kullanılmalarına olanak sağlayacaktır.

Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada atık haldeki agrega geri kazanılarak doğal agrega ile beton içinde %0 ve %100 oranlarında yer değiştirilmiş, hazırlanan beton numunelerde 7. 28. ve 90. günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Beton üretiminde ayrıca mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5 ve %10 oranlarında kullanılmıştır. Doğal agregalar kullanılarak su/çimento oranı 0,50 olan, 380 dozlu, XS1 etki sınıfında hedef dayanımı C30/37 betonu üretilmiş, geri kazanılmış agregalar ise önce çeneli kırıcı ile kırılıp daha sonra suya doyurularak doğal agregalı beton serisi ile aynı granülometri ve işlenebilmeye sahip geri kazanılmış agregalı beton serileri üretilmiştir.

Beton numune üretiminden önce kullanılacak olan agregalarda birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme, granülometri ve Los Angeles aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Doğal agrega ve geri kazanılmış agrega ile üretilen aynı karışım oranlarına sahip betonların karşılaştırılması, taze betonda birim ağırlık, işlenebilme (çökme) ve hava içeriği deneyleri ile sertleşmiş betonda birim ağırlık, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, ultrases, kılcal su emme, hacimce su emme deneyleri ile araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, sürdürülebilirlik, geri kazanılmış agrega, geri kazanılmış agregalı betonun fiziksel ve mekanik özellikleri

ABSTRACT

INVESTIGATION OF SILICA FUME ON MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATES CONCRETE

Ömer Özkan SOFYANLI

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assist. Prof. Dr. Özgür ÇAKIR

Natural resources is decreasing day by day due to the rapid population growth resulting in change in consumption habits which comes unconsciously. Existing limited natural resources are in danger of running out in case recycling can not be achieved and the associated methods are not applied properly. The fact that the needs are increasing each passing day while the natural resources are running out has turned the recycling issue into a very significant topic. Pollutant effluents cause serious environmental problems as air, water and soil pollution. Recycling of these wastes will both reduce the environmental damage and decrease the use of natural resources. Thus, it is essential to recycle the generated effluents as much as possible.

Recycling means providing the waste materials -named as pollutant effluents to be reused. With the implementation and improvement in recycling, it would be possible to preserve the natural resources, decrease the pollutant effluents and achieve financial advantages. Recycling is a necessity for sustainable development. The rapid consumption of natural resources has necessitated the recycling. In the construction sector, the idea of reuse of recycled aggregate in concrete production is beneficial in terms of both environmental and financial aspect. Researches are conducted to extend the use of recycled aggregate throughout the world. A great number of recycling facilities have been established in developed countries.

In our country, the aggregate, which is one of the main components of concrete, is in short supply due to the rapid consumption of existing limited natural resources and urban sprawl. It is observed that the general layout of buildings is in poor condition in our country in terms of earthquake resistance. This is the reason why a great number of big scale urban transformation projects have been conducted in recent years. The reuse of construction wastes provides both the wastes to less damage the nature and decrease the use of natural resources.

In this study, in which the usability of recycled aggregate in the production of concrete has been investigated, natural coarse aggregate used in the production of conventional concrete is replaced with the recycled aggregate, at the rates of 0% and 100%. The physical and mechanical tests were performed on obtained concrete specimens at 7th, 28th, and 90th days. The silica fume was used as mineral additive at the rates of %0, %5 and %10. The concrete with natural aggregate was produced with water/cement ratio 0.50, 380 dosage, C30/37 target strength according to XS1 exposure class. As to the recycled aggregate, the conventional concrete was crushed with a jaw crusher, then waterlogged, and finally, recycled concrete series were achieved with the same gradation and workability of natural aggregate concrete.

Before the production of recycled concrete; unit weight, specific gravity, water absorption, Los Angeles abrasion tests were performed on the recycled aggregate. Having the same mixture ratios, the comparing process of the concrete produced by natural aggregate with the concrete produced by recycled aggregate, was examined by the tests of: unit weight, workability (slump), air content and slump loss in fresh concrete and saturated bulk density, compressive strength, splitting tensile strength, modulus of elasticity, ultrasonic pulse velocity, capillary water absorption and absorption water by volume in hardened concrete and pull-extraction strength for reinforced concrete.

Keywords: Concrete, sustainability, recycled aggregate, physical and mechanical properties of recycled aggregate concrete

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yüksek binalar, yollar, köprüler, metrolar, kanallar gibi her türlü inşaat faaliyetleri ekosistemi belli oranda etkilemektedir. Bu yapıların inşası ve sonrasında toprak, su ve hava ortamlarının özellikleri etkilenmektedir. Bu nedenle bu tür projeler hayata geçirilmeden önce ekosistem üzerinde oluşturabileceği etkiler kapsamlı olarak değerlendirilmelidir.

Beton günümüzde en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Kentleşme, dünya nüfusunun son yüzyılda hızlı artış göstermesi ve artışa devam edecek olması, insan hayatının birçok bölümünde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden betonun ve beton bileşimindeki malzemelerin önemini bir kez daha ortaya koymaktadır.

Doğal kaynaklarımız, dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün hızla azalmaktadır. Bu nedenle üretimde kullanılan ham malzeme miktarını azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların verimli kullanılması zorunluluğu doğmuştur. Geri dönüşümün bir diğer faydası da ekonomik getirisidir. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomi üzerinde olumlu etki yapacaktır.

1.1 Literatür Özeti

Doğal kaynaklarımız, dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeniyle günden güne azalmaktadır. Kaynakların sınırlı olduğu, tüketimin hızla arttığı dünyamızda son yıllarda enerji tasarrufu ve çevreyi korumaya yönelik olarak geliştirilen 'sürdürülebilirlik kavramı' büyük önem arz etmektedir. Hiç şüphesiz bu kavrama ulaşmanın yollarından birisi de geri dönüşümdür. Çok çeşitli atık malzemelerde geri

dönüşüm yapılmakta, atıklar bir hammadde gibi kullanılarak yeni bir maddeye dönüştürülmektedir. Kaynak israfını önlemenin yanında, hayat standartlarını yükseltme çabaları ve ortaya çıkan enerji krizi gibi nedenlerden dolayı gelişmiş ülkeler atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanılması için yöntemler geliştirmişlerdir.

Doğal kaynakların hızlı kullanımı, geri kazanımı zorunlu hale getirmiştir. İnşaat sektöründe geri kazanılmış agregaların beton içinde tekrar kullanılması hem çevresel hem de ekonomik faydalar sağlamaktadır. Dünyada geri kazanılmış agrega kullanımını yaygınlaştırmak için çalışmalar yapılmaktadır. Bu amaçla gelişmiş ülkelerde çok sayıda geri kazanım tesisi kurulmuştur. Beton üretiminde %70-75 oranında kullanılan malzemenin agrega olmasından dolayı betona duyulan ihtiyacın, bileşimini büyük miktarda oluşturan agrega kaynaklarında yeni arayışlar üzerinde çalışmalar yapılmasına neden olmuştur. Bu çalışmaların başında ise katı atıklarından elde edilen geri kazanılmış agreganın beton üretiminde kullanılması gelmektedir. Bu konu hakkında birçok araştırmacı çalışmalar yapmakta ve geri kazanılmış agreganın betonun fiziksel, mekanik ve dayanıklılık özelliklerini hangi yönde etkilediğini araştırmaktadır.

1.2 Tezin Amacı

Bir yanda tükenen doğal agrega kaynakları, diğer yanda ise deprem, yangın, bozulma, restorasyon ve kentsel dönüşüm gibi nedenlerle oluşan yıkıntı atıklarının atılacağı alanların azlığı ve çevreye verdiği zararlar, insanları geri kazanılmış agrega konusu üzerinde yoğunlaşmaya sevk etmiştir. Geri kazanılmış agrega ile ilgili çalışmalar tüm dünyada olduğu gibi Türkiye’de de oldukça önemlidir. Birçok ülkede yapılan deneysel araştırmalar sonucunda beton agregası ile ilgili standartlarda geri kazanılmış agreganın kullanımı hakkında bilgilere yer vermeye başlanmıştır. Bu tez kapsamında yapılan deneysel çalışmanın amacı katı atıklarından elde edilen agrega ve silis dumanı mineral katkısı ile üretilen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini aynı karışım özelliklerine sahip doğal agregalı geleneksel beton ile karşılaştırıp, silis dumanı katkılı geri kazanılmış agreganın betonun özelliklerine etkisinin incelenmesidir.

1.3 Hipotez

Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu deneysel çalışma kapsamında, doğal agrega kullanılarak geleneksel beton üretilmiş, geri kazanılmış agrega %0, %100 oranlarında doğal agregayla yer değiştirilerek geri

kazanılmış agregalı beton serileri üretilmiştir. Beton üretiminde ayrıca mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5, %10 oranlarında çimento ile yer değiştirilerek beton serileri üretilmiştir. Üretilen betonlarda 7., 28. ve 90. günlerde fiziksel ve mekanik deneyler gerçekleştirilerek, geri kazanılmış agreganın beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Deneysel çalışma sonucunda; geri kazanılmış agreganın karışım esnasında agreganın su emme miktarının yüksek olması betonu olumsuz etkilemektedir. Bu etkileri azaltmak için geri kazanılmış agregaya kullanılmadan önce laboratuvar ortamında 24 saat su içerisinde bekletilip suya doygun yüzey kuru duruma getirilmiştir. Geri kazanılmış agreganın su emme oranı ve Los Angeles aşınma değeri, aynı granülometriye sahip doğal agregaya göre çok daha yüksek olduğu görülmüştür. Beton üretiminde geri kazanılmış agreganın kullanımı arttıkça betonun kılcal su emme katsayısı ve hacimce su emme oranının arttığı görülmüştür. Geri kazanılmış iri ve ince agreganın kullanımının betonun basınç dayanımını çok fazla olumsuz etkilemediği görülmüştür. Doğal agregaya ile üretilmiş geleneksel betonun, dayanım sınıfı C30/37 olarak belirlenmiş ve aynı karışıma sahip ve agregası geri kazanılmış olarak üretilen beton serilerinin dayanım sınıfına (C30/37) eşit olduğu görülmüştür. Bu bağlamda basınç dayanımı dikkate alındığında doğal agregaya yerine geri kazanılmış agregaya kullanılabileceği görülmektedir.

Bu deneysel çalışmada elde edilen bulguların beton ve betonarme numunelerde yapılacak içyapı ve dayanıklılık deneyleri ile desteklenmesi, ülkemizde de geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılmasını yaygınlaştıracaktır.

BÖLÜM 2

BETON HAKKINDA GENEL BİLGİLER

İnsanoğlu; var oluşundan bu yana doğa olaylarından ve tehlikelerden korunmak ve hayatını sürdürebilmek için güvenli bir barınağa gereksinim duymuştur. İlk çağlarda malzemeler doğada bulunduğu şekliyle kullanılmaktaydı. Daha sonraki süreçte, malzeme bilimine paralel olarak insanlardaki düşünce ve becerilerin gelişimi ile doğadaki malzemeler işlenip şekillenerek kullanılmaya başlandı [1].

Eski çağlardan beri insanlar basınç mukavemeti çok yüksek olan taşlardan yararlanmışlardır. Bağlayıcı olarak ise kil, kireç ve alçı kullanmışlardır. Ancak gerek taşların gerekse bağlayıcıların çekme mukavemetlerinin çok düşük olması bunlardan eğilmeye dayanıklı bir taşıyıcı olarak faydalanılmasını güçleştirmiştir. Beton yaklaşık olarak değişik şekillerde ve genel manada 5000 yıldan beri kullanılmaktadır. Eski Mısırlılar kil harcını piramitlerin yapımında kullanmışlardı. Günümüzde ise bağlayıcı olarak çimento, agrega, su ve katkı malzemelerinin teknolojik aletlerle karıştırılmasıyla oluşturulan beton malzemesi kullanılmaktadır [2].

Beton eski medeniyetlerin günümüze kadar gelebilen eserlerinde önemli bir yere sahiptir. Günümüzde çok geniş bir kullanım alanına sahip olan beton, sudan sonra en çok tüketilen malzeme haline gelmiştir. Beton ekonomik, güvenli, dayanıklı ve çok fazla bakım gerektirmeyen en önemli yapı malzemesidir. Beton ülkemizde konut tercihinde %99'dan fazla, oldukça yüksek bir yüzde ile tercih edilmektedir. Beton ayrıca alt yapı yatırımlarının vazgeçilmez bir yapı malzemesidir. Barajlar, tüneller, tren yolları, viyadükler, köprüler, yollar, bariyerler vb. beton ile birlikte yapılabilmektedir [3].

Beton, uzun yıllardan beri en önemli yapı malzemesi olma özelliğini korumuştur. Güncelliğini kaybetmeyen beton, bütün inşaatlarda az veya çok kullanılmaktadır. Bu inşaatlar arasında; yollar, sulama kanal kaplamaları, köprüler, barajlar ve konutlar sayılabilir. Betonun tercih sebepleri; şekil verebilme kolaylığı, fiziksel ve kimyasal dış etkilere dayanıklılığı, ekonomik oluşu, kullanım ve üretimindeki pratikliğidir. Betonun ilk bulunuş tarihi kesin olarak bilinmemekle beraber beton teknolojisinin tarihi yaklaşık 1845 yılına kadar gitmektedir. İlk betonarme yapının 1852 yılında yapıldığı bilinmektedir. İlk beton şartnamesi ABD’de 1904 ve Almanya’da 1906 yılında hazırlanmıştır. Türkiye’de ilk betonarme yapı 1920 yılında inşa edilmiştir. Yapılan araştırmalara göre, 1920-1940 yılları arasında Avrupa’nın beton şartnamelerini geliştirdiği görülmüştür. Beton malzeme üzerine en ayrıntılı araştırmalar ve karışım hesapları için esasların geliştirilmesi, 1950-1960 yılları arasına rastlamaktadır. Daha sonraki yıllarda, betonun uzun süredeki davranışı, döküm tekniği, donanım kalitesinin devamlılığı, kalite kontrol deneyleri, betonda ekonomikliği artırma, daha zor şartlarda beton yapıların inşası, yeni malzemeler, katkı maddeleri konularında büyük gelişmeler olmuştur. Son yıllarda kimyasal katkı maddesindeki gelişmeler, puzolanik katkı maddelerinin önemi anlaşılarak beton üretiminde kullanılması, lif ve taze betona vakum uygulayarak betonun mekanik ve fiziksel özellikleri oldukça geliştirilmiştir [1].

Türkiye’de inşaat sektörünün ülke ekonomisinin içindeki yeri oldukça önemlidir. Ülkemizde inşaat sektörünün GSYH içindeki payının son 5 yıllık gelişimi incelendiğinde %5.8-6.5 arasında değiştiği görülmektedir. 2010 yılında inşaat sektöründe gerçekleşen %17’lik büyüme ile %5.6’ya kadar yükselmiştir [3].

Türkiye’de yıllara göre beton üretimi her yıl yükselen bir ivme ile artmaktadır. Türkiye Hazır Beton Birliği’nin kurulduğu 1988 yılında üretim henüz 1.5 milyon m³ iken günümüzde bu rakam 100 milyon m³’e ulaşmıştır. Hazır beton sektörü yaklaşık olarak 70 kat büyümüştür [3].

Hazır beton üretiminin son yıllarda artmasının nedenleri:

- Son yıllarda inşaat sektöründe yaşanan büyüme ve konut talebinin artması
- Türkiye’de en çok betonarme yapıların tercih edilmesi
- Hazır betonun ucuz, ekonomik oluşu ve kullanım kolaylığı [3].



Şekil 2.1 Beton uygulamalarından örnekler

2.1 Beton

Beton; çimento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidrasyonu sebebiyle katılaşp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir [4].

Beton üç malzemenin kumun, çakılın veya kırma taşın ve çimentonun bir araya gelmesi ile meydana gelen bir yapı malzemesidir. Burada çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompazitesini artırır. Çakıl veya kırma taş taneleri betonun bir nevi iskeletini oluşturur. Böylelikle asıl bunlar malzemenin maruz kaldığı kuvvetlere karşı koyarlar [5].

İyi bir beton; taze halde iken kolay işlenebilmeli, yerleştirilebilmeli, sıkıştırılabilmeli ve bu işlemler sonrasında ayrışmamalıdır. Sertleşmiş halde ise betonun mekanik mukavemeti, yeterince yüksek ve dayanıklı olmalıdır. Yani hava etkisine, kimyasal etkilere ve aşınma etkisine karşı dayanmalıdır. Ayrıca ekonomik olmalı; yani malzeme, üretim, döküm, kaplama, bakım masrafları az olmalıdır. Bu özellikler ise malzeme cinsi

ve karışım oranları iyi seçilerek, beton harmanının hazırlanması, yerleştirilmesi ve sıkılanmasında uygun yöntemler ve güvenilir araçlar kullanılarak ve beton uygun koşullarda saklanarak sağlanabilir [4].

Betonun diğer bir çok yapı malzemesine göre yaygın olarak kullanılmasının nedenleri şu şekilde sıralanabilir:

- Daha kolay şekil verilebilir olması,
- Ekonomik olması,
- Daha az enerji ile üretiminin yapılabilmesi,
- Her yerde üretilebilir olması [6].

Betonla yapılan herhangi bir yapının uzun ömürlü olmasının istendiği aşikar bir durumdur. Bu koşul beton mukavemetinin ortamın muhtelif zararlı etkileri ile, zamanla kaybolmaması ile sağlanır. Betonun zararlı etkilere dayanıklı olabilmesi için aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

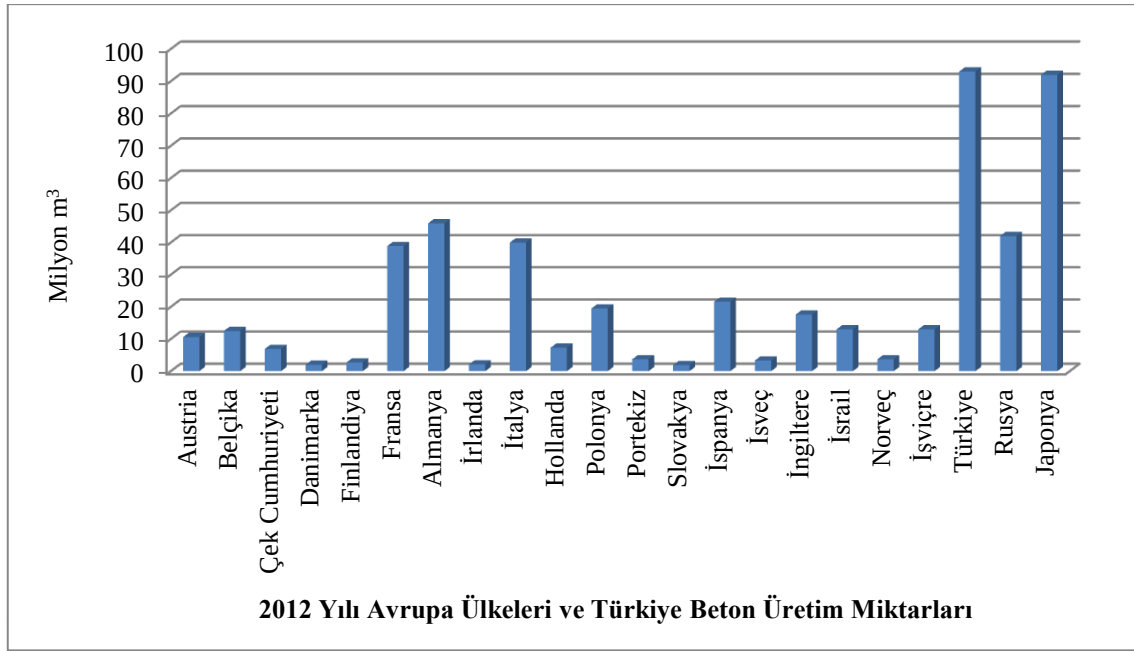
- Ortam koşullarına dayanacak uygun bir çimento seçilmesi veya bu bakımdan gerekli bazı önlemlerin alınması.
- Çimento dozajının belli bir değerden küçük olmaması.
- Betonun kabil olduğu kadar az geçirimli olması.

Betonun az geçirimli olması için şu özellikler sağlanmalıdır:

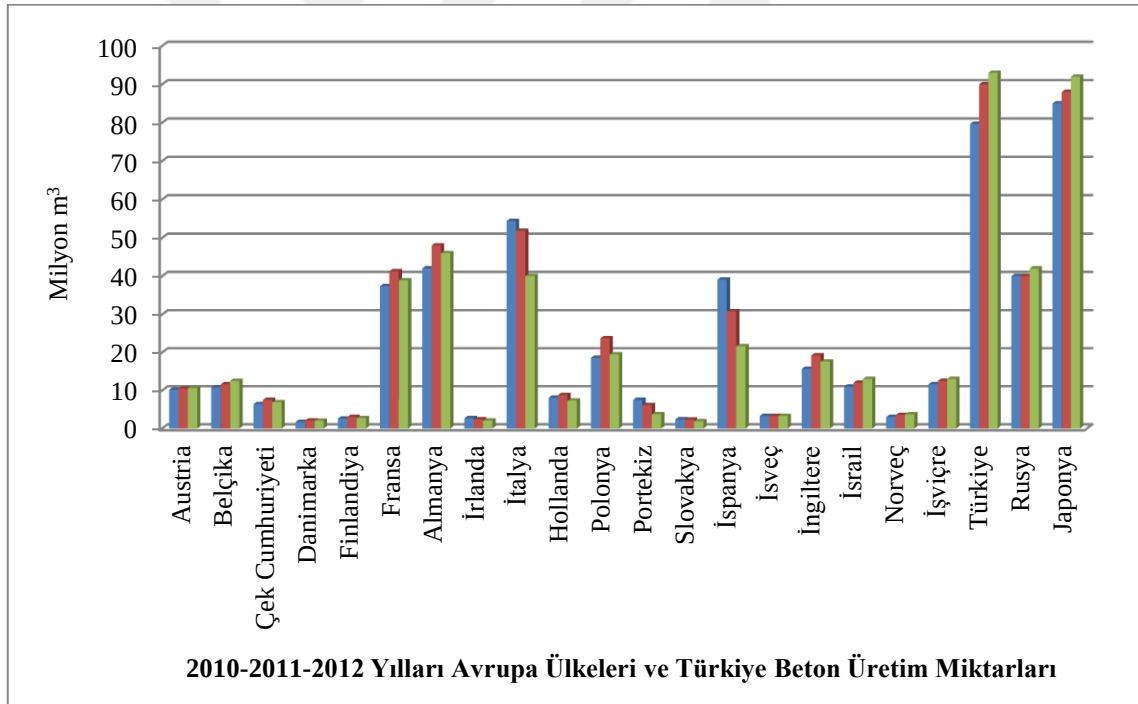
- Rötire az olmalıdır. Bunun için çimento dozajı belli bir değerden fazla olmamalıdır.
- Su miktarı fazla olmamalıdır. Zira geçirimsizlik karma suyu miktarı ile birlikte artar.
- Betonun kompaktitesi yüksek olmalıdır [5].

Betonun sahip olması istenilen özellikler; durabilite, dayanım, geçirimsizlik, işlenebilirlik, boyutsal stabilite, iyi görünüş ve ekonomikliktir [7].

Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te son yıllarda Türkiye ve başlıca Avrupa ülkelerinde üretilen betonların miktarları hakkında bilgiler sunulmuştur. Şekillerden de incelenebileceği üzere Avrupa ülkelerinde beton üretim miktarları yıllara göre artışlar ve azalışlar gösterebiliyorken, ülkemizde beton üretim miktarları yıllara göre sürekli artış göstermektedir.



Şekil 2.2 Türkiye ve Avrupa’da 2012 yılı beton üretim miktarları [8].



Şekil 2.3 Türkiye ve Avrupa’da 2010-2011-2012 yılları beton üretim miktarları [8].

2.1.1 Taze Beton ve Sertleşmiş Beton

Taze beton tamamen karıştırılmış ve henüz plastik kıvamda, seçilen bir metotla yerleştirilmeye hazır olan betondur. Sertleşmiş beton, katılaşarak belli bir dayanıma ulaşmış olan betondur [9].

2.1.2 Taze ve Sertleşmiş Betondan Beklenen Performans

Taze beton, kolayca karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır; bu işlemler sırasında iri agregalar ile çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır. Sertleşmiş betondan beklenen başlıca özellikler şu şekilde belirtilebilir. Sertleşmiş beton,

- 7 günlük, 28 günlük, 90 günlük gibi herhangi bir yaş için hedeflenmiş olan minimum beton dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir.
- Çevredeki suyun ve diğer sıvıların betonun içerisine kolayca girerek olumsuz etki yaratmaması için, yeterince geçirimsiz olmalıdır.
- Yapıda hizmet verdiği süre içerisinde çevrede oluşan yıpratıcı etkiler karşısında dayanıklı olmalıdır.
- Yeterli hacim sabitliğine sahip olmalıdır; yani, çatlamalara yol açacak ölçüde büzülme (rötre) veya genleşme göstermemelidir [10].

2.1.3 Betonun Sınıflandırılması

Betonlar yoğunluklarına, basınç dayanımlarına ve üretim yerlerine göre gruplandırılırlar.

2.1.3.1 Birim Ağırlıklarına Göre;

Hafif beton: Birim hacim ağırlığı (yoğunluğu), $0.70 - 2.00 \text{ kg/dm}^3$ arasında olan betonlara hafif beton denir. Genellikle bu betonlar, atık değerlendirmek veya yapı elemanında ses, ısı ve hafiflik özelliklerinin arandığı durumlarda yapılan betonlardır. Hafif beton kullanılmasıyla yapı elemanının ses, ısı ve ölü (öz ağırlık) yükün azalması önemli ölçüde yararlar sağlamaktadır. Yapı elemanının öz ağırlığının azalmasıyla, kesitlerdeki küçülme nedeniyle hacim genişlemesi ve donatı ekonomisi sağlanacaktır. Yangına ve donma-çözölmeye karşı dayanımı daha fazladır. Çünkü beton içindeki birbirinden bağımsız boşluklar su ile tamamen dolmadığından, dondan dolayı meydana gelecek içsel gerilmeden çok az etkilenecektir [4].

Normal beton: Genellikle yoğun beton agregası ile üretilen, etüv kurusu yoğunluğu $2.0-2.6 \text{ kg/dm}^3$ arasında değişen betondur. Betonun yoğunlukları, genellikle betonda kullanılan agreganın çeşidine, orjinine, granölometrik yapısına bağlı olarak

değişebilmektedir. Bu betonlar önemli bir ayrıcalık özelliği istenmeyen bina inşaatlarında kullanılmaktadır. Maliyetinin ucuzluğu, yüksek dayanımı, kolay işlenebilme özelliklerinden dolayı diğer yapı malzemelerine göre daha fazla kullanılmaktadır. Ancak bu betonla inşa edilen yapı elemanlarının yoğunluklarının fazla olması istenmeyen bir durumdur. Normal betonla üretilen elemanlar, kendi öz ağırlıklarını taşıyabilmeleri için oldukça fazla enerjiye ihtiyaç duymaktadır [1].

Ağır beton: Ağır betonlar özellikle zararlı ışınlar karşı bir perde oluşturmak amacıyla kullanılan, birim ağırlıkları $2.80 - 5.00 \text{ kg/dm}^3$ arasında olan betonlardır. Kullanım yerleri arasında nükleer reaktörler yani atom santralleri, hastanelerin ışın tedavisi yapılan bölümleri gösterilebilir. Ağır betonların agregaları ağırdır. Bu agregalar barit (baryum sülfat), limonit, magnetit vb. demirli minerallerdir. Yoğunlukları, 3.20 kg/dm^3 'ün üstündedir. Bunlarla üretilen betonların yoğunlukları, 2.80 kg/dm^3 'ten yüksek olmaktadır. Ağır agregalar, mukavemet yönünden normal agregalara eşdeğerdir. Ancak aşınımları biraz fazladır [4].

2.1.3.2 Basınç Dayanımlarına Göre;

Betonun basınç dayanımına göre sınıflandırılmasında, normal beton ve ağır betonlar için Çizelge 2.1'de verilen sınıflar uygulanır. Sınıflandırmada Şekil 2.4'te gösterilen çapı 150 mm ve yüksekliği 300 mm olan silindir şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı veya kenar uzunluğu 150 mm olan küp şekilli numunenin 28 günlük karakteristik basınç dayanımı kullanılır.



Şekil 2.4 Silindir ve küp numune örnekleri

Çizelge 2.1 Normal ve ağır betonlar için basınç dayanım sınıfları [11].

Basınç Dayanım Sınıfı	En Düşük Karakteristik Silindir Dayanımı (N/mm ²)	En Düşük Karakteristik Küp Dayanımı (N/mm ²)
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

2.1.3.3 Üretildikleri Yere Göre;

Şantiye Betonu: Beton bileşenlerinin şantiyede karıştırılması sonucu elde edilen ve şantiyenin ihtiyacına yönelik üretilen betona şantiye betonu denir. Bu betonlar şantiyede küçük tadilat amaçlı betonların kürek ile karıştırılması, betoniyele üretim ve şantiyedeki beton santralinde üretilen betonlardır. Beton bileşenlerinin şantiyede karıştırılması sonucu elde edilen betonlardır [1].

Beton Santrali Betonu: Beton şantiyede harmanlanıp karıştırılmak yerine beton santralinden yerleştirme mahalline hazır olarak teslim edilirse, buna önceden karıştırılmış beton veya hazır beton denir [4].

Dünyada santral betonu (hazır beton) 1903 yılında kullanılmaya başlanır iken Türkiye’de 1970 yıllarının sonlarına doğru faaliyet göstermeye başlamıştır. 1980’li yıllarda hazır beton tüketimi hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Bu yaygınlaşma Marmara depremi ile daha da artmıştır [1].

Hazır betonun transmikser ile karıştırılması uzun taşıma mesafesi için ideal olup, gecikmelerden daha az etkilenir. Bununla birlikte transmikserin kapasitesi, önceden karıştırılmış beton taşıyan kamyonun kapasitesinden daha azdır. Transit karıştırmada su, karıştırmanın başlamasından hemen önce miksera ilave edilmelidir [4].

Avantajları şöyle sıralanabilir: Sertleşmiş beton özelliklerinin değişkenliği azalır. Beton santralinin ve agrega depolarının kurulmasına elverişli olmayan kalabalık yerleşim bölgesi ve şehirlerarası yollardaki şantiyelerde kullanımda kolaylık sağlar. Betonun kıvamı korunabilir. Küçük hacimli beton üretimi ve sürekli olmayan beton yerleştirilmesi için pratiktir [1].

2.1.3.4 Özel Betonlar;

Özel betonlar, geleneksel betondan farklı olarak, betonun kullanım amacı, betonun kullanım yerinin özelliği veya konumu, betonun zayıf olan özelliğinin güçlendirilmesi, hidratasyon ısısı gibi öncelikli durumlara göre üretilen betonlardır. Günümüzde kendiliğinden yerleşen betonlar (KYB) özel tip betonlar sınıfında sayılabilir [1].

2.2 Agregası

Agregası, konut, sanayi tesisleri, hastane gibi her türlü bina inşaatını; yol, köprü, su yapıları, boru hattı gibi altyapı faaliyetlerini kapsayan geniş bir faaliyet alanına sahip olan inşaat sektörünün bir parçası olan beton imalatının ve asfalt üretiminin en önemli hammaddesidir. Dünyada fert başına en fazla tüketilen maddeler su ve agregasıdır. Dünya genelinde agregası üretimi % 58'lik payla tüm maden üretimi içinde birinci sıradadır. 2000 yılı istatistiksel verilere göre 92 milyar €'luk pazar değeri ile petrol, doğalgaz ve kömürden sonra dördüncü sırada yer alıp 24 milyar € değerindeki altın sektöründen çok daha büyüktür. Avrupa'da ortalama agregası kullanımı 7.0 ton/kişi iken, bu rakam ülkemizde 4.0 ton/kişi civarındadır [12].

Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme yardımıyla biraraya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm'yi (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi) geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerin oluşturduğu bir yığındır. Beton yapımında kullanılan çeşitli agregalardan bazı örnekler şunlardır: kum, çakıl, kırmataş [13].

Bir bağlayıcı madde yalnız kum ile birlikte kullanılırsa harç elde edilir. Çimentoyu aynı zamanda hem ince agregâ hem iri agregâ ile birlikte kullanmakla beton üretilir. Bu şekilde elde edilen malzemenin bir çok önemli özellikleri üretimde kullanılan agregânın karakteristiklerine geniş ölçüde bağılı bulunmaktadır. Diğer bir deyişle beton özelliklerinin istenilen değerleri alabilmesi bu malzemenin üretimde kullanılan agregâ karakteristiklerinin bazı koşulları yerine getirmesi ile kalabilir. Beton toplam hacminin ortalama olarak %75'inin agregâ taneleri tarafından işgal edildiğı göz önünde tutulursa yukarıdaki düşüncenin doğruluğı kolaylıkla kabul edilir [5].

Beton agregaları bazen 70mm'ye kadar iri taneler içerebilir. Bunlar özellikle kütle beton, baraj ve yol inşaatlarında kullanılır. Beton agregaları köşesiz ve yuvarlak olabilir. Yuvarlak iri agregalara çakıl, ince agregalara kum denir. Bazı yerlerde kum ve çakıl bulunmayabilir. Bu durumda büyük taşlar konkasörlerde kırılarak agregâ elde edilir. Elde edilen bu agregalara kırmataş denir [6].

Agregalar doğadan (akarsu yatakları, deniz kıyıları, çöl) doğrudan doğruya taneli olarak temin edilebilecekleri gibi taş ocağı işletmeciliğıyle üretilen taş bloklarının kırılıp eleme işlemleri sonucunda da elde edilebilirler. Bu şekilde üretilen malzemeye "kırmataş" denilir [14]. Agregaların taş ocağı işletmeciliğıyle üretilmesi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.

Son zamanlarda agregâ olarak doğal taş bloklarının konkasörle parçalanması sonucunda elde edilen kırmataş (mıcır) kullanımı yaygınlaşmıştır. Betonlu oluşturan malzemeler içerisinde en büyük orana (yaklaşık %75) sahip olan agregâ (kum, çakıl, kırma taş) doğal kaynakları giderek tükenen ve standartlara uygun, temiz, kaliteli örneklerinin bulunması güç bir malzeme olarak hazır beton sektöründeki stratejik önemini her geçen gün arttırmaktadır. Kırma agregaların tane şekli, kırılma özelliğı, tane dağılımı, beton içinde agregaların davranışını, doğal agregaya göre olumsuz etkiler. Bu farklılık nedeniyle agregâ taneleri birbiri üzerine kolay bir şekilde oturmadığı için işlenebilme zorlukları ortaya çıkar, ayrıca agregâ taneleri arasında istenmeyen boşluklar oluşur, bu boşluklar beton içindeki çimento hamuru ile doldurulur. Beton içindeki boşlukların az olması veya hiç olmaması için ince agregâ (kum) oranının granülometriye bağılı olarak artırılması gerekir. İstenilen işlenebilirliğı sağlamak için daha fazla su veya süper akışkanlık kazandırıcı katkı maddesi kullanılması gerekir [1].



Şekil 2.5 Agregat işletmelerinden örnekler

Küp şekline yakın kırmataş agregalarının çimento hamuru ile oluşturdukları aderans agregalara kıyasla çok daha güçlüdür. Laboratuvar araştırmaları göstermiştir ki aynı su/çimento oranına sahip, kırmataş agregasından oluşturulan betonun basınç dayanımı yuvarlak agregadan yapılan betonun basınç dayanımından daha büyüktür. Bu olgu, doğrudan doğruya köşeli agregaların çimento hamuru ile oluşturdukları güçlü “aderans bağı” ile açıklanabilir. Eğer agreganın kimyasal bileşimi, çimento hamurunun kimyasal bileşimine benzerlik gösteriyorsa mekanik aderansın yanı sıra “kimyasal aderans” da güçlü olacaktır. Örneğin kireçtaşı kırmataşı agregalarında sözü edilen kimyasal aderansın varlığı bilinmektedir. Kuşkusuz köşeli agregat kullanımında istenen işlenebilirliği sağlamak bakımından ıslatma su gereksinimi daha fazladır [14].

Çimento, agregat ve su karışımından yapılan betonun, hacim olarak yaklaşık dörtte üçü agregat tarafından oluşturulmaktadır. Agregat maliyeti normal olarak çimento maliyetinin çok altındadır. Bu nedenle agregat betonda kullanılan ve nispeten ucuz olan dolgu malzemesi olarak kabul edilir [13].

Kaliteli bir beton için agregalarda bulunması gereken özellikler şunlardır:

- Sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı.
- Çimento bileşenleriyle uyumlu olmalı.
- Donatı korozyonuna neden olabilecek bileşikler içermemeli.
- Tanelerin biçimi dokusu iyi olmalı.
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı
- Agregat içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır [1].

Betonda agreganın kullanılması sağladığı teknik özelliklerin başında, sertleşen betonun hacim değişikliğinin önlenmesi veya azaltılması, sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını artırması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını artırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı gerekli dayanımı sağlayabilmesi gelir. İçerisinde agreganın bulunan beton veya harç, sadece çimento hamurundan oluşan ve içerisinde agreganın bulunmayan bir sisteme göre çok daha az hacim değişikliği gösterir. Yani, çimento hamurunun zamanla kuruması nedeniyle yapacağı büzülme ve meydana gelebilecek çatlaklar agreganın tarafından belirli bir ölçüde engellenmiş veya sınırlandırılmış olur [13].

2.3 Çimento

Çimento, su ile karıştırıldığında hidratasyon reaksiyonları ve prosesler nedeniyle priz alan ve sertleşen bir hamur (pasta) oluşturan ve sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımını kararlılığını koruyan, inorganik ve ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır [15].

Çimento hammaddeleri kireç taşı (kalker) ve kil'dir. Kırılmış kalker, kil ve gerekiyorsa demir cevheri ve/veya kum katılarak öğütülüp toz haline getirilir. Bu malzeme 1400-1500 °C'de döner fırında pişirilir. Daha sonra klinkere %2-4 oranında alçı taşı eklenir ve klinker çok ince toz halinde öğütülerek Portland çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretiminde; klinker ve alçı taşı dışında çimento tipine göre tek veya bir kaç bir arada olmak üzere tras, yüksek fırın cürufu, kül, silis dumanı vb. katılır [6].

Bu standarta uygun çimento, CEM çimentosu diye adlandırılır. Agreganın ve su ile uygun şekilde harmanlanıp karıştırıldığında, yeterli süre işlenebilirliğini muhafaza eden belirlenmiş periyotlarda belirli dayanım seviyelerini kazanan ve uzun süre hacim sabitliği gösteren, beton veya harç üretilen çimentodur [15].

Çimentonun ana maddeleri kalker, kil, alçı taşı (%3-%6 oranında), silisli kumdur. Bunların, belli oranlarda karıştırılıp öğütülmesiyle en az sinterleşmeye kadar döner fırında pişirilmesiyle elde edilen ürüne "Çimento klinkeri" denir. Portland çimentosu klinkeri, oksitler olarak ifade edilen CaO, SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ ve az miktarda diğer maddeler içeren ham maddelerin kesin şekilde belirlenmiş karışımın sinterleşmesi ile hazırlanır [1].

CEM çimentosunun hidrolik sertleşmesi öncelikle kalsiyum silikatların hidratasyonu nedeniyledir. Diğer kimyasal bileşenler, mesela alüminatlar da sertleşme işlemine iştirak edebilirler. CEM çimentosunda oranlar EN 196-2'ye göre tayin edildiğinde, reaktif kalsiyum oksit (CaO) ve reaktif silisyumdioksit'in (SiO₂), oranlarının toplamı kütlece en az %50 olmalıdır [15].

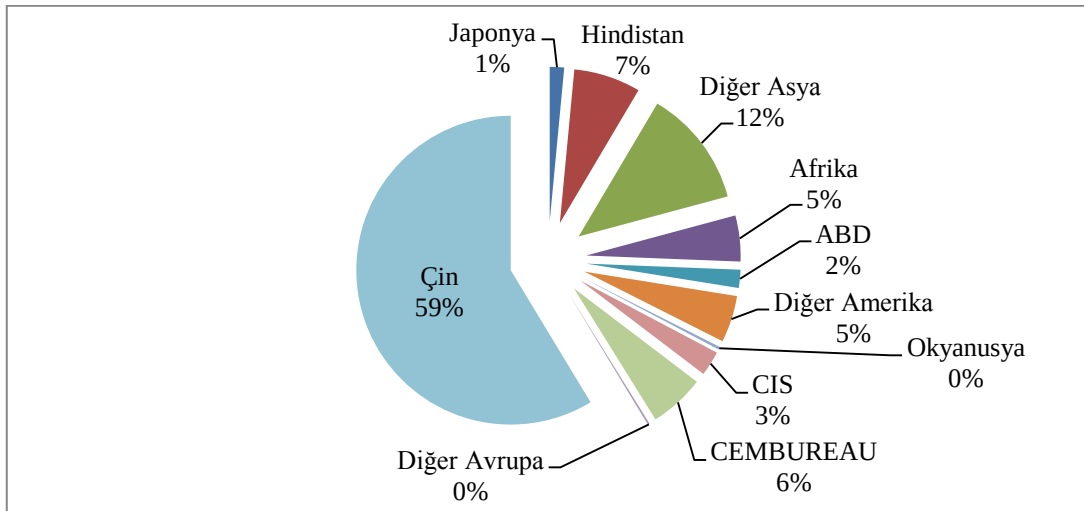
Üretilen çimentoların kullanılmadan evvel istenilen özelliklere sahip olup olmadığı anlaşılmalıdır. Bu bakımdan çimento üzerinde deneyler yapılmalı ve deneyler sonucunda bulunan sonuçların gerekli koşulları yerine getirip getirmediği kontrol edilmelidir. Çimentoda yapılan fiziksel deneyler şunlardır:

- Normal çimento hamuru için gerekli su miktarının saptanması deneyi
- Priz sürelerinin saptanması deneyi
- Çimento inceliğinin saptanması deneyi
- Hacim sabitliğinin muayenesi
- Özgül yoğunluk deneyi, birim ağırlık deneyi

Çimentoda yapılan mekanik deneyler şunlardır:

- Basınç deneylerinin yapılması
- Eğilme deneylerinin yapılması [16].

Türkiye'de 2013 yılında yapı sektörü %7.4 büyüme göstermiştir. Bunda çimento sektörünün 4 milyar dolar ciro değeri, 740 milyon dolar ihracat yapması ve 15.000 kişiye iş olanağı sağlamasıyla etkisi büyüktür. 2013 yılında 2012 yılına göre Türkiye'de çimento üretimi %10 oranında artış göstermiştir [17].



Şekil 2.6 2013 yılı dünya çimento üretimi [17].

2.4 Su

Betonda kullanılan suyun hidratasyon adı verilen kimyasal reaksiyonu başlatıp sürdürmek ve betonun işlenebilirliğini sağlamak gibi iki önemli işlevi vardır. Temiz, içilebilir, berrak ve kokusuz her su beton üretiminde kullanılabilir. Beton karma suyu asit niteliğinde olmamalıdır. Sülfat, değişik tuz vb. betona zarar verebilecek kimyasal maddeleri içermemelidir [18].

2.5 Beton Katkı Maddeleri

Beton karışımını oluşturmak üzere kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun), karılma işleminden hemen önce veya karılma işlemi esnasında beton karışımının içerisine katılan malzemeye beton katkı maddesi denilmektedir. Beton katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini değiştirerek performansını arttırabilmek ve/veya betonun daha ekonomik olmasını sağlayabilmek için kullanılmaktadır [10].

Katkı maddelerinin kullanılmasıyla, çimentoların mukavemet artışını hızlandırmak, beton üretiminde daha az su kullanarak mukavemeti arttırmak, soğuk havalarda beton dökmek, dış etkilere karşı daha dayanıklı betonlar üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilir [16].

Genel olarak katkı maddeleri beton içinde %8'lik bir hacmi işgal eder. Katkı maddelerinin, temel üretim kurallarına aykırı hazırlanan bir betonun kötü niteliklerini iyileştirmesi beklenemez. Katkı maddelerinin seçimi ve kullanılmasında bilinçli davranılması gerekir. Çünkü betonun bazı özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan bir katkı maddesi, betonun bazı özellikleri üzerinde olumsuz etki gösterebilir veya beklenen olumlu etkiyi göstermeyebilir. Bu maddelerin yerinde ve özelliğine uygun miktarda kullanılmasıyla çimentoların mukavemet artışını hızlandırmak, daha az su kullanarak mukavemeti arttırmak, soğuk havalarda beton dökmek, dış etkilere karşı daha dayanıklı beton üretmek gibi olumlu sonuçlar elde edilebilir [1].

Çimentoların veya betonların belirli bir özelliğini daha iyi bir duruma getirmek amacıyla kullanılan katkı maddeleri ile istenilen hedeflere ulaşırken diğer bazı özelliklerde iyiye doğru olmayan değişimler olabilir. Böyle bir durumun meydana gelip gelmediğini anlamak için belirli koşullar altında katkı kullanarak ve kullanmayarak çimentolar üzerinde kıvam deneyi, priz deneyi, hacim sabitliği deneyi, rötre deneyi,

hidratasyon ısısı deneyi, mukavemet deneyleri yapılmalıdır. Katkılı ve katkısız numunelerde yapılan deneylerde elde edilen sonuçlar birbiriyle karşılaştırılarak kullanılan katkı maddesinin diğer özellikler üzerinde zararlı bir etki yapıp yapmadığı anlaşılır [16].

Beton katkı maddeleri kimyasal katkı maddeleri ve mineral katkı maddeleri olmak üzere ikiye ayrılır:

2.5.1 Kimyasal Katkı Maddeleri

Beton teknolojisinde, kimyasal katkı maddeleri su içerisinde erime özelliği gösteren katkı maddeleri olarak tanımlanmaktadır. Beton karışım suyu ihtiyacını azaltan katkılar, taze betonun priz almasını geciktiren katkılar ve priz almasını hızlandıran katkılar, kimyasal katkı maddeleri olarak anılan katkı grubu içerisinde yer almaktadır [10].

Kimyasal katkı maddeleri genel olarak sıvıdır, az da olsa toz halinde bulunanlar da vardır. Sıvı katkı maddeleri, beton karışım suyuna çimentonun ağırlıkça yüzdesi olarak katılır. Halen kullanılmakta olan katkı maddelerini şu şekilde sınıflandırmak mümkündür: Priz süresini hızlandırıcı veya geciktirici, hava sürükleyici, karışım suyunu azaltıcı, priz süresini hızlandırıcı ve süper akışkanlık kazandırıcı katkılar [1].

2.5.2 Mineral Katkı Maddeleri

Beton yapımında kullanılan mineral katkı maddeleri, uçucu kül, silis dumanı, tras, granüle yüksek fırın cürufu gibi puzolanik özellikli maddelerdir. Betonda kullanılacak mineral katkı maddelerinin mutlaka çok ince taneli durumda olması gerekmektedir. Uçucu kül ve silis dumanı çok ince taneli puzolanik malzemeler olarak elde edilmektedir. Tras ve benzeri doğal puzolanları veya granüle yüksek fırın cürufunu beton katkı maddesi olarak kullanabilmek için, bu maddeler, öğütülerek çok ince taneli duruma getirilmektedirler. İnce taneli mineral katkılar, betonun işlenebilmesini, dayanımını, dayanıklılığını ve ekonomikliğini arttırmak amacıyla kullanılmaktadır [10].

2.5.3 Puzolanik Malzemeler

Puzolanik malzemeler kendi başlarına bağlayıcılık özellikleri bulunmayan, ancak ince öğütülmüş halde kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcılık özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli alüminli malzemelerdir. Bims, çeşitli volkanik küller ve tüfler doğal puzolanlardır. Uçucu küller, silis dumanı ve cüruf ise

yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir (Şekil 2.7). Puzolanik malzemelerin betonda kullanımı esas itibarıyla çimentonun hidratasyonu sonucunda önemli miktarda ortaya çıkan kalsiyum hidroksitin bu malzemelerle reaksiyona girerek daha fazla miktarda bağlayıcı özellik gösteren bileşenler oluşturması temeline dayanır.



Şekil 2.7 Puzolanik malzemeler

Puzolanlar iki genel gruba ayrılmaktadır:

Doğal Puzolanlar, doğada bulunan volkanik küller, volkanik tüfler, volkanik camlar, ısıtılmış görmüş killeri ve şeyler ve diatomlu topraklar bu grup içerisindeki puzolanlardır.

Yapay Puzolanlar, endüstriyel yan ürünlerdir. Uçucu küller, silis dumanı ve granüle yüksek fırın cürufu yapay puzolanlardır [10].

2.5.3.1 Doğal Puzolanlar

Doğal puzolanlar; payroklastik kayalar (volkan tüfleri, diatomit, tras, killi maddeler ve zeolitli maddeler vb.) değişik orjinli maddeler (beyaz İtalyan toprakları) ve ırıntılı taşlar (organik orjinli maddeler ve basit tortul maddeler) olarak sınıflandırılmaktadır. Puzolanlar, kimyasal olarak SiO_2 ve az miktarda olsa Al_2O_3 'den oluşan maddelerdir. Puzolanik maddeler öğütülerek kullanıldığı gibi bazıları doğal olarak da kullanılmaktadır. Betonda puzolanların kullanılabilmesi TS'ye göre $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{FeO}_3$ toplamı 70'den büyük veya eşit olmalıdır. Puzolanların içindeki serbest kireç miktarının %4'den fazla olmaması istenir [1].

İnce taneli durumdaki doğal puzolanların bağlayıcı olarak görev yaptıkları değişik kullanım tarzları mevcuttur:

- Söndürülmüş kireçle ve suyla birleştirilerek doğrudan kullanılabilir.
- Portland-puzolan tipi çimento üretiminde, portland çimentosunun klinkeriyle öğütülerek kullanılmaktadırlar
- Beton katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar [10].

2.5.3.2 Doğal Puzolan Katkıların Beton Özelliklerine Etkileri

- Taze betondaki işlenebilmeyi arttırmaktadır.
- Taze betondaki terlemeyi azaltmaktadır.
- Betonun hidrasyon ısını azaltmakta, böylece kütle betonlardaki çatlamayı önlemektedir.
- Sertleşmiş betonun su geçirimsizliğini arttırmaktadır.
- Sertleşmiş betonun sülfatlara dayanıklılığını arttırmaktadır.
- Sertleşmiş betondaki alkali-silika reaksiyonunu azaltmaktadır.
- Ekonomiklik sağlamaktadır.

2.5.3.3 Doğal Puzolan Katkıların Potansiyel Zararlı Etkileri

- Özellikle soğuk havada taze betonun prizini geciktirmektedir.
- Betonun ilk günlerdeki dayanım kazanma hızını azaltmaktadır.
- Betonun daha dikkatli ve daha uzun süreyle kür edilmesini gerektirmektedir.
- Hava sürüklenmiş betonların içerisine dahil edilecek sürüklenmiş hava miktarını azaltmaktadır; belirli miktarda sürüklenmiş hava elde edebilmek için daha çok hava sürükleyici katkı maddesinin kullanılmasını gerektirmektedir [10].

2.5.3.4 Uçucu Kül

Termik santrallerin en önemli atık malzemesi, toz linyit kömürün yanması ile meydana gelen ve baca gazlarıyla sürüklenen çok ince kül parçacıklardır. Bunlar, elektrostatik yöntemle elektrofilitrelerde yakalanmakta böylece baca gazlarıyla atmosfere çıkması önlenmektedir. Genellikle uçucu küller, küresel yapıda olmakta ve çapları 1-200 mikron arasında değişmektedir. Termik santrallerden atık madde olarak elde edilen uçucu külün toplanmasıyla sağlanacak yararlar üç ana grupta toplanır: çimento üretiminde kullanılmasıyla üreticiye ve tüketiciye sağladığı yararlar, çevreye sağladığı yararlar (çevre kirliliğinin önlenmesi) ve ekonomiye sağladığı yararlardır [1].

Uçucu küllerde yüksek miktarda yer alan oksitler SiO_2 , Al_2O_3 ve Fe_2O_3 'dür. Bunların yanı sıra bir miktar CaO , MgO ve Na_2O 'da bulunabilmektedir. Uçucu küllerin yapısının büyük bir bölümü amorf durumdadır. Uçucu küllerin taneleri genellikle küresel şekilli parçacıklardır. Uçucu kül taneciklerinin boyutları 1 – 150 μm arasında değişiklik göstermektedir. Normal olarak 2.1 – 2.7 gr/cm^3 yoğunluğa sahiptirler [10].

Uçucu küller beton yapımında üç ayrı yöntemle kullanılır. Bunlar:

- Çimentonun belli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması
- İnce agreganın belli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması
- Hem ince agrega hem de çimentonun belli oranlarda azaltılarak yerine uçucu kül kullanılması [1].

Uçucu kül taze betonda işlenebilmeyi arttırmaktadır. Sertleşmiş betonda sülfatlara karşı dayanıklılığı arttırken su geçirimsizliğini azaltmaktadır. Uçucu kül betonun hidrasyon ısını ve taze betonda terlemeyi azaltır. Bununla birlikte betonun ilk günlerde dayanım kazanma hızını azaltıp, betonun prizini geciktirmektedir. Uçucu kül kullanılması betonun daha uzun süre kür edilmesini gerektirir [10].

2.5.3.5 Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufu

Yüksek fırında pik demir elde edilirken SiO_2 ve Al_2O_3 içeren gayrisafliklar yumuşatıcı olarak katılan kalkerdeki CaO tarafından bağlanır. Bu şekilde oluşan cürufun bileşimi portland çimentosuna büyük benzerlik gösterir. Fırın çıkışında hızla soğutulması ve en az 2/3 oranında camsı faz içermesi gerekir. Ayrıca içindeki CaO , MgO ve SiO_2 miktarları toplamı yine en az 2/3 oranında olmalıdır [19].

Hematit (Fe_2O_3), magnetit (Fe_3O_4) gibi demir cevherleri, doğada demir oksit olarak bulunmaktadır. Demir cevherlerinde çok az miktarda silis, alümin, kükürt, fosfor, mangan gibi bazı yabancı maddeler de yer almaktadır. Demir elde edebilmek için, demir cevherlerinin yüksek fırın olarak adlandırılan fırınlarda çok yüksek sıcaklıklara kadar (yaklaşık 1600°C sıcaklığa kadar) ısıtılmaları, böylece oksijen ve yabancı maddelerden arındırılmaları gerekmektedir. Kok kömürünün (karbon'un) yakıt olarak kullanıldığı bu fırınlarda ayrıca arıtma işlemine yardımcı olabilmesi için kalkertaşı da cevherle birlikte ısıtılmaktadır. Yüksek sıcaklığın etkisiyle, kok kömürünün karbonu ile demir oksitteki oksijen birleşerek karbon monoksit ve karbondioksit gazları oluşturarak fırını terk etmektedir. Geride eriyik durumda demir ve eriyik durumda olan CaO , SiO_2 ,

Al_2O_3 , MgO , MnO , S gibi yabancı maddeler topluluğu kalmaktadır. Demirin yoğunluğu, yabancı maddeler topluluğunun yoğunluğundan daha yüksek olduğu için eriyik durumdaki demir, fırının en alt bölümünde ve eriyik haldeki diğer malzemeler ise demirin hemen üzerinde yer almaktadır. Demir ve diğer malzeme topluluğu ayrı ayrı çıkışlardan dışarı çıkartılmaktadır. Elde edilen yabancı maddeler topluluğu ‘‘yüksek fırın cürufu’’ olarak adlandırılmaktadır. Yüksek fırından atık malzeme olarak dışarıya çıkartılan eriyik durumdaki cüruf yaklaşık 1500°C sıcaklıktadır. Eriyik cürufun havada (yavaş hızla) soğutulması durumunda, elde edilen cüruf kristal yapıya sahip olmaktadır. Ancak eriyik cüruf, su içerisine dökülerek çok hızlı soğumaya tabi tutulursa, hem irili ufaklı kum taneleri boyutunda granüle duruma gelmekte hem de büyük oranda amorf yapı kazanmaktadır. Amorf yapıya sahip olan ve büyük miktarda SiO_2 ve Al_2O_3 içeren granüle yüksek fırın cürufu, öğütülerek çok ince taneli duruma getirildiği takdirde, doğal puzolanların ve uçucu küllerin puzolanik özelliklerine benzer özellikler göstermektedir. Ayrıca, büyük miktarda CaO içermesi nedeniyle, öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun kendiliğinden de bir miktar bağlayıcı özelliği bulunmaktadır [10].

2.5.3.6 Silis Dumanı

Silis dumanı, silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretimi sırasında elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsın kömürle indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli baca tozudur [19].

Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretiminde, yüksek saflıktaki kuvars, elektrik fırınlarında yaklaşık 2000°C sıcaklıkta kömür yardımıyla indirgenmeye tabi tutulmaktadır. Üretim işleminde çok büyük miktarı SiO ’dan oluşan gazlar çıkmaktadır. Gaz halindeki SiO ’nun, fırının soğuk bölgelerinde havayla temas etmesiyle ve çok çabuk yoğunlaştırılmasıyla, gazın içersindeki SiO amorf yapıya sahip SiO_2 durumuna dönüşmektedir. Silikon metalinin veya silikonlu metal alaşımların üretimi esnasında ortaya çıkan gazın hızlı soğutulmasıyla yoğunlaştırılması sonucunda elde edilen ve %85 - %98 silis içeren amorf yapıya sahip çok ince katı parçacıklardan oluşan malzemeye ‘‘yoğunlaştırılmış silis dumanı’’ veya kısaca ‘‘silis dumanı’’ adı verilmektedir. Silis dumanı, amorf yapıya sahip olduğundan, çok ince taneli malzeme olduğundan ve yüksek miktarda SiO_2 içerdiğinden, mükemmel bir puzolanik malzemedir. Diğer puzolanik malzemeler gibi kalsiyum hidroksitle sulu ortamda birleştirildiği takdirde hidrolik bağlayıcılık göstermektedir. Silis dumanının çok ince tanelerden oluşmuş

olması, taze betonun kıvamını ve işlenebilirliğini azaltmakta, su ihtiyacını arttırmaktadır. O nedenle yüksek dayanımlı beton üretimi için katkı maddesi olarak silis dumanı kullanıldığında, ayrıca su azaltıcı katkı maddesi de kullanılmaktadır [10].

Silis dumanının değerlendirilmesi konusunda ilk çalışmalar 1950'li yıllarda Norveç'te başlamıştır. Çok ince taneli ve puzolanik değeri yüksek olan bu maddenin çimento katkısı olarak kullanımı 1969 yılında denenmiştir. Bu konudaki uygulamalar ve silis dumanının beton üzerine etkisi ile ilgili araştırmalar 1980'li yılların başına kadar oldukça yavaş gelişmiştir. Betonda süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddelerinin kullanılmasıyla silis dumanının beton özelliklerine olumlu etkileri ve endüstriyel atıkların çevre kirliliğine karşı daha sıkı kontrolü gibi faktörler silis dumanı konusundaki çalışmaların son 10 yıl içinde hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bugün silis dumanı artık bir endüstri atığı değil, parayla alınıp satılan kıymetli bir mineral (puzolan) katkı maddesi haline gelmiştir. 1989 yılında dünyadaki toplam silis dumanı üretimi yaklaşık 1.000.000 tondur. Türkiye'de silis dumanı Antalya Etibank Elektrometalürji Sanayi işletmesinden elde edilmektedir [1].

Silis dumanı beton teknolojisinde kullanılan yeni ve etkili bir üründür. Silis dumanının doğru kullanımıyla betonda önemli olumlu etkileri olduğu saptanmıştır. Nispeten pahalı olması nedeniyle karışımda çimento ile %5-%10 oranında yer değiştirilerek kullanılır [20].

Pek çok farklı türde endüstri yan ürünleri oluşmaktadır. Çevresel farkındalığın artması ve bu ürünlerin potansiyel tehlikeli etkileri bu ürünlerin kullanımını sağlamıştır. Bu ürünlerden biri de silikon ve ferrosilikon endüstrisinden elde edilen silis dumanıdır. Silis dumanı betonda yüksek dayanım performansının arttırılmasında çok etkilidir [21].

Yüksek dayanımlı beton elde edebilmek için karışımda belli oranlarda silis dumanı kullanmak yaygın yöntemlerden biridir. Silis dumanlı betondaki mekanik özelliklerin gelişmesi, betondaki bu katkının tüketiminin artmasına bağlıdır. Buna ek olarak, mekanik özelliklerin dışında betonun dayanıklılığı da gelişmektedir. Bununla birlikte bazı araştırmacılar betonda silis dumanı kullanımının sakıncalarına dikkat çektiler. Bunların arasında üretim boyunca plastikliğin yitirilmesi ve kür öncesi plastik rötre eğilimi en önemli olanlarıdır [22].

Silis dumanı betonun basınç dayanımının artmasına çok önemli katkıda bulunmaktadır. Bu durum silis dumanının boşlukları doldurucu özellikte olması ve harç ile agrega

arasında daha güçlü bir geçiş zonuna sahip olması gibi etkili pozolanik özellikleri ile açıklanabilmektedir [23].

Silis dumanı, uçucu kül gibi mineral katkıların etkileri bu maddelerin Portland çimentosunun hidratasyonu boyunca oluşan Ca(OH)_2 ile reaksiyona girmeleri ile açıklanabilir. Bu reaksiyon dayanımın artması, daha düşük geçirgenlik, kimyasal etkilere karşı daha dayanıklılık ile sonuçlanır [24].

Silis dumanı kullanımının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Yüksek basınç dayanımı sağlaması,
- Yüksek çekme dayanımı ve elastiklik modülü sağlaması,
- Tokluğu arttırması,
- Yüksek bağlayıcılık sağlaması,
- Gelişmiş durabilite özelliği, düşük geçirgenlik,
- Aşınma direncini arttırması,
- Klor, asit, nitrit ve sülfat gibi kimyasallara karşı üstün direnç [21].



Şekil 2.8 Silis dumanı numunesi

Silis dumanı kullanımının alanları:

- Silis dumanı katkılı yüksek performanslı Otoyol köprüleri, deniz yapıları, limanlar için kullanılan betonlar,
- Silis dumanı ile geliştirilmiş yüksek dayanımlı betonlar ile tasarımlarda esneklik sağlanması,

- Kaya stabilizasyonu, tünel kazıları, köprü ve deniz yapılarındaki kolon veya kazıkların rehabilite edilmesinde silis dumanı kakılı püskürtme betonu kullanılması,
- Onarıcı rnler olarak kullanılması [21].

2.5.3.7 Silis Dumanının Fiziksel zellikleri

Renk: Silis dumanın rengi açık griden koyu griye kadar değişiklik göstermektedir. İçeriğindeki karbon miktarı silis dumanının rengini önemli ölçüde etkilemektedir. Karbon içeriği arttıkça renk daha koyu olmaktadır. Ayrıca silis dumanı katkı betonların rengi geleneksel betonlara göre daha koyu olmaktadır [23].

İncelik: Silis dumanını oluşturan taneciklerin boyutları 0,1 – 0,2 μm kadardır. 45 μm boyutlu elekten elendiğinde, elek üzerinde kalan taneler aşırı büyük boyutlu taneler olarak kabul edilmektedir. Silis dumanının inceliği çimentonun ve diğer puzolanların inceliğini ölçmek için kullanılan Blaine yöntemiyle tayin edilememektedir. Özgül yüzey tayini için nitrojen emme yöntemi kullanılmaktadır. Silis dumanının özgül yüzeyi 130,000 – 280,000 cm^2/g arasında değişmektedir. Beton katkı maddesi olarak kullanılan silis dumanının özgül yüzeyi genellikle 200,000 cm^2/g civarındadır. Silis dumanının ne kadar ince taneli olduğunu daha iyi açıklayabilmek amacıyla, aşağıda silis dumanının ve bazı malzemelerin özgül yüzeylerine dair değerler verilmektedir:

Silis dumanı : 200,000 cm^2/g

Uçucu kül : 4,000 – 7,000 cm^2/g

Portland imentosu : 3,000 cm^2/g [10].

Özgül Yüzey Alanı: Silis dumanının özgül yüzey alanı klasik Blaine aleti ile ölçülemez. lm için nitrojen adsorpsiyonundan yararlanılan B.E.T. yöntemi kullanılır. 20.000 m^2/kg yüzey alanına sahip ince partiküllerden oluşur. Silis dumanının son derece ince olduğu benzer malzemeler ile karşılaştırıldığında açık olarak izelge 2.5'te görülebilir [1].

Özgül Ağırlık: Silis dumanının özgül ağırlığı 2.2 – 2.3 gr/cm^3 kadardır. Bilindiği gibi portland çimentosunun özgül ağırlığı 3.10 – 3.15 gr/cm^3 civarındadır [10].

Gevşek Birim Ağırlık: Silis dumanının birim ağırlığı üretildiği haliyle 240 – 300 kg/m^3 civarındadır. Sıkıştırılmış durumdaki portland çimentosunun birim ağırlığı 1200 kg/m^3 kadardır [10].

Tane Şekli: Silis dumanı tanelerinin şeklinin tam bir küre şeklinde olduğu gözlenmiştir. Bunlar bir araya gelmiş küre yığınları şeklinde görülürler [1].

Su İhtiyacı ve Puzolanik Aktivite: Silis dumanı çok ince taneli olduğundan, su ihtiyacı oldukça yüksektir. Ayrıca, çok kuvvetli bir puzolanik bağlayıcılık göstermektedir [10].

Çizelge 2.2 Silis dumanı minerallerinin yüzey özellikleri [1].

Malzemeler	Özgül Yüzey Alanı (m ² /kg)	Ölçüm Yöntemi
Silis Dumanı	20.000	Nitrojen (Azot) adsorblama
Buğday sapı ve çeltik kabuğu külü	50.000-60.000	Nitrojen (Azot) adsorblama
Uçucu kül	400-700	Blaine
Portland çimentosu	300-400	Blaine
Yüksek fırın cürufu	350-600	Blaine

2.5.3.8 Silis Dumanının Kimyasal Bileşimi

Silis dumanındaki SiO₂ miktarı genellikle %85'in üzerindedir. Bunun yanı sıra, çok küçük miktarda bazı başka maddeler de bulunabilmektedir. Türkiye'deki silis dumanı için verilen değerler, Antalya ferrosilikon fırınından elde edilen malzemeye aittir [10].

Çizelge 2.3 Silis dumanının kimyasal bileşimi [1].

İçerik	Norveç	Kanada	ABD	Türkiye
SiO ₂	90.0 - 96.0	89.0 - 95.0	90.0 - 93.0	94.0 - 95.0
Al ₂ O ₃	0.5 - 3.0	0.1 - 0.7	0.5 - 0.6	0.4 - 1.4
Fe ₂ O ₃	0.2 - 0.8	0.1 - 3.1	3.4 - 4.5	0.4 - 1.0
CaO	0.1 - 0.5	0.1 - 1.0	0.5 - 0.8	0.6 - 1.0
MgO	0.5 - 1.5	0.3 - 1.0	0.3 - 0.5	1.0 - 1.5
Na ₂ O	0.2 - 0.7	0.1 - 0.2	0.1 - 0.3	-
K ₂ O	0.4 - 1.0	0.5 - 1.4	1.0 - 1.2	-
S	0.1 - 0.4	0.1 - 0.2	0.1 - 0.2	0.2 - 0.3
SO ₃	-	0.1 - 0.6	0.4 - 1.3	-
C	0.5 - 1.4	2.1 - 4.2	1.3 - 3.6	0.8 - 1.0
Kızdırma Kaybı	0.7 - 2.5	2.3 - 4.4	1.4 - 3.8	0.5 - 1.0

GERİ KAZANIM HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Farklı işlemlere maruz kalmış çeşitli alanlarda kullanılmış malzemelerin atıklarının kullanılarak yeni bir malzemeye dönüştürülmesi işlemine genel olarak “geri dönüşüm”, geri dönüşüm işlemleri ile yeniden enerji kazanımı sağlama işlemlerine ise “geri kazanım” denir. Bir başka ifade ile geri dönüşüm, kullanım dışı kalan atık malzemelerin kimyasal ve fiziksel yöntemlerle hammadde olarak imalat sürecine tekrar dahil edilmesidir.

Geri dönüşüm, insanoğlunun giderek artan tüketme eğilimine çare olarak, sürdürülebilir malzeme akışını vizyon olarak benimsemek adına çağımızda büyük önem kazanmıştır. Unutulmamalıdır ki hiçbir doğal kaynak sınırsız değildir. Bu sebeple, kullanılmış malzemelerden yeniden yararlanma imkanı değerlendirilmez ise gelecekte daha büyük problemlerle karşılaşmak mümkün olacaktır [25].

Hafriyat, inşaat ve yıkıntı atıklarının çevreye ve doğal hayata zarar vermeyecek şekilde öncelikle kaynakta azaltılması, toplanması, geçici biriktirilmesi, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi ekosistemin korunması ve doğal kaynakların korunup yaşam sürelerinin uzatılması açısından büyük önem arz etmektedir. Hafriyat, inşaat, yıkıntı atıklarının, izin verilen geri kazanım ve depolama tesisleri dışında; denizlere, göllere, akarsulara veya herhangi bir yere dökülmesi ve dolgu yapılması yasaktır.

3.1 Yapısal Atıklar

Atıklar yeni beton üretiminde kullanılmak üzere önemli bir kaynak haline gelmektedir. Yapılan çalışmalar geri kazanılan bu atıkların geleneksel agregalarla benzer mekanik özelliklere sahip olabildiklerini göstermektedir [26].

Yüksek binalar, yollar, köprüler veya tüneller, metrolar, kanallar gibi her türlü inşaat faaliyetleri ekosistemi belli oranda etkilemektedir. Bu yapıların inşası ve sonrasında toprak, su ve hava ortamlarının özellikleri etkilenmekte ve değişmektedir. Bu nedenle büyük ölçekli bir inşaat projesi ele alındığında tatbikata geçirilmeden önce tümsel etkileri kapsayan Çevresel Etki Değerlendirme raporlarının hazırlanması gerekir [27].

Yapım ve yıkıntı atıkları ambalaj, plastik, kağıt, ahşap, kablo, tuğla, taş, tel, cam, beton, seramik ve toprak gibi birden çok malzemenin kompozisyonundan oluşabilir. Yapım ve yıkıntı atıklarının kompozisyonu büyük ölçüde bu malzemenin kaynağına dayanmaktadır. Bu kaynaklar:

- Kazı kaynağı
- Asfalt kaplamalar
- Otoyol bakım ve onarımından kaynaklanan malzemeler
- Kazı maddeleri
- Yapı atıkları
- Yıkıntı malzemeleri [28].

Kentlerdeki hızlı büyüme kentsel çevre sorunlarını arttırmaktadır. Kentlerin yarattığı olumsuzluklardan biri de katı atıklardır. Çevre ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiler yaratan katı atıklar, kavram olarak insanların sosyal ve ekonomik faaliyetleri sonucunda işe yaramaz hale gelen ve akıcı olabilecek kadar sıvı içermeyen her türlü madde ve malzeme şeklinde tanımlanmaktadır. Katı atıklar; evsel katı atıklar, tıbbi atıklar, tehlikeli katı atıklar ve yapısal atıklar olarak gruplandırılmaktadır [29].

Yapısal atıklar, yapı malzemesi üretimi, yapının inşası, kullanım esnasındaki bakım ve onarımı, yapının yıkılması aşamalarında ortaya çıkmaktadır. Yapısal atıkların potansiyellerinin göz ardı edilerek değerlendirilmemesi, yapı malzemesinin içeriğine de bağlı olarak hava, su ve toprak kirliliğine neden olmakta, depolandıkları yerlerde yaşam alanlarına zarar vermektedir. Bu çevresel etkiye karşılık yapısal atıkların geri kazanılmasıyla doğal kaynaklar (hammadde ve enerji) korunmakta ve kirlilikler azalmaktadır. Yalnızca ABD ve Batı Avrupa’da inşaat yıkıntı atıklarının kişi başına yıllık yarım ton, Avustralya’da yaklaşık 1 ton olduğu tahmin edilmektedir. Bu atıkların %10’u yeniden kullanılmakta, %60’ı geri dönüşüme kazandırılmakta, %30’u da atık depolama alanlarına yönlendirilmektedir. Hollanda’da yapım ve yıkım atıkları da dahil tüm atıkların %90’ı dönüşüme kazandırılmaktadır. Danimarkada’da katı atıkların %90’ı

değerlendirilmektedir, %2'si yakılmakta, %8'i ise dolgu alanlarına yönlendirilmektedir [30]. Türkiye'de ise geri kazanım yeterli seviyede gerçekleşmediği için büyük hacim oluşturan yapısal atıklar kontrolsüz bir şekilde çevreye atılmaktadırlar. Ülkemizde yapısal atıkların değerlendirilmesi konusunda bir yapısal atık yönetim sistemi yoktur. Bu nedenle yapısal atık miktarı ile ilgili ülke geneli için bir veri de bulunmamaktadır [31].

Türkiye özellikle İstanbul'da depremden sonra inşaat ve yıkıntı atık miktarında önemli bir artış olmuştur. Sadece İstanbul'da yılda 2.5 milyon ton inşaat atığı oluşmaktadır. Bu atıklar boş alanlar ile dolgu alanlarına gelişi güzel dökülmüştür. Gelişi güzel yerlere inşaat ve yıkıntı atıklarının dökülmesi bu alanlarda gelecekte olması muhtemel yeşillendirmenin önüne önemli engel oluşturmaktadır. Bu atıkları kaldırmak için ilave maliyet gerekecektir. Çünkü yıkıntı atıklarının döküldüğü yerlerde bitkilerin büyümesi mümkün değildir. Toprağın kimyasını olumsuz olarak etkiler. Bazı yerlerde dere kenarlarına dökülerek dere yataklarının daralmasına ve değişmesine, yol kenarlarına dökülerek kötü görüntüye, toprağın kirlenmesine ve kanalların tıkanmasına neden olmaktadır [32].



Şekil 3.1 Deprem sonrası oluşan katı atıklar

Şekil 3.1'de gösterildiği üzere deprem sonrası oluşabilen atıklar büyük hacimlere ulaşabilmektedir. Deprem sonrası oluşan atıkların doğaya bırakılması ekosistemin tahribatına yol açabilmektedir.

1999'da meydana gelen Gölcük merkez üslü deprem, ülke genelinde büyük bir yıkıma neden olmuştur. Doğal afet sonucu oluşan yıkıntı atıkları, depolama sahalarına, boş alanlara veya denize gelişigüzel dökülmüştür. Çevresel alanların tahribi gelecekte o bölgelerde bitki yetişmesi ihtimalini azaltmıştır [32].

Teknolojinin ve dolayısıyla da hayat standardının her geçen gün artması sonucunda katı atıkların miktar ve çeşitinde çok büyük bir artış olmuş ve bu atıkların yönetilmesi başlı başına bir iş, bir sektör olmuştur [33].

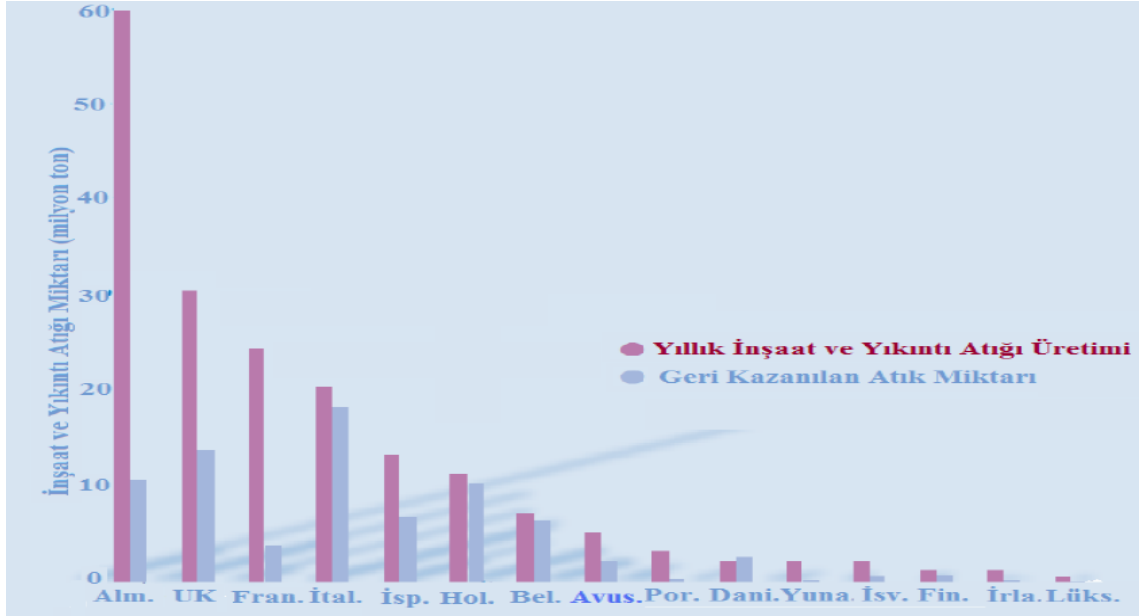


Şekil 3.2 2011 Atık kaynakları [34].

3.1.1 Yapısal Atık Üretimi

Yapısal atık oluşumu yapı yaşam döngüsünün her aşamasında (yapı malzemesi üretimi, yapım, kullanım ve yıkım aşamalarında) değişik miktar ve özelliktedir. Yapım aşamasında kullanılan malzemelerin yaklaşık %10'unun atık haline geldiği belirtilmektedir. Yapıların yıkım ve yenileme uygulamaları sonucu oluşan yapısal atıkların yeni yapım sonucu oluşan atıkların 10 katı kadar daha büyük miktarda olduğu belirtilmektedir. Bu aşamalarda oluşan atıklar kirli, karmaşık yapıda ve sınıflanması zordur [30].

İnşaat, yıkım ve onarım atıkları farklı özellikler taşımaktadır. İnşaat atıkları temiz ve ufak parçalar halinde yıkım atıkları ise heterojen karışmış kirlenmiş büyük yapı malzemeleri şeklinde nitelendirilmektedir. Onarım atıkları ise inşaat ve yıkım malzemelerinin her ikisini de içeren atıklar şeklinde görülmektedir. Yapısal atıklar tehlikeli olmayan atık sınıfına girmektedir [32].



Şekil 3.3 AB ülkelerinin bazılarında oluşan inşaat ve yıkıntı atığı [35].

Katı atıkların kontrolü ve yönetimi, modern toplumların en büyük sorunlarından biridir. İnşaat ve yıkıntı atıkları katı atıkların en büyük kısmını oluşturur [35].

3.1.2 Atık Yönetimine İlişkin Temel Esaslar

Atık yönetimine ilişkin temel esaslar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

1. Öncelikle, doğal kaynakların olabildiğince az kullanıldığı temiz teknolojilerin geliştirilmesi ve kullanılması, ürünlerin üretim, kullanım ve nihai bertarafında çevreye olabilecek olumsuz etkilerin en aza indirilmesi, atık miktarının azaltılması amacıyla tasarlanan ürünlerin teknik gelişiminin sağlanması suretiyle atık üretiminin azaltılması esastır.
2. Atık üretiminin kaçınılmaz olduğu durumlarda geri dönüşüm, tekrar kullanım ve ikincil hammadde elde etme amaçlı diğer proseslerle atığın geri kazanılması veya atığın enerji kaynağı olarak kullanılması esastır.
3. Atıkların geri kazanılması ve bertarafı sırasında doğal ortam için risk yaratmayacak, doğal çevrenin ve koruma alanlarının olumsuz şekilde etkilenmesini önleyecek şekilde insan sağlığını ve çevreyi olumsuz etkilemeyen metodların kullanılması esastır.

4. Her türlü faaliyet sırasında doğal kaynakların ve enerjinin verimli bir şekilde kullanılması amacıyla, atık oluşumunu kaynağında azaltan ve atıkların geri kazanılmasını sağlayan çevre ile uyumlu teknolojilerin kullanılması esastır [36].

Atık yönetimi üç ilkeye dayanmaktadır:

- Atık önleme: Atık yönetimi stratejisinin temel adımıdır. Ne kadar az atık oluşursa geri dönüştürülecek ve/veya depolanacak maddelerin miktarı azalacağından bu en önemli ve ilk aşamadır.
- Geri kazanım: Oluşumu önlenemeyen atıkların yeniden kullanım ve geri dönüşüm ile geri kazanımı sağlanarak çevresel etkinin azaltılması hedeflenmektedir.
- Uygun depolama: Geri kazanımı mümkün olmayan atıkların kayıtları tutularak uygun koşullarda sınıflandırılarak depolanması hedeflenmektedir [37].

3.1.3 Yapısal Atıkların Çevresel Etkileri

Yapısal atıklar çevre üzerinde çok önemli etkiler oluşturmaktadır. İnşaat süresince ve atık olarak bırakıldıkları alanlarda toprak, su kaynakları ve hava üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Yapısal atıkların doğaya bırakılmaları neticesinde çevre kirliliği oluşmaktadır. Bu durum da ekolojik dengeyi bozmaktadır. Atık malzemelerin yeniden kullanılmaları ile doğal kaynaklar daha az kullanılacaktır. Bu durumda hammadde, su ve enerji kaynakları korunmuş olacaktır.

Geri dönüşümle birlikte, doğal kaynakların korunmasının yanı sıra ekonomiye yapılacak katkı ve gelecek nesillere daha güzel bir dünya bırakılması da mümkün hale gelecektir. Doğal kaynakların tasarruflu kullanımı, gelecekte kaynak sıkıntısı çekilmesinin önüne geçecek olup devamlılığı sağlayacaktır. Kullanılmış malzemeler içerisinde geri kazanımı mümkün olanlar, geri dönüşüm sürecine dahil edilmediği takdirde atık depolama sahalarında doğal dengenin altüst olma ihtimali de ihmal edilmemesi gereken bir gerçek olarak görülmektedir [25].

3.2 Geri Kazanılmış Agrega

Atık oranı her geçen gün artıkcı, doğal kaynakları kullanmak yerine yıkıntı atıklarını etkili şekilde kullanmak gerekli olmaktadır. Yeni betonda kaba agrega olarak beton atığının geri kazanımı büyük ölçekli faydalar sağlar. Daha önce bu konuyla ilgili yapılan çalışmalarda kaynak agreganın ezilme metodunun geri kazanılmış agrega

üzerinde önemli etkisi olduğu ve ezilen geri kazanılmış agreganın tane biçiminin doğal agregadan daha düzensiz olduğu belirlenmiştir [38].

Geri kazanılmış agregaların yeni beton üretiminde kullanılmaları hem çevresel hem de ekonomik açıdan faydalar sağlamaktadır. Geri kazanılmış agregaların betonda kullanımı inşaat mühendisliğinde yeni bir araştırma alanı oluşturmıştır. İnşaat mühendisliği uygulamalarında geri kazanılmış agregalı betonun basınç dayanımı en önemli konularından biri olmuştur. Bugüne dek geri kazanılmış agregalı betonun basınç dayanımını hesaplamak için sayısız deney ve çalışma yapılmıştır. Son dönemde çalışmalar yapan araştırmacılar geri kazanılmış agregalı betonun basınç dayanımının, normal agregalı betonun basınç dayanımından %5-24 oranında daha düşük olduğunu saptamışlardır [39].

Avrupa ülkelerinde ve gelişmiş ülkelerin çoğunda önemli miktarlarda yapım ve yıkıntı atıkları oluşmaktadır ve bu durum gelecekte de artacağı benzetilmektedir. Diğer taraftan son yıllarda geri kazanılmış agregaların betonda kullanımının artması dünya genelinde desteklenmektedir. Bunun nedenleri arasında birincil agrega kaynaklarının hızla tükenmesi ve doğal çevrenin korunması gösterilmektedir [40].

Doğal çevreye ve sürdürülebilir kalkınmaya yapılabilecek en temel katkı atık malzemelerin geri kazanılmasıdır. Bunu başarabilmenin yolu bu malzemeleri üretim işlemlerinde kullanabilmektir. Bu durum hem doğal kaynakların tüketimini hemde atık oluşumunu azaltacaktır [41].

Son dönemlerde İspanya’da oluşan atık miktarı yaklaşık olarak yılda kişi başı 750 kg’dır. Bunun da %75’i atık, agrega, taş ve betonla ilgilidir. Bu önemli miktar bir geri kazanım işleminden sonra yapısal uygulamalarda agrega olarak kullanılabilir [41].

Yüksek agrega tüketiminin bir sonucu olarak kentsel alanlarda beton üretiminde doğal agreganın kullanılması kritik sıkıntılar oluşturmaktadır. Bu probleme bir çözüm olarak beton ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı ve geri kazanım yöntemlerinin geliştirilmesi önerilebilir. Tüm bunlar alternatif bir malzeme olmasından dolayı yapı sektörüne de faydalar sağlayabilir [42].

3.3 Geri Kazanılmış Agregalı Betonların Yaygınlaştırılmasındaki Engeller

Geri kazanılmış agregalı betonların kullanımının yaygınlaştırılması önündeki engeller aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- **Geri kazanım tesislerin uygun lokasyonda olmaması:** Yapım ve yıkıntı atıkları genellikle küçük miktarlarda ve geniş alanlara yayılmış olarak bulunmaktadır. Bu nedenle taşınabilir ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Atıkların büyük mesafelerde taşınması geri kazanımı ekonomik olmaktan çıkarmaktadır. Oluşan atıkların geri kazanımı için pilot bölgelerin oluşturulması bu engelleri ortadan kaldırabilir.
- **Geri kazanım için uygun teknolojinin olmaması:** Yapım ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı için çok az gelişmiş teknoloji bulunmaktadır. Geri kazanım için teknoloji kurulurken uygun kontrol, ürün kalitesi gibi konular geliştirilmelidir.
- **Farkındalık eksikliği:** Geri kazanımın çevre üzerindeki olumlu etkilerinin bilinmemesi bu konu üzerindeki önemli engellerden biridir. Geri kazanımın kamuoyunda telkin edilmesi gerekir. Projelerde geri kazanılmış meteryal kullanımı teşvik edilmelidir.
- **Devlet desteğinin olmaması:** Geri kazanım endüstrisinin gelişimine karşı hükümet desteğinin olmaması önemli bir sorundur. Gelişimi yayma politikasının desteklenmesi beklenmelidir.
- **Uygun standartların olmaması:** Geri kazanılmış agrega kullanımı ile ilgili RILEM, JIS, TRA 0006 gibi standartlar mevcuttur. Geri kazanımla ilgili standartların geliştirilmesi kaliteli malzemenin kullanımı için sigorta görevi görecektir [43].

3.4 Atıkların Geri Kazanılmış Agrega Olarak Kullanılması

İnşaat ve moloz atıkları geri kazanılabilir ve ikincil hammadde olarak kullanılabilir. Bu atıkların geri kazanımı mobil, yarı mobil ve sabit tesisler ile gerçekleştirilebilmektedir. Elde edilen materyaller yol ve bina inşaatlarında kullanılabilir. Yüksek binalar, yollar, köprüler veya tüneller, metrolar, kanallar gibi her türlü inşaat faaliyetleri ekosistemi belli oranlarda etkilemektedir. Bu yapıların inşası ve sonrasında toprak, su ve hava ortamlarının özellikleri etkilenmekte ve değişmektedir. Bu nedenle, büyük ölçekli bir inşaat projesi ele alındığında tatbikata geçmeden önce tümsel etkileri kapsayan çevresel etki değerlendirme raporlarının hazırlanması gerekmektedir. İnşaat projeleri hayata geçirilmeden önce söz konusu projenin çevreye ve doğaya etkileri de belirlenmelidir ve bu etkilere karşı gerekli önlemler alınmalıdır. İnşaatın ilk uygulamasından teslimine kadar geçen sürede oluşacak atıkların ekosisteme zarar vermeden berteraf edilmesi veya uygun koşullarda geri kazanılması ekosistem açısından

önemli değerler kazandıracaktır. Uygulanan işlemler sırasında dolgu maddesi olabilecekler, seramik atıkları, sıva atıkları, doğal taş malzemeler, inşaat katkı maddeleri, demir, çelik, demir türü olmayan metaller, inşaat kalıbı atıklar, doğrama ağaçları, elyafli maddeler, kağıt / karton, inşaat tekstili ve benzeri madde grupları geri kazanılmaktadır. Maddeyi, malzemeyi, enerjiyi koruma, ürün çevimini sağlama, ekolojik ve ekonomik döngüyü gerçekleştirme felsefesi ve yaklaşımı moloz atıklarının da değerlendirilmesini zorlamaktadır. Enerji ve hammadde korunması çok önemlidir. Sürdürülebilir kalkınma içinde katı atık yasaları ve yönetmelikleri bunu hedeflemektedir. İnşaat atıkları, inşaat molozları bu bağlamda madde akışı yönetmeliği ile tekrar inşaat malzemesi olarak geri kazanılabilir. İnşaat artık kütlelerini genelde hafriyat atığı, yıkım molozları, yol yenileme artıkları, demiryolu yenilenmesinde oluşan taşlar şeklinde sınıflara ayırabiliriz [27].



Şekil 3.4 Geri kazanılmış agrega numuneleri

Üst yapı ve alt yapı inşaatları sırasında Şekil 3.4'te gösterildiği gibi taş, beton, tuğla, ahşap, seramik, plastik gibi malzemeler atık olarak oluşmaktadır. Sahip oldukları doğal kaynakları en verimli şekilde kullanmak isteyen ülkelerde bu maddeleri geri kazanmak için çalışmalar sürdürülmektedir.

İnşaat ve yıkımlar sırasında geri kazanılabilecek birçok inşaat malzemesi atık olarak çıkmaktadır. Bu atıkların mobil, yarı mobil ve sabit sistemlerle geri kazanımı mümkündür. Geri kazanılan bu maddeler tekrar inşaatlarda kullanılarak hem çevreci bir yaklaşım göstermek hem de ekonomik açıdan olumlu bir davranış sergilemek mümkündür. AB ülkelerinde bu amaçla birçok tesis kurulmuştur ve son derece kaliteli malzeme elde edilmektedir. Ülkemizde bu tip tesislerin kurulması hem ekonomimiz hem de çevremiz açısından son derece olumlu bir davranış olacaktır [27].

3.5 Atık Betonlar

Kaliteli agrega kaynaklarının giderek azalması, doğal çevrenin bozulması, çevresel kirliliğin artması ve kaliteli agregadan dolayı beton maliyetindeki artışlar, yeni arayışları ortaya çıkarmıştır. Geri dönüşüm beton agregasının değerlendirilmesi çevrenin korunması bakımından son derece önemlidir. Atık betonlar hem çevresel kirliliğe hem de ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu nedenle atık betonlara ekonomik değer kazandırmak günümüzde ön plana çıkmaktadır. Beton üretiminde, geri dönüşümlü beton agregalarının kullanımı, olumsuz çevresel etkilerini, doğal kaynakların tüketilmesini önemli ölçüde azaltabilir. Araştırmacılar, geri dönüşüm agregalarının uygun bir biçimde işlenmesi ve düşük dayanımlı beton uygulamalarında kullanımını önermektedirler [44].

Geri kazanılmış agregalar doğal agregalardan doğal agrega ve bağlı çimento harcı malzemelerinin kompozisyonu nedeniyle ayrılırlar. Çimento harcı düşük yoğunluk, yüksek su emme, Los Angeles aşınması ve sülfat içeriği gibi olumsuz etkilerin temel nedenidir. Bu agrega özelliği betonda elastisite, dayanıklılık ve dayanım gibi özellikleri olumsuz etkilemektedir [45].

3.6 Atık Betonların Yeni Betonda Agregası Olarak Kullanılması

Atık betonların agrega olarak betonda kullanılmasının en önemli iki sebebi vardır. Birinci sebebi büyük yerleşim bölgelerinde doğal kaynakların bulunamaması ve bulunan kaynakların şehir merkezlerinden uzak olması aynı zamanda ağır malzemenin taşınması da maliyetleri arttırmaktadır. İkinci sebebi ise yıkılan binaların ağırlıkça %75'i betondur. Bu atık malzemenin atılması büyük yerleşim yerlerinde büyük bir problemdir, bu malzemeler aynı zamanda çevre kirlenmesine de neden olmaktadır [29].

3.7 Geri Dönüşümün Önemi

Atık oranının her geçen gün artması, yenilenemeyen doğal kaynakların korunabilmesi için bu atıkların geri kazanılmasını gerekli hale getirmiştir. Yeni beton üretimi için beton yıkıntı atıklarının geri kazanılması büyük ölçekli tüketimi azaltabilecektir [38].

Yapı sektörünün doğaya ve sürdürülebilir kalınmaya en büyük desteği atık malzemelerin geri kazanılıp kullanılmasıyla olmaktadır. Buna ulaşmanın bir yolu yapım ve yıkım atıklarını, molozlarını geri kazanarak üretim prosesine dahil etmektir.

Böylelikle bu malzemelerin kullanım süresi artacağından doğal kaynakların tüketimi azaltılmış olacaktır [41].

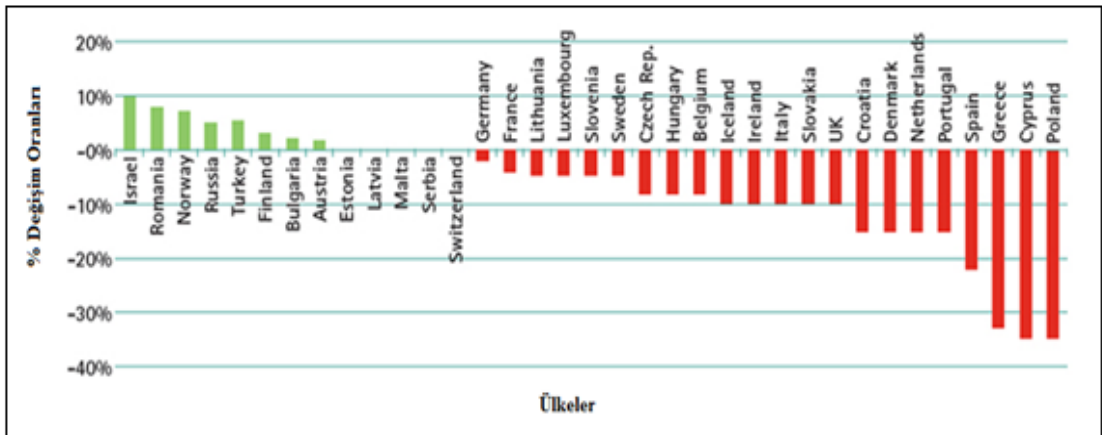
Hızla artan dünya nüfusu, beraberinde tüketimi de hızlandırmıştır. Dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının da değişmesi ile doğal kaynaklar azalmaya başlamıştır. Çözüm olarak, mümkünse tüketim miktarlarının ve kullanılan malzemelerin atıklarının geri kazanmak suretiyle yeniden değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Böylece doğal kaynaklar verimli olarak kullanılmış olacak ve sürdürülebilirlik kavramından bahsedilebilecektir. Geri dönüşüm, sürdürülebilir kalkınmanın temel unsuru olup, tüketim çılgınlığı içerisindeki çağımızın kaçınılmaz bir gerekliliğidir [63].

Beton hacminin %80'i doğal kaynaklardan sağlanan agregalardan oluşmaktadır. Doğal kaynakların tükenme oranı arttıkça beton endüstrisi farklı alternatiflerin arayışı içinde olacaktır. Yıkıntı atıklarından elde edilen geri kazanılmış agrega bu alternatiflerden en ölçülü olanıdır. Sadece ekonomik tutarlılık açısından değil, aynı zamanda çevresel etkileri açısından da önemlidir [46].

Yapı sektörünün çevrenin ve sürdürülebilir kalkınmanın korunması atık malzemelerin geri kazanımı ve yeniden kullanımıyla olmaktadır. Buna ulaşabilmenin en önemli yolu yapı ve yıkıntı atıklarından elde edilen geri kazanılmış agregaların üretim prosesine dahil edilmesidir. Bu durum malzemelerin kullanım ömrünü uzatabilir, atık oluşumunu azaltabilir ve doğal dengenin korunmasını sağlayabilir [47].

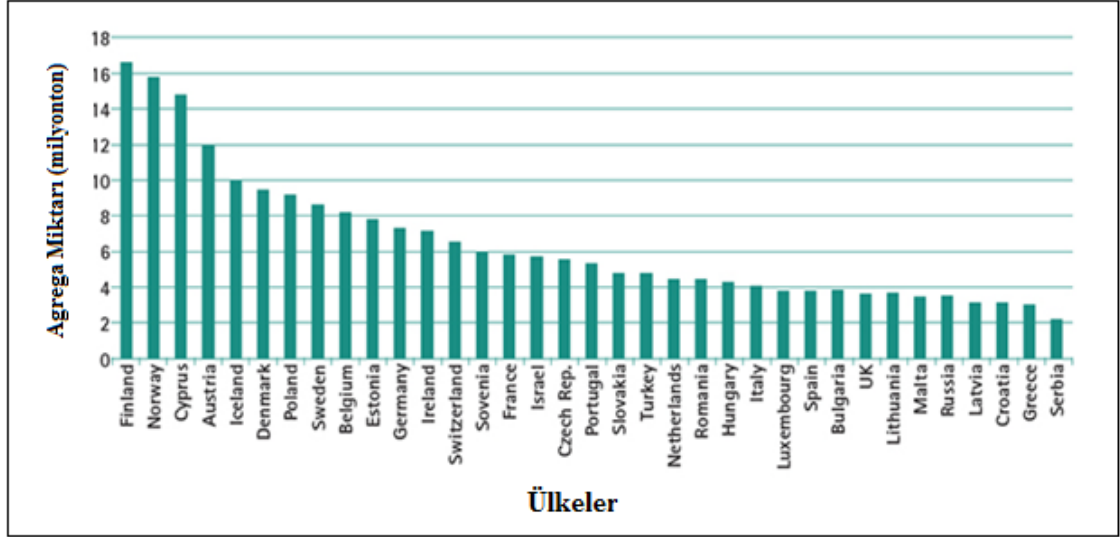
Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde geri dönüşüm üzerinde geniş çaplı çalışmalar ve araştırmalar yapılmaya başlanmıştır. Dünya geneline paralel olarak ülkemizde de nüfus artışına bağlı olarak tüketim artmaktadır. Tüketime artması atık madde miktarının artmasına dolayısıyla geri kazanılmış malzemeleri üretimde tekrar kullanmayı çevrenin korunması ve ekonomik yönden zorunlu hale getirmektedir. Bu ekonomik zorunluluk birçok ülkeyi geri dönüşüm sürecini yasalaştırmaya götürmektedir. Gelişmiş ülkeler bazında bu konuda bir yarış süreci dahi başlamıştır. Geri dönüşümü bu derece önemli hale getiren birçok neden olmakla birlikte en önemli nedeni dünyada hammadde rezervlerinin zamanla azalmasıdır. Hammadde temini konusunda karşılaşılan bu sıkıntıya en etkili çözüm atık maddelerin geri dönüşüm ile yeniden hammadde olarak imalata katılmasıdır. Bir başka neden ise geri dönüşüm işlemi ile doğal kaynakların korunmasına katkı sağlanmasıdır. Doğal kaynaklarımız, dünya nüfusunun artması ve tüketim alışkanlıklarının değişmesi nedeni ile her geçen gün hızla azalmaktadır. Bu

nedenle üretimde kullanılan ham malzeme miktarını azaltmak, değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların verimli kullanılması zorunluluğu doğmuştur. Geri dönüşümün bir diğer faydası da ekonomik getirisidir. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tükenmesi sonucunda ekonomik problemler ortaya çıkabilecek ve işte bu noktada geri dönüşüm ekonomi üzerinde olumlu etki yapacaktır. Yeni iş imkanları sağlayacak ve gelecek kuşaklara doğal kaynaklardan yararlanma olanağı sunacaktır. Ayrıca geri dönüşümün yasal olarak zorunlu hale gelmesi ile birlikte geri dönüşüm sahasında yeni bir sanayi sektörü oluşmaya başlamıştır. Bu da ekonomik gelişim ve istihdam açısından olumludur. Hammaddenin imalata hazır hale gelmesi doğadan elde edinime göre daha az işlem gerektirmektedir. Bu ise enerji tasarrufu sağlamaktadır. Örneğin; metal içecek kutularının geri dönüşümü işleminde, metaller doğrudan eritilerek yeni ürün haline dönüştürüldüğünde metallerin üretimi için kullanılan maden cevheri ve bu cevherin saflaştırılma işlemlerine gerek olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Atık maddelerin imhası da bir diğer problemdir. Atık maddeler ya yakılarak imha edilmektedir ya da belli bir bölgeye depolanmaktadır. Yakma işlemi ile imha çevre kirliliğine sebep olmakla doğal dengeye zarar vermektedir. Depolama işlemi ise çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Ayrıca depolama için belli bir bölge ayrılmalıdır ki bu hiç de ekonomik bir çözüm değildir. Bu açıdan geri dönüşüm bu sıkıntılara da çözüm niteliği taşımaktadır. Doğal maddeler atık haline geldikten sonra doğaya tam zıt bir etken içerisine girmektedir ve doğadan yok olma süreci oldukça uzun sürmektedir. Bu maddelerin işlenerek yeniden kazandırılması bu durumun önüne geçmektedir [32].



Şekil 3.5 2011 ve 2012 yıllarında agrega üretim miktarındaki değişiklikler [48].

Avrupa Agregası Birliği'nin 2013 yılı istatistiklerinde üye olan devletlerin 2011 ve 2012 yıllarında agrega üretim miktarındaki değişiklikler verilmiştir (Şekil 3.5). Bu grafikte Avrupa'da toplamda 3.00 milyar ton agrega üretildiği belirtilmiştir. Bütün ülkelerde agrega üretiminde azalma olmasına rağmen Türkiye'de %10'luk bir artış olmuştur [48].



Şekil 3.6 2011 yılı üretilen agrega miktarları [48].

Avrupa Agregası Birliği'nin 2013 yılı istatistiklerinde üye olan devletlerin 2011 yılı için kişi başına agrega üretim miktarı verilmiştir (Şekil 3.6). Aşağıdaki veriler ülkelerin ekonomik gelişmişlik düzeyi, nüfus yoğunluğu, iklim koşulları gibi bir çok faktörden etkilenmektedir [48].

3.8 Geri Kazanılmış Agreganın Elde Edildiği Yerler ve Üretimi

Yıkıntı atıkları her türlü konut, ticari ve belediyeye ait binalar ile yol ve köprülerin tamirâtı, tadilatı, yenilenmesi ve yıkımı esnasında ortaya çıkan katı atık maddelerdir. İnşaat ve yıkıntı atıkları bileşenleri; inşaat yapım tekniğine, inşaatla kullanılan malzemelerin cinsine bağlı olarak değişmekle birlikte, tipik olarak betonarme, beton, sıva, tuğla, briket, tahta, cam, metal parçası (çelik, alüminyum, bakır, prınç), alçı kartonpiyer, kiremit, plastik, elektrik malzemeleri, borular ve asfalt gibi malzemeleri içermektedir. Ayrıca betonun mekanik özelliklerinin denetimi amacıyla yapı denetim, üniversite, hazır beton ve şantiye laboratuvarlarında üretilen beton numunelerin atıkları da geri kazanılmış agreganın elde edildiği yerlerdir. İnşaat yapım ve yıkım atığının elde edildiği yerler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir;

- **Kazı Malzemeleri:** Bu kategoriye, kazı esnasında oluşan toprak, kum, çakıl, kaya parçaları, kil ve kazıdan çıkan tüm diğer malzemeler girebilir. Kazı esnasında bu tür atıklar oluşabilir. Bu tür atıklar ayrıca taşkın, heyelan gibi doğal afetler sonucunda oluşur. Bu malzemelerin kimyasal yapısı, kazının yapıldığı yerin doğal yapısına da bağlıdır.
- **Yol Yapımı ve Bakım Malzemeleri:** Bu malzemeler asfalt, kum, çakıl, metal, beton ve yol kazısından gelen kazı malzemeleri olabilir. Bu malzemeler, şehirlerde yer altı su ve atık su kanallarının ve elektrik malzemelerinin döşenmesi esnasında da oluşabilir.
- **Yıkıntı Atıkları:** Bu malzemeler toprak, çakıl, beton parçaları, kireçli sıva, briket, kaplama plakaları, alçı taşı, kum, işlenmiş taş ve porselenden ibarettir. Yıkıntı atıkları homojen değildir. Binaların ve diğer yapıların yıkımı esnasında oluşur. Atığın kompozisyonu, binanın/yapının tipine, yapısına, yapısında kullanılan malzemeye, yaşına, modeline ve boyutuna bağlıdır. Aynı zamanda tarihi, kültürel ve ekonomik değerine bağlı olarak da değişmektedir.
- **Çalışma Bölgesi Atık Malzemeleri:** Bu tür malzemeler tamir, destekleme, büyütme, genişleme ve yenileme işlemlerinden oluşan tahta, plastik, kağıt, cam, metal, lastik, boya, emaye, kaplama, tutkal ve diğer malzemelerden ibarettir [32].

3.9 Geri Kazanım Tesisi Hakkında Bilgiler

Gelişen teknoloji ve nüfus artışının getirdiği çevre sorunlarından biri olan katı atıklar, yerel yönetimlerin çözmesi gereken en önemli problemlerden biri haline gelmiştir. Katı atıkların önemli bir yüzdesini oluşturan ve yapılan her türlü inşaat faaliyeti sonucu açığa çıkan inşaat ve yıkıntı atıkları, belirli bir sistem dâhilinde yönetilmediği takdirde ekosistemin dengesini ciddi ölçüde etkilemektedir.

18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı resmi gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Yönetmeliği çerçevesinde İstanbul’da oluşan inşaat ve yıkıntı atıklarının çevreye zarar verecek şekilde doğrudan ya da dolaylı olarak alıcı ortama verilmesinin önlenmesi ve sistemli bir işletme dâhilinde geri dönüşümünün sağlanarak ekonomiye kazandırılması maksadıyla mevcut veriler ışığında 2006 yılında İSTAÇ A.Ş. tarafından “İstanbul İçin İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Yönetim Planı” hazırlanmıştır. Hazırlanan yönetim planı kapsamında, inşaat ve yıkıntı atıklarının geri

kazanılması maksadıyla Şekil 3.7’de gösterilen “Geri Kazanım Tesisi” kurulması planlanmış ve Tuzla’da elek, kırıcı ve diğer gerekli ekip ve donanımlardan bir geri kazanım tesisi kurulmuştur. Bu tesis, 300 m x 150 m boyutlarında, inşaat ve yıkıntı atıklarının depolandığı, makinelerin konuşlandığı ve geri kazanılan malzemelerin stoklandığı 45000 m² lik bir alan ve ayrıca idari bina, yemekhane, inşaat ve yıkıntı atığı kabulü ve kazanılmış ürün sevki kontrol kulübesinin bulunduğu büyük bir alandan oluşmaktadır. Tesise günlük yaklaşık olarak 1500 ton inşaat ve yıkıntı atığı getirilmektedir. Tesiste, malzeme giriş ve çıkışları kantar sayesinde kontrol edilerek kayıt altına alınmaktadır.



Şekil 3.7 Geri kazanım tesisi ve geri kazanım işleminin uygulama aşamaları

Geri kazanım tesisine gelen inşaat/yıkıntı atıkları beton, betonarme, taş, metal vb. malzemeler içerebilir. Geri kazanım tesisine karışık halde gelen atıklar elle veya makine ile ayrıştırılmaktadırlar. Büyük boyutlu atıklar darbeli ve çeneli kırıcılar kullanılarak istenilen boyutta küçültülebilirler. Bu kırıcılar sabit ve hareketli olmak üzere ikiye ayrılırlar.

Bu tesiste, inşaat ve yıkıntı atıkları kırıcıdan geçirilerek, atık bünyesindeki donatı malzemesi manyetik bant sayesinde ayrıştırılmakta ve diğer atık malzeme de üç ayrı ebatla malzemeye dönüştürülmektedir. Ancak tesise gelen atıklar ideal temizlikte olmadığından ve toprak, ev eşyası, poşet vb. atıklarla karışık olarak geldiğinden, kırıcıdan önce inşaat ve yıkıntı atığından toprağı ve diğer istenmeyen malzemeleri ayırabilmek için bir ön eleğe ihtiyaç duyulmuş ve sistem; ön elek – kırıcı – elek üçlüsüyle oluşturulmuştur. Geri kazanım tesisindeki kırıcı saate maksimum 200 ton malzemeyi kırabilme özelliğine sahiptir ve diğer iki makine de bu değeri besleyebilmektedir. Tüm makinelerde paletli yürüme sistemi mevcut olup mobil olarak kullanabilme avantajı sağlamakta ve yine tüm makinelerde acil durum butonları bulunmakta ve bu butonlar sayesinde makinelerin acil durumlarda çalışması aniden sonlandırılabilir. Ayrıca operatörün makineleri uzaktan kumanda ile yönetebilme olanağı da vardır. Sistemin çalışması esnasında oluşabilecek toz problemini çözebilmek için yüksek basınçta pompalar ve nozzlelar kullanılarak, tozun kaynağına su püskürtme yöntemi uygulanarak bu problem % 80 – 90 mertebesinde çözülmüştür.

3.10 Literatür Araştırması

Evangelista ve Brito [49] yaptıkları deneysel çalışmada 28 günlük basınç dayanımları belli olan betonlardan elde ettikleri geri kazanılmış agregaları kullanarak ürettikleri betonlar üzerinde deneyler yapmışlardır. Bu yöntemi uygulayarak geri kazanılmış agregalı betonun bileşimi ve temel özellikleri hakkında bilgiye sahip olmuşlardır. Çalışma kapsamında kırılan betonlardan elde edilen agregalar boyutlarına göre ayrılarak doğal agregaya göre tane boyutları ayarlanmıştır. Geri kazanılmış agregalar ile doğal agregalar üzerinde yapılan incelemeler neticesinde doğal agreganın yoğunluğunun geri kazanılmış agreganın yoğunluğuna göre daha fazla olduğunu, geri kazanılmış agreganın ise doğal agregaya göre su içeriğinin daha fazla olduğunu saptamışlardır. Çalışma kapsamında doğal agrega ile %10, %20, %30, %50 ve %100 oranlarında yer değiştiren beton serileri üretmişler ve beton serileri üzerinde 7, 28 ve 56 günlük deneyler

yapmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda geri kazanılmış agregalı betonların referans betona göre basınç dayanımındaki önemsiz azalmanın geri kazanılmış agreganın hidrate olmuş ve olmamış çimento içeriğine bağlı olduğunu, yarmada çekme dayanımındaki artışın ise geri kazanılmış agreganın gözenekli yapısına bağlı olduğunu savunmuşlardır. Aşınma direncindeki artışın agrega ile çimento pastası arasındaki bağla ilgili olduğunu savunmuşlardır. Elastiklik modulünün ise yer değiştirme oranı ile doğru orantılı olarak azaldığını belirlemişlerdir.

Juan ve Gutierrez [45] yaptıkları deneysel çalışmada bağlı çimento harcının geri kazanılmış agrega üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. 15 farklı numune üzerinde bir yıl deneyler yapan çalışmacılar çalışma kapsamında geri kazanılmış agrega olarak asfalt ve beton agregalarını kullanmışlardır. Agregada boyutunun geri kazanılmış agrega özelliklerine etkisini incelemek için agregalar 4/8 mm ve 8/16 mm'lik boyutlarda sınıflandırılarak su emme, LA aşınma ve sülfat içeriği deneyleri yapmışlardır. Elde edilen deneysel sonuçlara göre tane boyutu küçüldükçe bağlı harç içeriğinin arttığını, bağlı harç miktarı yüksek olduğunda su emmesinin, LA aşınmasının ve sülfat içeriğinin yüksek olduğunu, yoğunluğun ise düşük olduğunu saptamışlardır. Ayrıca geri kazanılmış agregaların bağlı harçtan dolayı doğal agregalara göre daha fazla sülfat içerdiğini savunmuşlardır.

Padmini vd. [38] yaptıkları çalışmada farklı dayanımlardaki kaynak betonlarından elde edilen agregaların farklı maksimum boyutlarıyla üretilen geri kazanılmış agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Deneysel çalışmalarda maksimum tane çapı 10mm, 20mm ve 40 mm olan ezilmiş doğal granit agregası, 28 günlük basınç dayanımı 45 MPa olan portland çimentosu ve kum kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda geri kazanılmış agreganın özgül ağırlığının ve yoğunluğunun içerdiği harç kaplı agregadan dolayı normal agregaya göre daha düşük olduğunu, geri kazanılmış agregadaki harç fazının agrega fazından daha yüksek poroziteye sahip olmasından ötürü geri kazanılmış agreganın doğal agregaya göre daha fazla su emme eğilimi gösterdiğini, geri kazanılmış agreganın ezilmeye ve aşınmaya karşı direncinin ise test süresince gözenekli harç katmanının geri kazanılmış agregadan ayrılmasından sebeple daha düşük olduğunu savunmuşlardır. Yapılan çalışmalarda bir tasarım basınç dayanımı elde etmek için geri kazanılmış agregalı betonda daha düşük su/çimento oranının ve daha yüksek çimento içeriğinin bulunması gerektiği belirtilirken, belli bir hedef dayanım için elde edilen dayanımın geri kazanılmış agreganın maksimum

boyutunun artmasıyla artacağı belirtilmiştir. Bu çalışmalar kapsamında ayrıca betonun belli bir basınç dayanımı için geri kazanılmış agregalı betonun çekme ve eğilme dayanımlarıyla beraber elastisite modulünün de normal betona göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.

Debieb vd. [50] dayanımı belli olan geleneksel betonu kırarak elde ettikleri agregaların bir bölümünü doğrudan geri kazanılmış agregaya olarak beton üretiminde kullanırken bir kısmını da bir yıl süreyle klorür, sülfat ve deniz suyu çözeltilerinde beklettikten sonra geri kazanılmış agregaya olarak beton üretiminde kullanmışlardır. Üretilen beton serileri üzerinde yapılan incelemeler sonucunda geri kazanılmış agregalı betonların geleneksel betona göre daha düşük basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastiklik modülüne sahip olduklarını belirlemişlerdir. Üretilen betonların dayanıklılıkları hakkında yaptıkları incelemelerde geri kazanılmış agregalı betonların oksijen geçirimsizliğinin ve su emme kapasitesinin normal betona oranla çok fazla olduğu sonucuna varmışlardır. Porozite sonuçlarına göre geri kazanılmış agreganın normal agregaya göre daha gözenekli yapıya sahip olduğunu savunmuşlardır. Klorür, sülfat ve deniz suyu çözeltilerinde bekletilen geri kazanılmış agregalı beton serilerinin tümünde normal betona göre ve ASTM C876 – 09’da limit duruma göre daha fazla yarı hücre potansiyeli tespit etmişlerdir. Sonuç olarak geri kazanılmış agregaların yüksek su emme özelliği ve porozitesinden dolayı betonun dayanıklılığının etkilendiğini savunmuşlardır.

Limbachiya vd. [51] geri kazanılmış agregaların yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Üretilen beton serilerinde geri kazanılmış agregaya kaynağı olarak, yüksek dayanımlı beton üretimi için uygun olmasından ve miktarca fazla bulunmasından dolayı yapısal prekast beton elemanlar seçilmiştir. Çalışma kapsamında kaba agreganın normal agregayla %30, %50 ve %100 oranlarında yer değiştirmesiyle üretilen betonlar denenmiştir. Agregalar üzerinde yapılan incelemelerde geri kazanılmış agreganın yoğunluğunun normal agregaya göre %7 - %9 daha düşük olduğu tespit edilirken, su emmesinin iki katı olduğu belirlenmiştir. Aynı basınç dayanımlarındaki geri kazanılmış agregalı beton ve normal beton numuneleri üzerindeki incelemelerde ise elastiklik modülünü ve çekme dayanımını her iki beton türü için de yakın değerlerde hesaplanmıştır. Kaba agreganın %30’a kadar normal agregayla yer değiştirmesiyle üretilen betonlarda ilk yüzeysel su emme özelliğinin ve hava geçirgenliğinin etkilenmediği gözlemlenmiştir. Yer değiştirme oranı arttıkça yüzeysel su emme ve hava geçirgenliğinin arttığını tespit etmişlerdir. %100 geri kazanılmış

agrega ile üretilen beton serilerinde klorür difüzyonunun daha az olduğunu belirleyen çalışmacılar donatı korozyonu için Ag/AgCl çözeltisi kullanmışlar ve geri kazanılmış agregalı betonlar ile normal betonlar arasında büyük bir fark olmadığını saptamışlardır. Aşınma dayanımlarının normal beton aşınma dayanımlarına yakın değerlerde olduğunu bulan çalışmacılar sonuç yorumu olarak %30'a kadar geri kazanılmış kaba agrega kullanılarak üretilen betonların yüksek dayanımlı beton uygulamalarında kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Xiao vd. [52] Shangai yakınlarındaki bir havaalanının pistinden getirilen atık betonlardan elde ettikleri geri kazanılmış agregalarla su/çimento oranını değiştirerek hedef dayanımı 30 MPa olan beton üretmeyi amaçlamışlardır. Beton üretimlerinde 28 günlük basınç dayanımı 32,5 Mpa olan portland çimentosu ve kum kullanırken agregaları ağırlıkça %60 için 5 – 15 mm arası, %40 için 15 – 31,5 mm arası olacak şekilde tercih etmişlerdir. Geri kazanılmış kaba agregayı normal kaba agregayla %0(NC), %30(RC30), %50(RC50) ve %100(RC100) oranlarında yer değiştirecek şekilde beton serileri üretmişlerdir. Beton serilerinde su/çimento oranı NC için 0.43, RC30 ve RC50 için 0.39 iken RC100 için 0.35 olarak ayarlanmıştır. İncelemelerde normal agreganın yoğunluğu 1453 kg/m^3 , geri kazanılmış agreganın yoğunluğu 1290 kg/m^3 olarak belirleyen araştırmacılar normal agreganın su emme yüzdesini 0.4 olarak hesaplarken geri kazanılmış agreganın su emme yüzdesini 9.25 olarak tayin etmişler ve geri kazanılmış agregayı yüksek su emme kapasitesinden dolayı karışımda kullanmadan önce suya doyurmuşlardır. Deneyler neticesinde hedef dayanım olan 30 MPa dayanım değerine tüm serilerde ulaşmışlardır. Ayrıca %100 yer değiştirme oranı ile üretilen beton serileri haricindeki tüm serilerde betonun standart sapmasının ve varyasyon katsayısının yer değiştirme oranı arttıkça arttığını belirlemişlerdir.

Limbachiya [40] içeriğinde tuğla, plastik ve beton kırıkları gibi maddelerin bulunduğu yapısal atıklardan elde ettiği geri kazanılmış agregaları kullanarak farklı su/çimento oranlarında 20 N/mm^2 , 30 N/mm^2 ve 40 N/mm^2 basınç dayanımlarında beton serileri üreterek fiziksel ve mekanik deneyler yapmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre geri kazanılmış agregaların normal agregaya göre %9-11 oranında daha düşük yoğunluğa, 5-7 kat daha yüksek su emme özelliğine sahip olduğunu belirlemiştir. Deney sonuçlarına göre %20 oranında geri kazanılmış kaba agrega kullanılarak üretilen betonların basınç dayanımlarının etkilenmediğini ancak bu oranın artmasıyla basınç dayanımlarının azaldığını saptamış ve bu azalmanın su/çimento oranını ayarlayarak giderilebileceğini

belirlemiştir. Aynı basınç dayanımlarında ürettiği geri kazanılmış agregalı ve normal betonlarda yüzeysel su emme, karbonatlaşma, aşınma ve donma çözünme değerlerinde benzer sonuçlara ulaşmıştır.

Bhanja ve Sengupta [53] SiO_2 yüzdesi %90,2 ve yüzey alanı $18000 \text{ m}^2/\text{kg}$ olan silis dumanını, çimento ağırlığının %0, %5, %10, %15, %20 ve %25'i oranlarında kullanarak ürettikleri betonlarda basınç ve çekme testleri yapmışlardır. Beton üretimlerinde 28 günlük basınç dayanımı 54 Mpa olan portland çimentosu ve maksimum tane çapı 12,5 mm olan doğal agrega kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre silis dumanı katılarak üretilen betonların basınç dayanımı ve çekme dayanımı belirgin bir şekilde artış göstermiştir. En büyük basınç dayanımı 0,26 su/çimento oranı ve %15 silis dumanı katılmasıyla elde edilirken, tüm su/çimento oranları için %5-10 oranında silis dumanı katkılı betonlarda en yüksek çekme dayanımlarına ulaşmışlardır.

Fonteboa ve Abella [41] silis dumanı katkılı geri kazanılmış agregalı betonların mekanik ve fiziksel özelliklerini yaptıkları deneysel çalışmalar kapsamında incelemiştir. Beton üretimi kapsamında CEM I 42,5R çimentosu, silis içeriği %94 olan silis dumanı, doğal agrega ve İspanya'daki atık enkazında edindikleri geri kazanılmış agregaları kullanmışlardır. Agregada deneyleri kapsamında geri kazanılmış agreganın yoğunluğunun normal agregaya göre daha düşük olduğunu, su emmesinin ise çok daha yüksek olduğunu tespit etmişlerdir. Çimento ağırlığının %8'i oranında silis dumanı katkılı, geri kazanılmış agreganın %50 oranında normal agregayla yer değiştirmesiyle ürettikleri betonlarda çimento dozajını 325 kg/m^3 'ten 345 kg/m^3 'e çıkarmışlardır. Yapılan deneylerde hem geri kazanılmış agregalı hem de geleneksel agregalı betonlara silis dumanı katılmasıyla basınç dayanımlarında artış olduğunu savunan çalışmacılar, çekme dayanımının ve elastiklik modülünün silis dumanı katkısı ile iyileştirilemediğini savunmuşlardır.

Papadakis [54] yaptığı deneysel çalışmada silis dumanını sadece çimento ile değil ayrıca agregada ile ikameli olarak ürettiği betonlarda dayanım, ısı gelişimi ve porozite ölçümleri yapmıştır. Üretim kapsamında, 2260 kg/m^3 yoğunluğa ve %90,90 SiO_2 içeriğine sahip silis dumanı kullanmıştır. Silis dumanını hem agregada ile hem de çimento ile %5, %10 ve %15 oranlarında yer değiştirmiştir. Ürettiği beton numuneler üzerinde 3, 7, 14, 28, 49, 112, 182 ve 364 günlük deneyler yapmıştır. Silis dumanı ile agregada veya çimentonun yer değiştirmesi ile oluşan betonlarda basınç dayanımının belirgin bir

şekilde arttığını tespit etmiştir. Bunun nedeni olarak ise silis dumanındaki aktif silika içeriğinin çimentodakinden yüksek olmasını ve CSH içeriğinin artmasıyla çimentonun hidrasyonundan oluşan CH'nin reaksiyonu olarak savunmuştur. Silis dumanı katkılı betonların normal betonlara göre ısı gelişiminin daha yüksek olmasının sebebini CH'nin SF ile hızlı pozolanik reaksiyonu olarak savunmuştur. Porozite ölçümlerinde elde ettiği verilere göre silis dumanı katkılı betonların normal betonlara göre daha yüksek poroziteye sahip olduğunu gözlemleyen çalışmacı bunun nedeni olarak CH'nin çimento fazındaki C_3A ve C_4AF yerine silis dumanı ile reaksiyona girmesini göstermiştir.

Fernando vd. [55] geri kazanılmış agregalı, silis dumanı ilaveli betonarme kirişlerin kesme davranışlarını incelemişlerdir. Çalışmaları kapsamında akma dayanımı 500 MPa ve çekme dayanımı 690 MPa olan yüksek düktiliteye sahip donatı ile SiO_2 içeriği %94 olan silis dumanı kullanırken, içeriğinde %72 beton ve %20 taş olan enkaz atığını geri kazanılmış agrega olarak kullanmışlardır. Betonarme kiriş üretimlerinde geri kazanılmış iri agregayı %50 oranında ve silis dumanını %8 oranında kullanırken, üretilen betonarme kirişler üzerinde yüklemeler yaparak oluşan çatlakları da incelemişlerdir. Yaptıkları incelemeler neticesinde geri kazanılmış agregalı betonarme kirişlerin normal agregalı betonarme kirişlere nazaran daha düşük kesme deformasyonlarına sahip olduğunu, silis dumanının malzemenin deformasyonunu kontrol etmede pozitif etkiye sahip olduğunu belirlemişlerdir. Silis dumanı katkılı geri kazanılmış agregalı betonarme kirişlerin kesme tasarımlarında kullanılabileceğini savunmuşlardır.

Katz [56] farklı su/çimento oranlarında ve basınç dayanımlarında ürettiği beton numuneleri kırarak elde ettiği geri kazanılmış agregaları beton üretiminde kullanmıştır. Kullanacağı geri kazanılmış agregaların özelliklerini iyileştirmek için silis dumanı çözeltisine doyurma ve ultrasonik temizleme işlemlerini gerçekleştirmiştir. Geri kazanılmış agregaları 24 saat silis dumanı ilave edilmiş sulu çözeltide bekletmiş ve daha sonra kurutmuştur. Böylelikle geri kazanılmış agregaların yüzeylerinin silis dumanı parçalarıyla kaplanmasını sağlamıştır. Geri kazanılmış agregaların bir kısmını da ultrasonik temizleme işlemine tabi tutarken geri kazanılmış agregaların yüzeyleri temizlenene kadar ultrasonik temizleme işlemine tabi tutmuştur. Silis dumanı çözeltisinde bekletilme veya ultrasonik temizleme işlemine tabi tutulan geri kazanılmış agregalı betonların normal betonlara göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğunu saptayan Katz silis dumanının geri kazanılmış agrega üzerindeki olumlu etkilerini agrega ve çimento matrisi arasındaki yüzeyi geliştirmesine ve agregaya

yapışan eski harcın yapısının kuvvetlendirilmesine bağlamıştır. Sonuç olarak basınç dayanımının geri kazanılmış agregaların silis dumanı çözeltisinde bekletildikten sonra kullanılmasıyla üretilen betonlarda %23-%33, ultrasonik temizleme işlemi uygulanan geri kazanılmış agregalarla üretilen betonlarda ise %7 arttığını saptamıştır.

Shannag [57] yapmış olduğu incelemede doğal puzolan ve silis dumanını birlikte kullanarak yüksek dayanımlı beton üretmeyi amaçlamıştır. Doğal puzolan olarak volkanik tuf ve SiO_2 oranı %93 olan silis dumanı kullanmıştır. Beton üretimlerini iki grupta toplayan çalışmacı birinci grupta %15 silis dumanı oranını sabit tutarak doğal puzolanı %0, %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında değiştirirken ikinci grupta ise %15 doğal puzolan oranını sabit tutarak silis dumanını %0, %5, %10, %15, %20, %25 oranlarında değiştirmiştir. Deney sonuçlarına göre doğal puzolan ve silis dumanının birlikte kullanılmasının basınç dayanımını bu minerallerin yalnız kullanılmasından daha fazla arttırdığını belirleyen Shannag bu durumun gerekçesi olarak agrega ve matris arasındaki bağın kuvvetlendirilmesini göstermiştir. Doğal puzolan ve silis dumanı kombinasyonu ile 28 günlük basınç dayanımı 69-85 MPa düzeylerinde, basınç dayanımının yaklaşık %6,5'i kadar çekme dayanımına sahip, yüksek elastiklik modulünde ve işlenebilir beton üretmiştir. Sonuç olarak %15 doğal puzolan ve %15 silis dumanı katılmasıyla ekonomik ve yüksek dayanımlı beton üretilbileceğini savunmuştur.

Rezai-Ochbelag vd. [58] silis dumanı katkılı betonların gama ışınlarına karşı gösterdikleri davranışları incelemişlerdir. Beton üretim çalışmaları kapsamında 400 kg/m^3 yoğunluktaki Portland çimentosu, 2400 kg/cm^3 yoğunluktaki agrega kullanıp, su/çimento oranını 0,45 olarak sabitlerken iki farklı seride üretim yapmışlardır. İlk seride çimento ağırlığının %45'i oranında kurşun kullanıp çimento ağırlığının %0, %5, %10 ve %15'i oranlarında silis dumanı kullanırlarken ikinci seride çimento ağırlığının %10'u kadar silis dumanı kullanıp %0, %45 ve %90 oranlarında kurşun kullanmışlardır. Ürettikleri betonlar üzerindeki yoğunluk araştırmalarında en yoğun beton numunesi %90 kurşun ve %0 silis dumanı ile üretilen seride 2,5160 gr/cm^3 olarak ölçülürken yoğunluğu en az olan beton serisi 2,1990 gr/cm^3 ile %0 kurşun ve %10 silis dumanı katılmasıyla üretilen beton numunede elde edilmiştir. Ürettikleri beton numuneleri 27. günde 6 saat boyunca ^{137}Cs ve ^{60}Co kaynaklı gama ışınlarının yayılımına tabi tutarak lineer azalma katsayılarını incelemişlerdir. Yaptıkları bu incelemede %45 kurşun oranı sabit tutularak %0 silis dumanı ile en büyük katsayıyı ölçerken, silis dumanı oranı sabit

tutularak kurşun miktarı arttıkça lineer azalma katsayısının arttığını belirlemişlerdir. Silis dumanı miktarı arttıkça betonun direncinin arttığını gözlemleyerek betonu gama ışınlarına karşı korumak için betonun dayanımını arttırmak amacıyla silis dumanı kullanılabileceğini savunmuşlardır. %15 silis dumanı ve %45 kurşun katılmasıyla betonun dayanımının %22 oranında arttığını ve lineer azalma katsayısının %2,9 oranında azaldığını belirlemişlerdir.

Rao [59] su/çimento oranları 0.35, 0.40, 0.45 ve 0.50 olan, silis dumanı içeriği ise %0 ile %30 arasında değişen beton numuneler üzerinde 3, 7, 28 ve 90 günlük dayanım deneyleri yapmıştır. Çalışması kapsamında 28 günlük basınç dayanımı 48,70 MPa olan portland çimentosu ve SiO₂ oranı %84-86 civarında olan silis dumanı kullanmıştır. Deneysel sonuçlara göre aynı silis dumanı içeriğine ve 0,35 su/çimento oranına sahip betonlarda daha yüksek dayanıma ulaşmıştır. Erken yaştaki etkiyi inceleyebilmek için yaptığı 3 günlük deneylerde su/çimento oranı 0,35 ve silis dumanı miktarı %22,5 için 35,9 MPa olarak en yüksek basınç dayanımını elde etmiştir. Su/çimento oranı 0.35, 0.40 ve 0.45 için optimum silis dumanı içeriğinin %20 olduğunu saptayan Rao su/çimento oranı 0,50 için silis dumanı miktarı arttıkça dayanımın arttığını gözlemlemiştir.

Zain vd. [60] silis dumanı ve normal portland çimentosu kullanarak ürettikleri betonları farklı kür koşullarında muhafaza ederek bu betonların fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Üretim çalışmaları kapsamında Portland çimentosu, SiO₂ oranı %97,1 olan silis dumanı, maksimum tane boyutu 19 mm olan kaba agrega ve maksimum tane boyutu 4,75 mm olan ince agrega kullanmışlardır. Beton üretimi kapsamında su/çimento oranını 0,45 ve 0,50 olarak ayarlayan çalışmacılar beton numunelerin bir kısmını kuru hava küründe diğer kısmını ise su küründe muhafaza etmişlerdir. Deneysel sonuçlara göre en yüksek basınç dayanımı, elastiklik modülü ve en düşük yüzeysel emme değerlerini suda kür edilen numunelerde elde ederlerken, hava küründe su kürüne göre daha düşük basınç dayanımı, elastiklik modülü ve daha yüksek yüzeysel emme değerleri elde etmişlerdir. Bunun nedeni olarak ise çimentonun hidratasyonu için betonun sürekli neme ihtiyaç duymasını göstermişlerdir. Aynı kür koşulları için su/çimento oranı arttıkça basınç dayanımı ve elastiklik modülünün azaldığını bununla beraber yüzeysel emmenin arttığını tespit etmişlerdir. Yine aynı kür koşulları için maksimum basınç dayanımı, elastiklik modülü ve minimum yüzeysel emme değerlerini silis dumanı katkılı beton serilerinde elde etmişlerdir.

Zaharieva vd. [61] geri kazanılmış agregalı betonların permeabilite özelliklerini belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Çalışma kapsamında su/çimento oranını sadece geri kazanılmış agregaya kullanarak ürettikleri betonlarda 0,61, 0,65 ve 0,66 olarak, hem geri kazanılmış agregaya hem de doğal agregaya kullanarak ürettikleri betonlarda 0,50 olarak ve sadece doğal agregaya kullanarak ürettikleri betonlarda ise 0,43 ve 0,48 olarak ayarlamışlardır. Ürettikleri beton numunelerin bir bölümünü havada diğer bölümünü ise suda kür etmişlerdir. Numuneler üzerinde hava permeabilitesi, su permeabilitesi ve yüzeysel permeabilite ölçümleri yapmışlardır. Deneysel sonuçlara göre geri kazanılmış agregaya kullanılan serilerde hava permeabilitesinin geleneksel betona göre yükseldiğini ölçerlerken bunun nedeni olarak su/çimento oranının azalmasının hava permeabilitesini azalttığını savunmuşlardır. Suda kür edilen numunelerde havada kür edilen numunelere göre hava permeabilitesinin daha düşük değerlerde olduğunu belirlemişlerdir. Su permeabilitesini geri kazanılmış agregalı serilerde geleneksel serilere göre yaklaşık 2 kat daha fazla ölçen çalışmacılar geri kazanılmış agregalı serilerde su/çimento oranının arttığı serilerde daha düşük su permeabilitesi ölçmüşlerdir. Bunun nedeni olarak ise beton karışımındaki geri kazanılmış agregaya tanelerinin miktarını göstermişlerdir. Yüzey permeabilitesi üzerine yaptıkları ölçümlerde geri kazanılmış agregalı serilerde normal serilere göre daha büyük değerler saptamışlardır. Bu durumun birincil nedeni olarak geri kazanılmış agregadaki yüksek su/çimento oranından dolayı suyun geri kazanılmış agregaya tarafından emilmesini ve aşamalı olarak çimento hamuruna transfer edilmesini göstermişlerdir.

Cabral vd. [42] değişik agregaya türlerinin ve farklı su/çimento oranlarının betonun basınç dayanımına ve elastiklik modülüne olan etkilerini inceleyebilmek için değişken su/çimento oranlarında, Brezilya kaynaklı beton harç ve tuğladan elde ettikleri kaba ve ince geri kazanılmış agregaları kullanarak beton serileri üretmişlerdir. Deneysel çalışmalar kapsamında geri kazanılmış agregayı doğal agregaya ile %0 ve %100 oranlarında yer değiştirirken su / çimento oranlarını ise 0,46, 0,60 ve 0,74 olarak kullanmışlardır. Deney sonuçlarına göre basınç dayanımı için en yüksek değeri tuğla parçalarından edinilen ince geri kazanılmış agregalı beton serisinde, en düşük değeri ise yine tuğla parçalarından edinilen kaba geri kazanılmış agregalı beton serisinde elde etmişlerdir. Su/çimento oranı arttıkça tüm serilerdeki basınç dayanımlarında azalma gözlemlenmiştir. Elastiklik modülü için en düşük değeri su/çimento oranı 0,74 olan tuğla parçalarından elde edilen kaba geri kazanılmış agregalı beton serisinde belirleyen

çalışmacılar, elastiklik modülü için en yüksek değeri ise betondan edinilen ince geri kazanılmış agregalı beton serilerinde sağlamışlardır.

Bhanja ve Sengupta [62] silis dumanının betonun basınç dayanımındaki etkilerini inceleyebilmek için deneysel çalışmalar yapmışlardır. Deneysel çalışma kapsamında 28 günlük dayanımı 54 MPa olan Portland çimentosu, SiO_2 oranı %90,9 olan silis dumanı, nominal boyutları 12,5 mm olan agrega ve doğal kum kullanmışlardır. Çalışmaları kapsamında su/çimento oranları 0.30, 0.34, 0.38 ve 0.42 olan, silis dumanı içeriği ise %5, %10, %15, %20, %25 ve %30 olan beton serilerini 100 mm küp, 150 mm küp, 100*200 mm silindir ve 100*300 mm silindir kalıplarda üretmişlerdir. Üretilen tüm numuneleri suda kür ederek 28 günlük basınç dayanım ölçümelerini yapmışlardır. Deney sonuçlarına göre silis dumanı katkısı ile beton basınç dayanımları için, 100 mm küp numunelerde %7 ile %36, 150 mm küp numunelerde %5 ile %37, 100*200 mm silindir numunelerde %9 ile %58, 100*300 mm silindir numunelerde ise %9 ile %48 oranlarında artışlar gözlemlenmiştir. Basınç dayanımındaki en büyük artışı su/çimento oranı 0,38 olan %25 oranında silis dumanı katkılı 100*200 mm silindir numunelerde %58 ile ölçmüşlerdir.

Chen vd. [63] geri kazanılmış agregalı betonların normal betonlara göre basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastiklik modülünü kıyaslayabilmek için yaptıkları çalışmalarda geri kazanılmış agrega içindeki tuğla-seramik oranını %0, %17, %33, %50 ve %67 olarak değiştirerek kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre geri kazanılmış agrega içindeki tuğla-seramik oranı arttıkça basınç dayanımında azalma meydana gelirken çekme dayanımında ve elastiklik modülünde major bir azalma oluşmamaktadır. Yaptıkları çalışma kapsamında geri kazanılmış agregaları yıkayarak ürettikleri beton serilerinde elde ettikleri dayanım değerlerinin, yıkanmamış agrega ile ürettikleri beton serilerindeki dayanım değerlerinden daha yüksek olduğunu gözlemlenmiştir. Araştırmacılara göre yıkanma ile agrega yüzeyindeki toz ve zararlı maddelerin uzaklaştırılmasıyla daha güçlü bir bağ etkisi oluşmaktadır.

Khatib [64] beton içerisinde değişik oranlarda kullanılan geri kazanılmış agregaların betonun özelliklerine etkisini inceleyebilmek için beton parçalarını ve tuğla parçalarını kullanarak deneysel çalışmalar yapmıştır. Beton üretimleri için su/çimento oranını 0.50 olarak sabit tutan çalışmacı geri kazanılmış agregayı %0, %25, %50 ve %100 oranlarında yer değiştirerek kullanmıştır. Çalışmalar kapsamında geri kazanılmış tuğla

parçalarının su emmesi %14.75, yoğunluğu 2050 kg/m^3 iken geri kazanılmış beton parçalarının su emmesi %6.25 ve yoğunluğu 2340 kg/m^3 olarak tespit edilmiştir. Çalışmacı yaptığı deneylerde geri kazanılmış tuğla ile üretilen betonların slump değerlerini geri kazanılmış beton ile üretilen betonlardan daha düşük bulmuştur. Deney sonuçlarına göre dayanım değerleri geri kazanılmış agregaya ikame oranı arttıkça azalmıştır. Bununla beraber 90 günlük deneylerde referans betona yakın dayanım değerleri elde edilmiştir. Geri kazanılmış agregaya oranı arttıkça ses geçiş hızı azalırken tuğla parçaları ile üretilen betonların ölçüm değerleri referans betona yakın ölçülmüştür. Tüm beton serilerinde 2263 kg/m^3 ile 2427 kg/m^3 arasında ölçülen yoğunluk değerleri geri kazanılmış agregaya oranı arttıkça azalmıştır. Geri kazanılmış beton parçalarından üretilen betonların geri kazanılmış tuğla parçalarından üretilen betonlardan daha yoğun olduğu saptanmıştır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada atık haldeki agrega geri kazanılarak doğal agrega ile beton içinde %0 ve %100 oranlarında yer değiştirilmiş, hazırlanan beton numunelerde 7, 28. ve 90. günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Beton üretiminde ayrıca mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5 ve %10 oranlarında kullanılmıştır. Laboratuara getirilen molozlar çeneli kırıcı ile kırılarak doğal agregalı beton serisi ile aynı granülometriye getirilmiş ve doğal agregalı beton ile aynı işlenebilmeye sahip geri kazanılmış agregalı beton serileri üretilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında 108 adet 15 cm boyutlu küp, 108 adet 10/20 cm boyutlu silindir ve 108 adet 7x7x7 cm boyutlu küp beton numune olmak üzere toplam 324 adet beton numune (=572 lt) üretilmiştir. Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması amacı ile planlanan deneysel çalışma, geri kazanılmış agrega elde edilmesi, numune üretilmesi, numunelerin kürü ve kontrol deneyleri olmak üzere 4 aşamada gerçekleştirilmiştir (Şekil 4.5).

4.1 Üretimde Kullanılan Malzemelerin Özellikleri

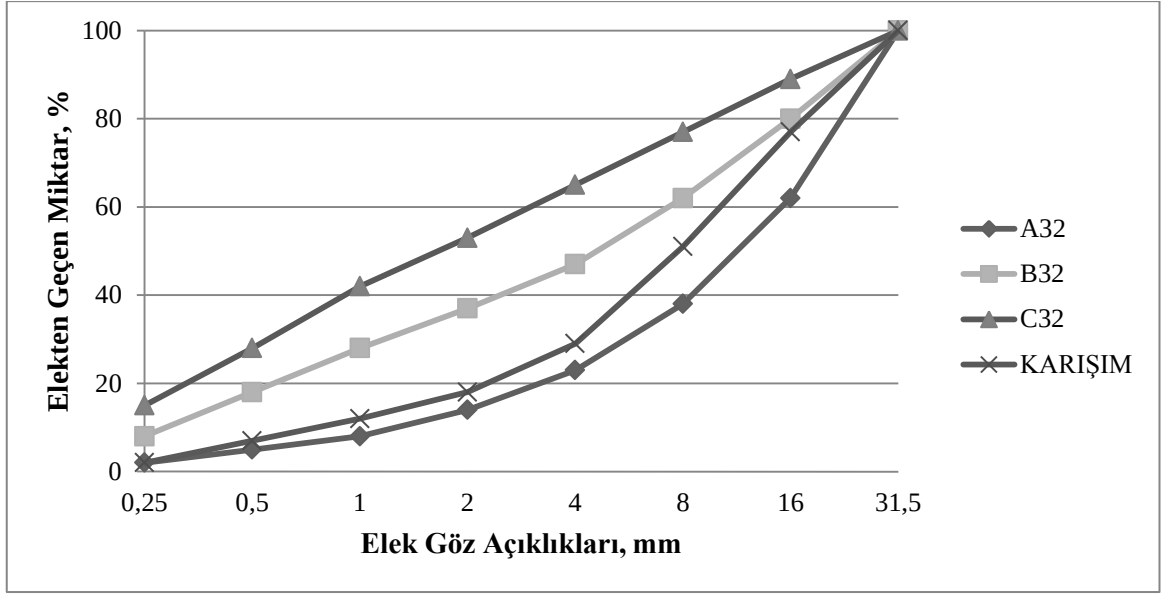
Deneysel çalışmalar kapsamındaki beton numune üretiminde doğal agrega, geri kazanılmış agrega, çimento, şehir şebeke suyu, mineral katkı maddesi olarak silis dumanı ve kimyasal katkı maddesi olarak yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Beton üretiminde kullanılan tüm malzemelerin özellikleri aşağıda verilmiştir:

4.1.1 Agrega

Beton üretiminde doğal agrega olarak maksimum dane çapı 31.5 mm olan kalker esaslı kırmataş ve maksimum dane çapı 4 mm olan silis esaslı doğal kum kullanılmıştır. Geri kazanılmış agrega temini için laboratuara getirilen molozlar su ile yıkanarak temizlenmiştir. Böylelikle agregaların, üzerinde bulunan toz vb. malzemelerden arındırılması sağlanmıştır. Agregaların özellikleri ve granülometrisi TS EN 1097-6'ya ve TS 3529'a uygun olarak belirlenmiştir. TS 3530 EN 933-1'e göre yapılan elek analizi sonuçları Çizelge 4.1 'de gösterilmiştir. Şekil 4.1'de görüldüğü gibi karışım agregasının granülometri eğrisi A32-B32 referans eğrileri arasında olması sağlanmıştır. Laboratuara getirilen molozlar su ile yıkandıktan sonra Şekil 4.2'de görülen çeneli kırıcı ile kırılmıştır. Daha sonra eleme aleti ile elenerek (Şekil 4.3) kırma taş (C32) agregasıyla aynı granulometriye getirilmiş, 24 saat su içinde bekletildikten sonra laboratuvar ortamında kurutulmasıyla geri kazanılmış agrega elde edilmiştir.

Çizelge 4.1 Agregaların elek analizi değerleri

Elek Gözü Di (mm)	Doğal Kum		Doğal Agrega No1		Doğal Agrega No2		Karışım
	Geçen	%P1	Geçen	%P1	Geçen	%P1	
31,5	750	100	3000	100	3000	100	100
22,4	750	100	3000	100	2922	97	100
16	750	100	2985	99,5	1066	36	100
11,2	750	100	2602	86,7	53	2	100
8	750	100	1797	59,9	11	0	100
4	646	86	313	10,4	0	0	86
2	426	57	93	3,1	0	0	57
1	291	39	38	1,3	0	0	39
0,5	166	22	0	0	0	0	22
0,25	56	7	0	0	0	0	7
Karışım Oranları	30%		35%		35%		100%



Şekil 4.1 Karışımın granulometri eğrisi



Şekil 4.2 Geri kazanılmış agregaların elenmesi



Şekil 4.3 Farklı tane boyutlarında elde edilen geri kazanılmış agregalar

4.1.2 Çimento

Beton üretiminde fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilen, AkçanSa San. A.Ş.’den temin edilen CEM I 42.5R çimentosu kullanılmıştır.

Çizelge 4.2 Çimentonun fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler		
Bileşim	Analiz Sonuçları (%)	Fiziksel Deneyler		Deney Sonuçları
CaO SiO ₂ Al ₂ O ₃ Fe ₂ O ₃ MgO SO ₃ Cl ⁻ Na ₂ O/K ₂ O Kükürt Kızdırma Kaybı Çözülmeyen Kalıntı	63.48 20.12 4.92 3.57 1.23 2.88 0.0425 0.24/0.89 - 1.72 0.92	Özgül Ağırlık (g/cm ³)		3.14
		Birim Ağırlık (g/cm ³)		1.1
		Priz Başlangıç		2 saat 9 dak.
		Priz Son		3 saat 11 dak.
		Hacim Sabitliği		1 mm
		Özgül Yüzey (cm ² /g)		3942
		Mekanik Özellikler		
		Basınç Dayanımı (MPa)		
		2.gün	7.gün	28.gün
		29.6	45.8	56.1

4.1.3 Katkı Maddeleri

Geri kazanılmış agregalı ve doğal agregalı betonlarda mineral katkı olarak Akçansa Çimento fabrikasından temin edilen silis dumanı kullanılmıştır. Mineral katkı maddesi çimento ağırlığına %5 ve %10 oranında ikame edilerek beton karışımına katılmıştır. Karışımda kullanılan silis dumanının özellikleri Çizelge 4.3 'te verilmiştir. Beton üretiminde tüm serilerde sabit kıvamı (S4) sağlamak amacı ile kimyasal katkı olarak, BASF Yapı Kimyasalları San. A.Ş.'den temin edilen Çizelge 4.3'te teknik özellikleri verilen Glenium SKY 608 kodlu polikarboksilik eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı yeni nesil süperakışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi katılmıştır. Kimyasal katkı maddesi TS EN 934-2 'de ifade edilen yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı beton katkısı ve ASTM C 494 'te verilen F tipi: yüksek oranda su azaltıcı süperakışkanlaştırıcı beton katkısı standartlarına uygundur. Karışımda istenilen çökme değeri %5 ve %10 oranında silis dumanı kullanılarak üretilen taze betonda sırası ile %0.8 ve %1.2 oranında süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ile sağlanmıştır.

Çizelge 4.3 Silis dumanının ve kimyasal katkının teknik özellikleri

Silis Dumanı		Kimyasal Katkı	
Malzemenin Yapısı	Yoğunlaştırılmış Mikrosilika	Yoğunluk (g/cm ³)	1.063 -1.103
Renk	Gri	Klor İçeriği (%)	< 0.1
Yoğunluk	0,55 – 0,70 kg/litre	Renk	Opak
Klor Miktarı (EN 480-10)	< 0.1	Homojenite	Homojen
İncelik	15000 m ² /gr	Alkali İçeriği (%)	< 3
Sio ₂ Oranı	> %85	Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
CaO Oranı	< %1		
SO ₃ Oranı	< %2		
Aktivite Endeksi	> %95		
Özgül Ağırlık	2300 kg/m ³		

4.2 Numune Üretimi ve Kodlanması

Beton üretiminde TS EN 206-1 standardında tanımlanan etki sınıflarından XS1 (deniz suyundaki klorürün sebep olduğu korozyon tehlikesi olan) etki sınıfı dikkate alınmıştır. Bu etki sınıfında minimum çimento dozajı 380 kg/m³, maksimum su/çimento oranı 0.50

ve minimum dayanım sınıfı C30/37 'dir. Geleneksel beton üretiminde doğal agregalar kullanılarak üretim yapılmıştır. Geri kazanılmış agregalı beton üretimi ise 0.25-31.5 mm dane çap aralığındaki doğal agreganın %0 ve %100 oranlarında aynı granulometriye sahip geri kazanılmış agregaya ile yer değiştirilmesiyle yapılmıştır. Beton üretiminde kullanılan tüm agregalar suya doymun yüzey kuru durumdayken kullanılmıştır. Geri kazanılmış agregaya yer değiştirme oranı %0 ve %100 olarak üretilen % 5 ve % 10 mineral katkılı beton numunelere verilen kodlar Çizelge 4.4'te açıklanmıştır. TS 802'ye göre yapılan beton tasarımı karışım hesaplarında bütün serilerde çökme değeri S4 (160-210 mm) olacak şekilde süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi ile sağlanmıştır. 1 m³ beton üretimi için gerekli malzeme miktarları Çizelge 4.5'te verilmiştir.

4.3 Numunelerin Kürü

Bütün numuneler üretimden 24 saat sonra kalıptan çıkartılmış ve deney gününe kadar Şekil 4.4'te gösterilen 20±2 °C sıcaklıktaki kirece doymun su içinde kür edilmiştir.



Şekil 4.4 Kalıplardan çıkarılan numunelerin kür edilmesi

Çizelge 4.4 Numune kodları

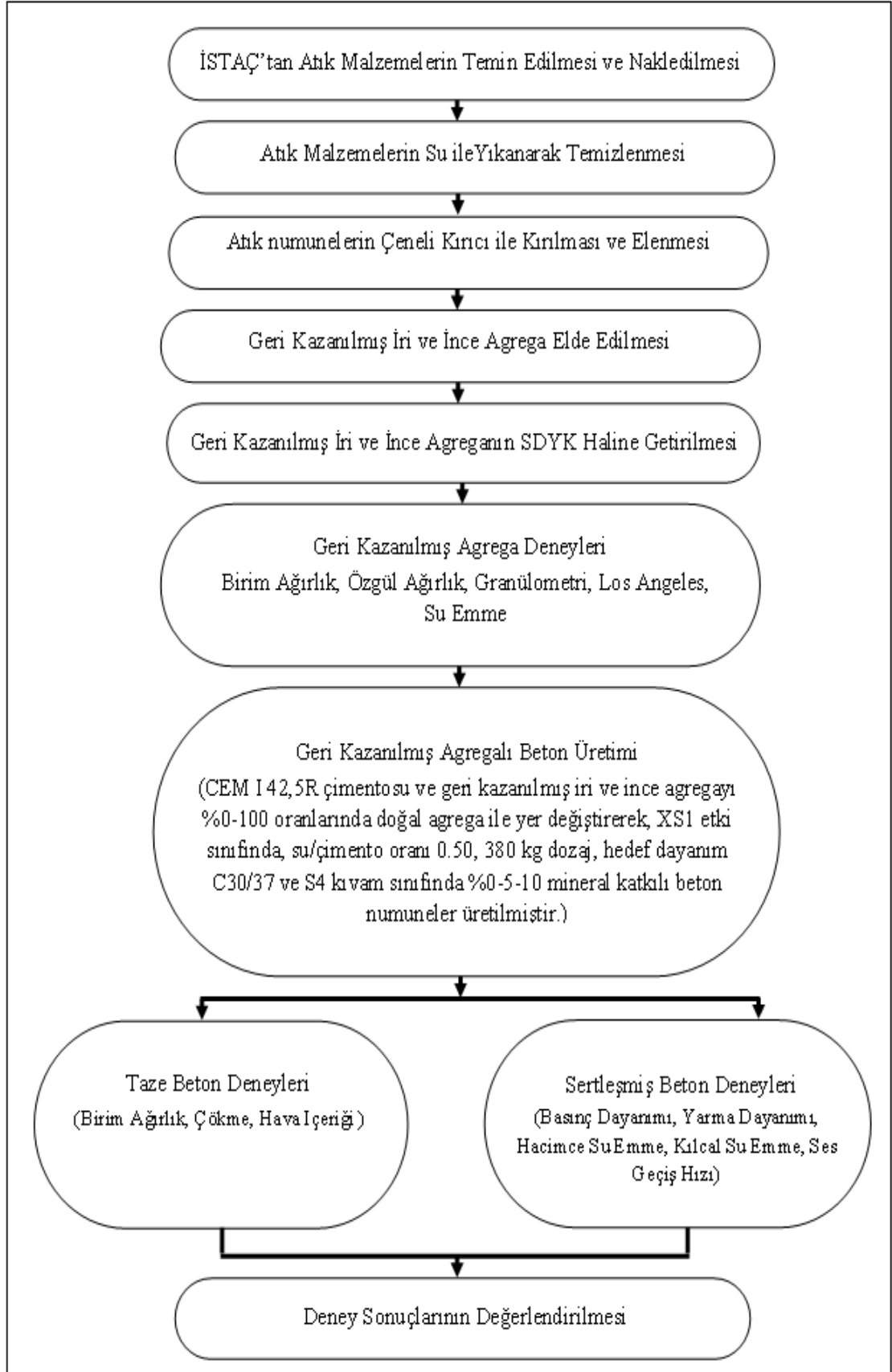
Numune Kodu	Açıklama
N	Doğal agregalı beton serisi
NS5	Doğal agregalı %5 mineral katkılı beton serisi
NS10	Doğal agregalı %10 mineral katkılı beton serisi
R1	İnce agregası % 100 geri kazanılmış olan beton serisi
R1S5	İnce agregası % 100 geri kazanılmış ve % 5 mineral katkılı olan beton serisi
R1S10	İnce agregası % 100 geri kazanılmış ve % 10 mineral katkılı olan beton serisi
R2	İri agregası % 100 geri kazanılmış beton serisi
R2S5	İri agregası % 100 geri kazanılmış ve % 5 mineral katkılı olan beton serisi
R2S10	İri agregası % 100 geri kazanılmış ve % 10 mineral katkılı olan beton serisi
R12	İri ve ince agregası % 100 geri kazanılmış ve beton serisi
R12S5	İri ve ince agregası % 100 geri kazanılmış ve % 5 mineral katkılı olan beton serisi
R12S10	İri ve ince agregası % 100 geri kazanılmış ve % 10 mineral katkılı olan beton serisi

Çizelge 4.5 1 m³ Taze beton için gerçek malzeme miktarları

Numune Kodu	Çimento Dozajı (kg)	Su (kg)	Katkı Maddesi (kg)		Doğal Agregat(kg)		Geri Kazanılmış Agregat(kg)	
			*KK	*MK	İnce	İri	İnce	İri
N	380	190	0	0	640	640	0	0
NS5	361			19	640	640	0	0
NS10	342			38	640	640	0	0
R1	380		3	0	0	640	640	0
R1S5	361			19	0	640	640	0
R1S10	342			38	0	640	640	0
R2	380		3	0	640	0	0	640
R2S5	361			19	640	0	0	640
R2S10	342			38	640	0	0	640
R12	380		5	0	0	0	640	640
R12S5	361			19	0	0	640	640
R12S10	342			38	0	0	640	640

*K. K. : Kimyasal Katkı Maddesi

*M. K. : Mineral Katkı Maddesi



Şekil 4.5 Deney planı

4.4 Taze Beton Deneyleri

Beton üretimi, düşey eksenli, cebri karıştırıcılı, 45 lt kapasiteli betoniyerde gerçekleştirilmiş, doğal ve geri kazanılmış agrega kullanılarak üretilen beton numunelerde taze betonun çökmesi (h, cm), taze beton yoğunluğu (D, kg/m³) ve hava içeriği (A, %) belirlenmiştir.

4.4.1 Birim Ağırlık Deneyi

Beton numunelerde TS EN 12390-6 'ya uygun olarak birim ağırlık deneyi yapılmıştır. Numuneler kütlesi (m₁, kg) ve hacmi (V, m³) belli olan bir kalıp içerisine sıkıştırılarak doldurulmuş, beton ile dolu olan kalıp tartılarak (m₂, kg), taze betonun birim ağırlıkları (D, kg/m³) bağıntı 4.1 ile bulunmuştur. Birim ağırlık değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (4.1)$$



Şekil 4.6 Birim ağırlık deneyi

4.4.2 Çökme Deneyi

Doğal ve geri kazanılmış agrega kullanılarak üretilen beton numunelerde çökme deneyi TS EN 12350-2 'ye uygun şekilde Şekil 4.7'de gösterilen kesik huni şekilli kalıba eşit kalınlıkta üç tabaka halinde ve her tabakanın 25 defa şişlenmesiyle sıkıştırılarak doldurulmuştur. Doldurma işleminden sonra kesik huni düşey şekilde yukarıya doğru çekilerek, kalıbın üst seviyesi ile çöken betonun en yüksek noktası arasındaki mesafe (h, cm) ölçülerek taze betonun çökmesi (slump) belirlenmiştir. Üretilen tüm serilerde işlenebilirliğin TS EN 206-1 standardında verilen kıvam sınıflarından S4 sınıfında (16-

21 cm) sabit tutulması amaçlanmış ve özellikleri verilen süperakışkanlaştırıcı katkı maddesini % 0.8-1.2 oranlarında kullanarak çökme değerleri 16 ile 21 cm arasında olması sağlanmıştır. Çökme deney sonuçları beton serileri için Çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.7 Taze betonda çökme deneyi

4.4.3 Hava İçeriği Tayini Deneyi

Taze betonda hava içeriği tayini deneyi TS EN 12350-7 'e uygun olarak yapılmıştır. Hava ölçer kabını üç aşamada, her kademesi 25 defa şişleme çubuğu ile şişlenerek sıkıştırılan taze betonun hava içeriği (A, %) Şekil 4.8'de görüldüğü gibi okunarak bulunmuştur. Taze betonda hava içeriği değerleri tüm seriler için Çizelge 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.8 Taze betonda hava içeriği tayini

Çizelge 4.6 Taze beton özellikleri

Numune Kodu	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Hava İçeriği (%)	Çökme (cm)
N	2430	1.7	18
NS5	2421	0.6	19
NS10	2390	0.9	18
R1	2392	1.0	20
R1S5	2415	0.5	19
R1S10	2393	0.6	18
R2	2425	1.7	18
R2S5	2412	0.5	20
R2S10	2387	0.6	19
R12	2393	0.9	20
R12S5	2415	0.7	20
R12S10	2393	0.7	20

4.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Doğal ve geri kazanılmış agrega ile mineral katkısız, % 5 ve % 10 mineral katkılı üretilen beton numunelerde 7., 28. ve 90. günlerde aşağıda açıklanan fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır.

4.5.1 Fiziksel Deneyler

Doğal agrega veya geri kazanılmış agrega ile üretilen beton numunelerde 7., 28. ve 90. günlerde yoğunluk, hacimce su emme, kılcal su emme katsayısı ve ultrases geçiş süresi deneyleri gerçekleştirilmiştir.

4.5.1.1 Yoğunluk Tayini

Sertleşmiş betonda yoğunluk tayini deneyi numunelerde, kalıptan çıkarılıp kür havuzunda bekletildikten sonra TS 12390-7'ye uygun şekilde yapılmıştır. Beton numunelerin yoğunluk tayini 15x15x15 cm boyutlardaki küp numunelerde yapılmıştır. Numuneler suya doygun yüzey kuru durumdayken hassas terazi ile kütlesi (m, kg) belirlenmiş ve düzgün hacimli olduğu kabul edilerek numune kütlesini hacmine (V, m³) oranlayarak sertleşmiş betonun yoğunluğu (D, kg/m³) bağıntı 4.2 ile tayin edilmiştir. Sertleşmiş betonun 7., 28. ve 90. günler için yoğunluk tayini deney sonuçları Çizelge A. 1' de verilmiştir.

$$D = \frac{m}{V} \quad (4.2)$$

4.5.1.2 Hacimce Su Emme Deneyi

Beton numunelerin hacimce su emme deneyi 7x7x7 cm boyutlardaki küp numunelerde yapılmıştır. Deney numuneleri etüvde 105±5 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra desikatörde ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş ve kuru tartımları alınmıştır (W_0). Bu numuneler 24 saat 20±3 °C olan su içinde bekletildikten sonra suya doymun hale getirilmiş ve suya doymuşunun havadaki ağırlığı (W_{SH}) ile suya doymuşunun su içindeki ağırlığı (W_{SS}) belirlenmiştir. Tartımlar 0.1 g duyarlılıklı 5500 g kapasiteli dijital terazide yapılmış, hacimce su emme oranları (h_s , %) 4.3 bağıntısı yardımı ile hesaplanarak tüm serilerde 7., 28. ve 90. günlerdeki sonuçlar Çizelge A.2’ de verilmiştir.

$$h_s = \frac{W_{SH} - W_0}{W_{SH} - W_{SS}} \quad (4.3)$$

4.5.1.3 Kılcal Su Emme Deneyi

Beton numunelerde kılcal su emme deneyi 7x7x7 cm boyutlardaki küp numunelerde gerçekleştirilmiştir. Deney numuneleri etüvde 105±5 °C sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulduktan sonra, desikatörde ortam sıcaklığına kadar soğutulmuş ve kuru tartımları alınmıştır (W_0). Numunelerin su ile temas edecek yüzey alanı (F , cm²) boyutları kumpas ile ölçülerek belirlenmiştir. Numuneler içinde 20±3 °C sıcaklıkta su bulunan bir kap içerisindeki Şekil 4.9’da görüldüğü gibi bagetlerin üzerine 5 mm’lik kısmı su içinde kalacak şekilde suya bırakılmış ve her birinin 1, 4, 9, 16, 25, 36, 49 ve 64. dakikalardaki (t , dk) su emme miktarı 0.1 g duyarlılıkla tartılarak kütle değişimleri (Q , cm³) belirlenmiştir. Kılcal su emme katsayısı (K , cm²/sn), $Q/F-\sqrt{t}$ grafiği çizilerek belirlenen doğrunun eğiminden elde edilmiştir. Sertleşmiş betonun 7., 28. ve 90. günler için kılcal su emme deney sonuçları tüm seriler için Çizelge A.3’ te verilmiştir.

$$K = \frac{Q^2}{F^2 \times t} \quad (4.4)$$



Şekil 4.9 Kapiler su emme deneyi

4.5.1.4 Ultrases Deneyi

Beton numunelerde ultrases deneyi 15 cm boyutlardaki küp numunelerde yapılmıştır. Beton numunelerde frekansı 55 kHz, modeli ASTM 597-02 (2002) ve BS 1881 Part 203 (1986)'ya uygun olan ultrases aleti ile Şekil 4.10'da görüldüğü gibi ses geçiş süresi (t, μ s) ölçülmüştür. Ölçümlerde direkt iletim yöntemi uygulanmış, ölçümler proplar yer değiştirilerek 2 kez tekrarlanmıştır. Ölçüm yapılan numunede proplar arası mesafenin (L, mm), okunan süreye (t, μ s) oranlanması ile ses geçiş hızı (V, mm/ μ sn) bağıntı 4.5 ile hesaplanmıştır. Ultrases deneyi 7., 28. ve 90. günlerde yapılmış ve deney sonuçları Çizelge A.4'te verilmiştir.

$$V = \frac{L}{t} \quad (4.5)$$



Şekil 4.10 Ultrases geçiş hızı ölçüm deneyi

4.5.2 Mekanik Deneyler

Doğal agregaya veya geri kazanılmış agregaya kullanılarak üretilen 108 adet 15x15x15 cm boyutlu küp ve 108 adet 10/20 cm boyutlu silindir beton numunede 7., 28. ve 90. günlerde mekanik deneylerden tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır.

4.5.2.1 Basınç Deneyi

Beton numunelerde basınç dayanımını belirlemek amacıyla 7., 28. ve 90. günlerde kür havuzundan çıkarılan 15x15x15 cm boyutlu küp numunelerde TS EN 12390-3'e uygun şekilde basınç deneyi yapılarak kırma yükü (F, kN) belirlenmiştir. Basınç deneyinde 3000 kN kapasiteli Auto Test basınç aleti kullanılmış ve yükleme hızı 0.4 MPa/sn ayarlanarak deney yapılmıştır (Şekil 4.11). Basınç dayanımının (f_c , MPa) ortalama değerleri Çizelge A.5'te verilmiştir.



Şekil 4.11 Basınç deneyi

4.5.2.2 Yarmada Çekme Deneyi

Beton numunelerde yarmada çekme dayanımını belirlemek amacıyla 7., 28. ve 90. günlerde kür havuzundan çıkarılan 10/20 cm boyutlu silindir numunelerde Şekil 4.12'de görüldüğü gibi TS EN 12390-6'ya uygun şekilde yarmada çekme deneyi gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12'de gösterilen yarma aparatının içine yerleştirilmiş deney numuneleri 3000 kN kapasiteli universal basınç aletinde 0.03 MPa/sn'lik sabit yükleme

hızı ile kırma yükü (F, N) belirlenmiştir. Yarmada çekme dayanımı (f_{ct} , MPa) 4.8 bağıntısı yardımı ile hesaplanmış ve sonuçlar Çizelge A.6'da verilmiştir.

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi \cdot L \cdot d} \quad (4.8)$$

Bağıntıda;

L :Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d :Numunenin seçilen en kesit boyu, mm.



Şekil 4.12 Yarmada çekme deneyi

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı, %0 ve %100 oranında iri ve ince agregası geri kazanılmış agregaya ile yer değiştirilmiş mineral katkısız, %5 ve %10 mineral katkılı (silis dumanı), 12 farklı tipte betonun üretildiği bu deneysel çalışma kapsamında agregalarda, taze beton numunelerde ve 7., 28. ve 90. günlerde sertleşmiş beton numunelerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre aşağıdaki değerlendirmeler yapılmıştır.

5.1 Agregaya Özellikleri

Deneysel çalışmalar kapsamında agregalar üzerinde birim ağırlık, özgül ağırlık, granülometri analizi, Los Angeles aşınma ve su emme deneyleri yapılmıştır. Agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir. Deneysel sonuçlara göre geri kazanılmış agreganın, doğal agregaya göre birim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerinin daha düşük olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 5.1 Agregaların fiziksel özellikleri

Agregalar	Agrega Tipi	Tane Boyutu (mm)	β (kg/dm ³)	γ (kg/dm ³)
Doğal Kum	Silis Esaslı	0,25 - 4,0	1,51	2,55
Doğal Agregaya No 1	Kalker Esaslı	2,0-16,0	1,39	2,67
Doğal Agregaya No 2	Kalker Esaslı	8,0-31,5	1,30	2,67
Geri Kazanılmış Agregaya No 1		2,0-16,0	1,22	2,37
Geri Kazanılmış Agregaya No 2		8,0-31,5	1,26	2,38

Doğal ve geri kazanılmış agreganın özelliklerini karşılaştırmak amacıyla TS EN 1097-2'ye uygun olarak yapılan aşınma direnci tayini ve TS EN 1097-6'ya uygun olarak yapılan su emme deneyi deney sonuçları Çizelge 5.2'te verilmiştir. Deney sonuçlarına göre geri kazanılmış agreganın Los Angeles aşınma değerinin ve su emme oranının doğal agregaya göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.2 Agregalarda yapılan L.A. ve su emme deney sonuçları

Agregalar	Tane Boyutu (mm)	Elek Üstü Kalan Miktar (gr)	Aşınma Değeri	Los Angeles Katsayısı	Su Emme Oranı (%)
Doğal Agreg	4,0-8,0				0,5
Doğal Agreg	8,0-11,2	4201,70	15,97	LA ₂₀	
Doğal Agreg	11,2-16,0	4193,60	16,13	LA ₂₀	
Doğal Agreg	16,0-31,5	4282,00	14,36	LA ₁₅	
Geri Kazanılmış Agreg	4,0-8,0				3,0
Geri Kazanılmış Agreg	8,0-11,2	3512,80	29,74	LA ₃₀	
Geri Kazanılmış Agreg	11,2-16,0	3627,10	27,46	LA ₃₀	
Geri Kazanılmış Agreg	16,0-31,5	3772,20	24,56	LA ₂₅	

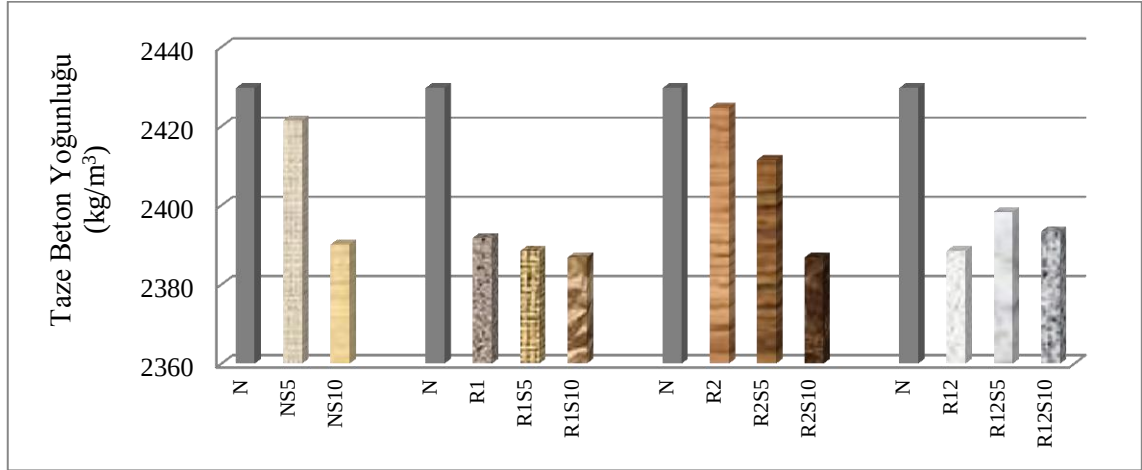
5.2 Taze Beton Özellikleri

Taze betonda işlenebilmenin belirlenmesi amacı ile tüm serilerde TS EN 12350-2'ye uygun olarak yapılan çökme (slump) deney sonuçlarına göre, üretilen tüm serilerin işlenebilmesi TS EN 206-1'de verilen kıvam sınıflarından S4 sınıfında (16-21 cm), süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanarak sabit tutulmuştur. TS EN 12350-7 'e uygun olarak yapılmış olan taze betonda hava içeriği deneyi sonuçları incelendiğinde (Çizelge 4.6) doğal (N) ve geri kazanılmış agreg (R) ile üretilen katkısız, %5 ve %10 mineral katkılı serilerin hava içeriklerinde belirgin farklılık görülmüştür.

5.2.1 Taze Beton Yoğunluğu

Taze betonda TS EN 12350-6'ya uygun olarak yapılan yoğunluk deneyi sonuçlarına göre, taze beton yoğunluğu en düşük 2387 kg/m³ ile R2S10, en yüksek 2430 kg/m³ ile

N serisindedir (Şekil 5.1). Geri kazanılmış agreganın yoğunluğunun doğal agrega yoğunluğundan daha az olması nedeniyle geri kazanılmış agrega yer değiştirme oranı arttıkça taze beton yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. Ayrıca çimentonun yerine ikame edilen silis dumanının özgül ağırlığının çimentonun özgül ağırlığından daha düşük olması nedeniyle yoğunluk azalmıştır. Doğal agregalı mineral katkısız taze betona göre, taze beton yoğunluğundaki azalma geri kazanılmış agrega ve silis dumanı nedeniyle en fazla %2'dir.



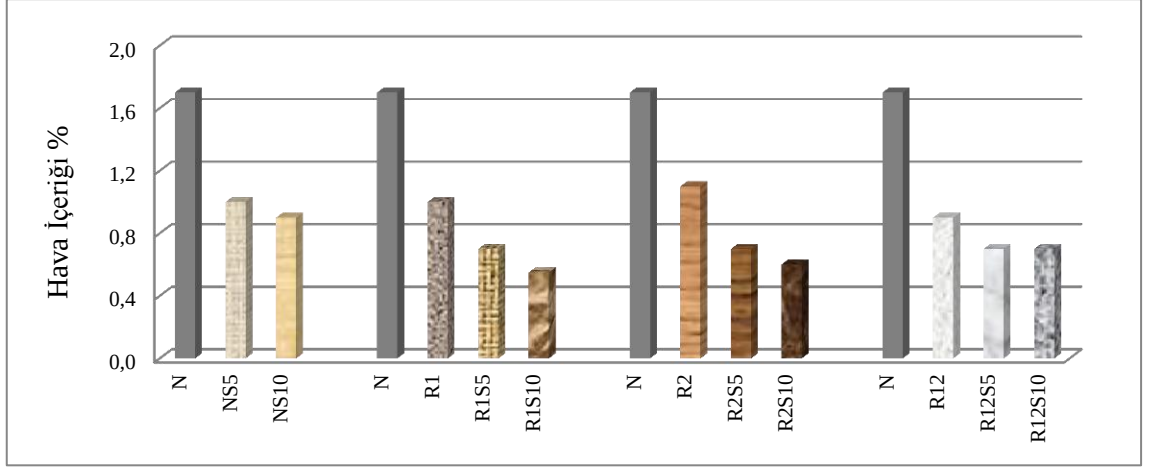
Şekil 5.1 Taze beton yoğunluğu

5.2.2 Çökme

Doğal (N) ve geri kazanılmış agrega (R) ile üretilen beton serilerinde işlenebilme %0.8-%1.2 arasında değişen miktarlarda süperakışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılarak sabit tutulmuş (S4) ve çökme kayıpları belirlenmiştir. TS EN 12350-2'ye uygun olarak yapılan çökme deneyi sonuçları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre tüm seriler S4 kıvam sınıfı limit değerlerinin içinde kalmıştır.

5.2.3 Hava İçeriği

Taze betonda TS EN 12350-7'ye uygun olarak yapılan hava içeriği deney sonuçlarına göre, beton üretiminde doğal agrega ve geri kazanılmış agrega kullanılarak üretilen tüm beton serilerinde silis dumanı kullanım oranı arttıkça taze betondaki hava içeriği azalmıştır. Deney sonuçlarına göre taze betonda hava içeriği en düşük %0.55 ile R2S10, en yüksek %1.7 ile N serisindedir. (Şekil 5.2). Bu durum, çimentodan daha ince yapıya sahip olan silis dumanının boşlukları doldurması ve hava içeriğinde azalmaya sebep olması şeklinde açıklanabilir.



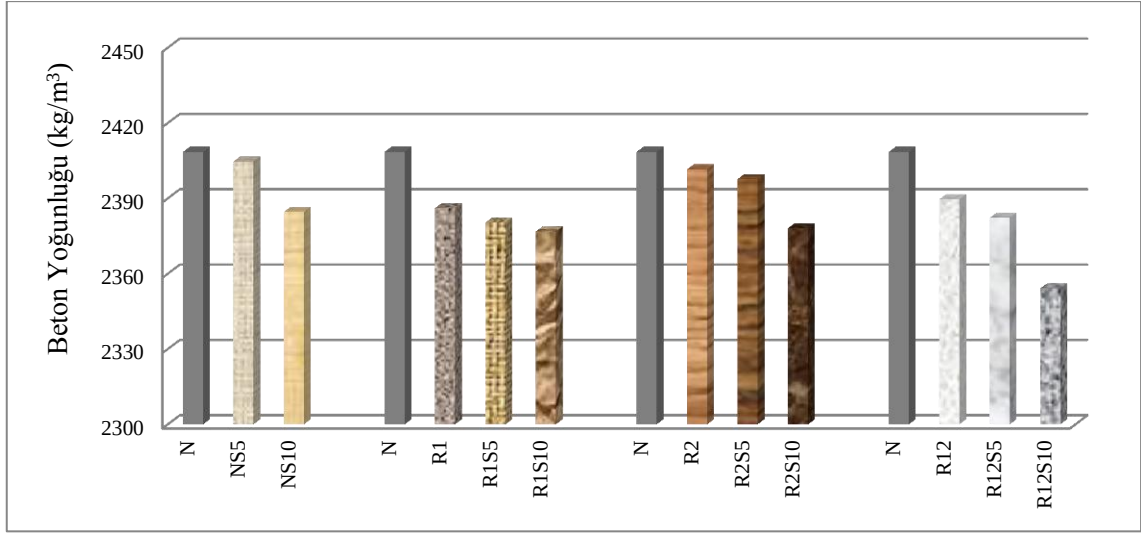
Şekil 5.2 Taze betonda hava içeriği

5.3 Sertleşmiş Beton Özellikleri

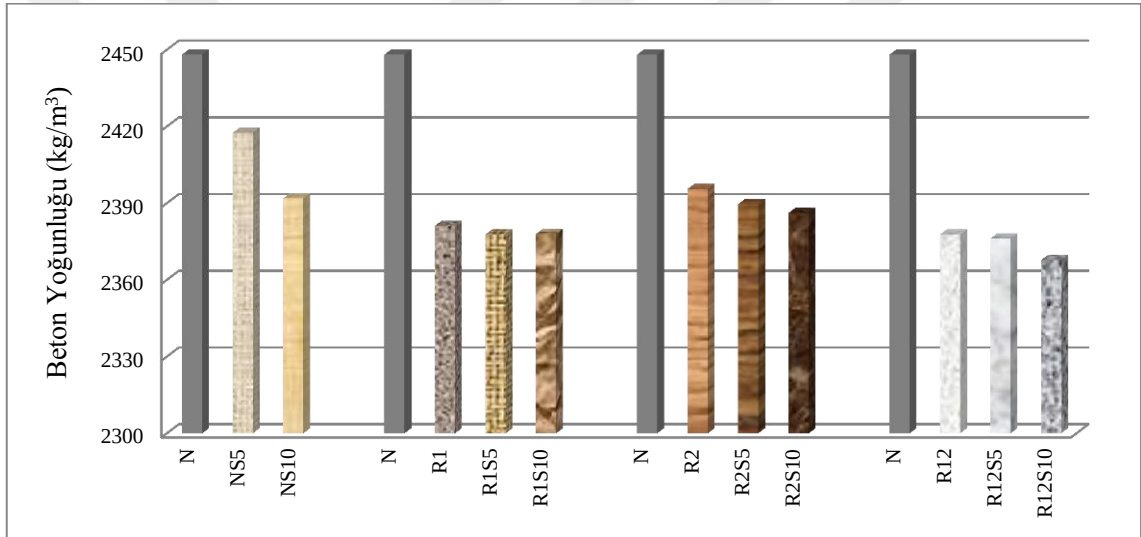
Geri kazanılmış agreganın %0 ve %100 oranında doğal agregaya ile yer değiştirilmesiyle üretilen mineral katkısız, %5 ve %10 mineral katkılı beton serilerinde 7., 28. ve 90. günlerde yapılan sertleşmiş beton deney sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

5.3.1 Yoğunluk

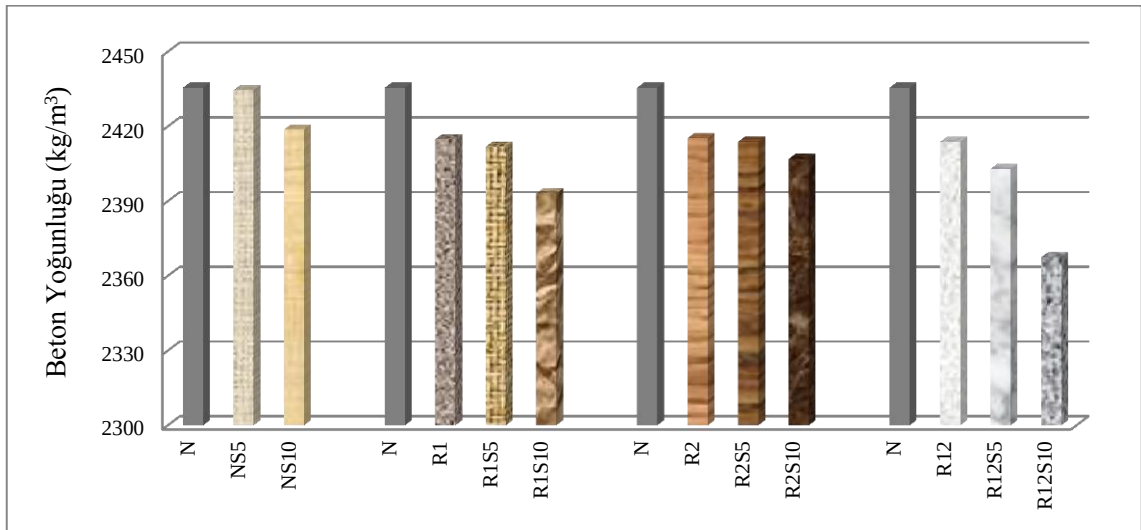
Sertleşmiş beton yoğunluğu ve yerdeğiştirme oranı ilişkisi 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla Şekil 5.3a, b, c’de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tüm serilerde ve tüm günlerde sertleşmiş betonun yoğunluğu en düşük 2354 kg/m^3 ile R12S10-7, en yüksek 2448 kg/m^3 ile N-28 serisindedir. Zamanla tüm serilerin yoğunluğunun arttığı, ancak geri kazanılmış agreganın birim ağırlığı doğal agregaya göre daha düşük olduğundan beton numunelerde geri kazanılmış agregaya miktarı ve silis dumanı oranı arttıkça beton yoğunluğunun azaldığı görülmüştür. Doğal agregalı mineral katkısız betona göre sertleşmiş betonun yoğunluğundaki azalma en fazla 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla % 2.3, % 3.3 ve % 2.8 ile R12S10 serisindedir. (Çizelge A.1).



Şekil 5.3a Yoğunluk – ikame oranı ilişkisi (7. gün)



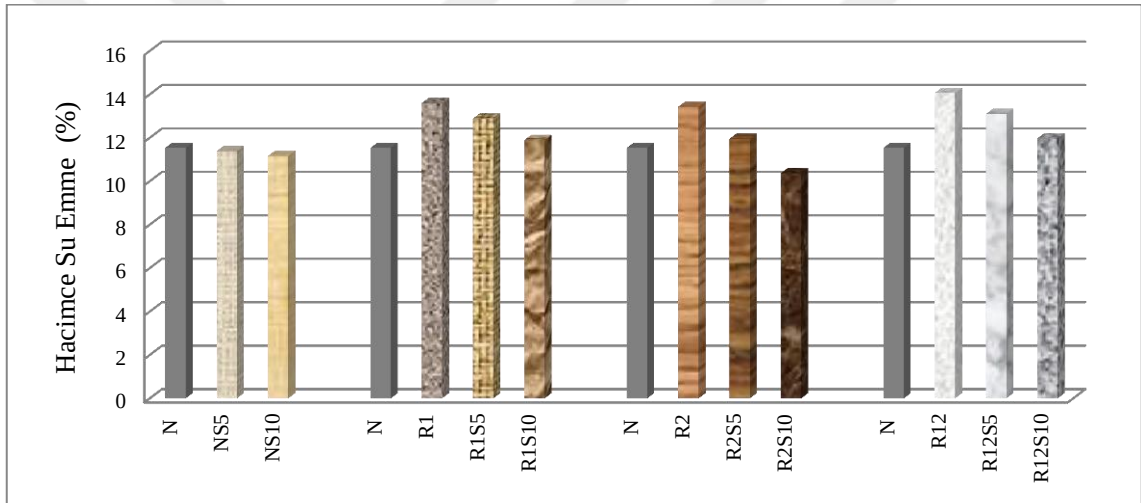
Şekil 5.3b Yoğunluk – ikame oranı ilişkisi (28. gün)



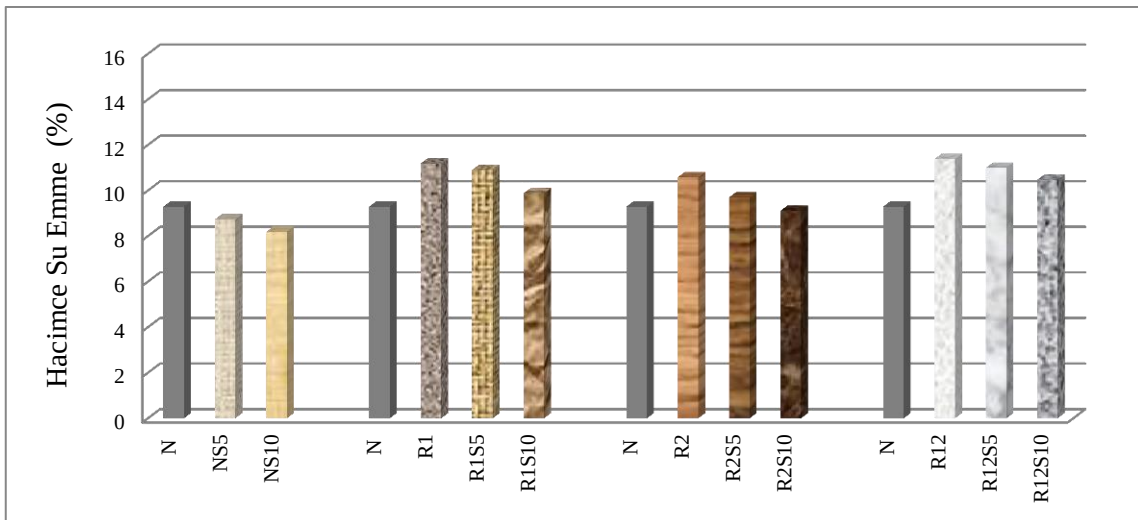
Şekil 5.3c Yoğunluk – ikame oranı ilişkisi (90. gün)

5.3.2 Hacimce Su Emme Oranı

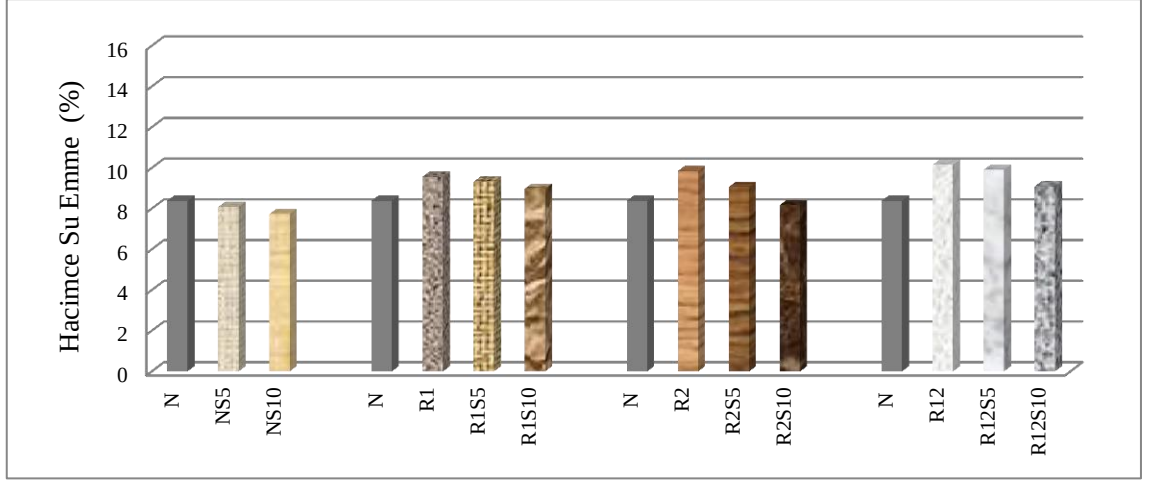
Hacimce su emme oranı ve yerdeğiştirme oranı ilişkisi 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla Şekil 5.4a, b, c’de ve Çizelge A.2’de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre tüm serilerde ve tüm günlerde betonun hacimce su emme oranı en düşük %7.73 ile NS10-90, en yüksek %14.06 ile R12-7 serisi olduğu görölmektedir. Zamanla tüm serilerin hacimce su emme oranları azalmış ancak geri kazanılmış agrega miktarı arttıkça betonun hacimce su emme oranı artmıştır. Silis dumanının hacimce su emme oranına olumlu etkisi görölmüştür. Silis dumanı miktarı arttıkça hacimce su emme oranı azalmıştır. Silis dumanı katkısız geri kazanılmış agregalı beton serilerinde, geri kazanılmış agrega yerdeğiştirme oranı arttıkça, tüm günlerde hacimce su emme oranlarında artış olduğu görölmüştür.



Şekil 5.4a Hacimce su emme – ikame oranı ilişkisi (7. gün)



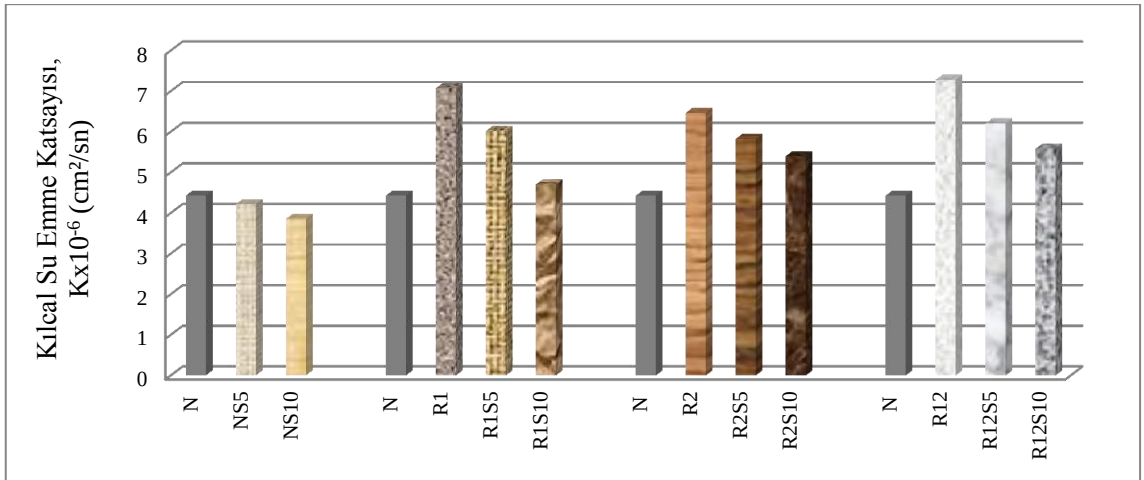
Şekil 5.4b Hacimce su emme – ikame oranı ilişkisi (28. gün)



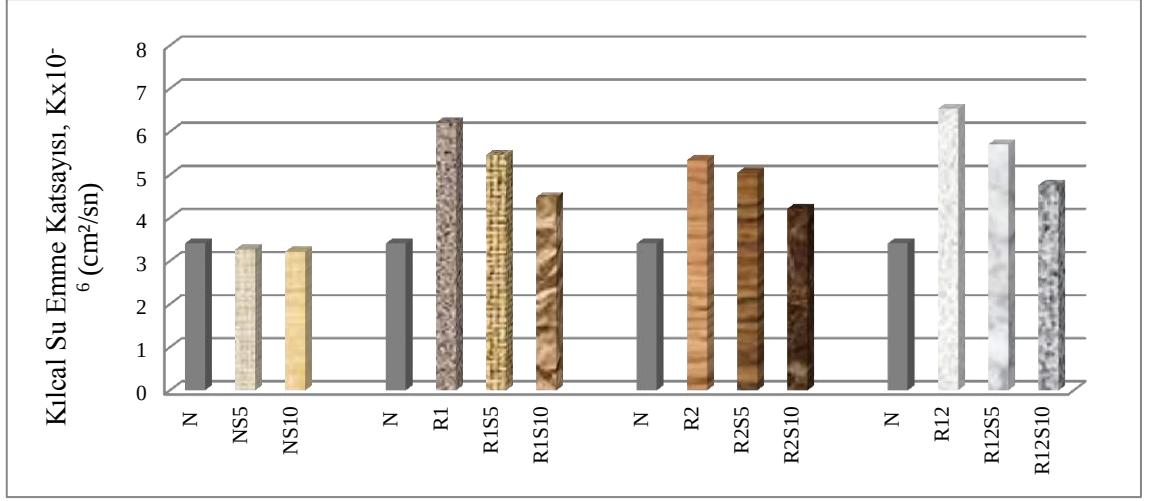
Şekil 5.4c Hacimce su emme – ikame oranı ilişkisi (90. gün)

5.3.3 Kılcal Su Emme Katsayısı

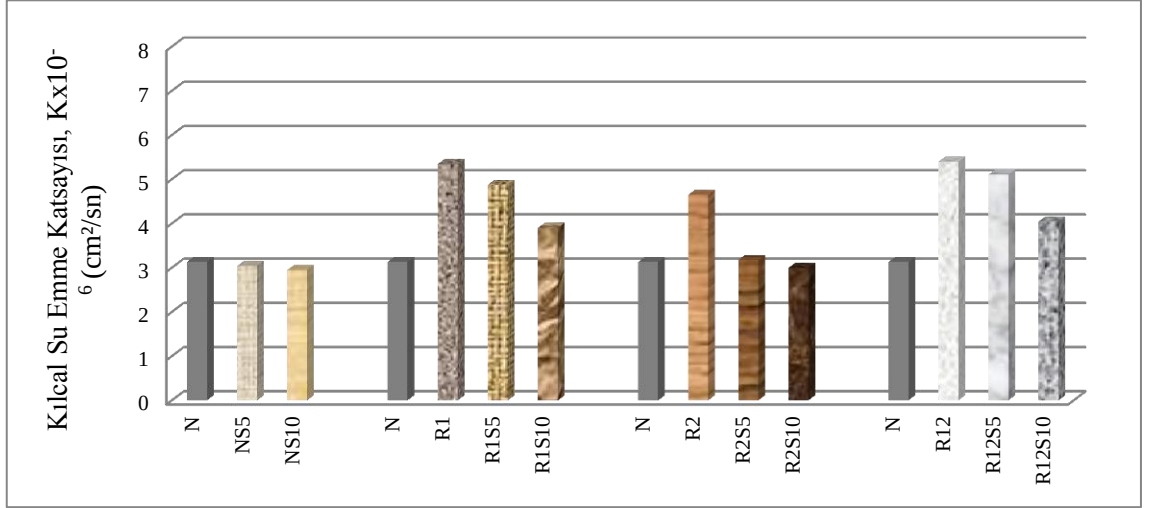
Kılcal su emme katsayısı ve yerdeğiştirme oranı ilişkisi 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla Şekil 5.5a, b, c’de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre tüm serilerde ve tüm günlerde betonun kılcal su emme katsayısı en yüksek $7.3 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ değeri ile R12-7, en düşük $2.9 \times 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{sn}$ değeri ile NS10-90 serisindedir. Zamanla tüm serilerin kılcal su emme katsayısı azalmış ancak tüm günlerde geri kazanılmış agrega miktarı arttıkça betonun kılcal su emme katsayısı artmıştır. Silis dumanı katkısız geri kazanılmış agregalı beton serilerinde, geri kazanılmış agrega yerdeğiştirme oranı arttıkça, tüm günlerde kılcal su emme katsayısında artış olduğu görülmüştür. Geri kazanılmış agregalı beton serilerinde silis dumanı oranı arttıkça, kılcal su emme katsayısı azalmıştır. Doğal agregalı mineral katkısız betona göre kılcal su emme katsayısında artış en fazla 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla % 64, % 48 ve % 23 ile R12 serisindedir (Çizelge A.3).



Şekil 5.5a Kılcal su emme katsayısı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)



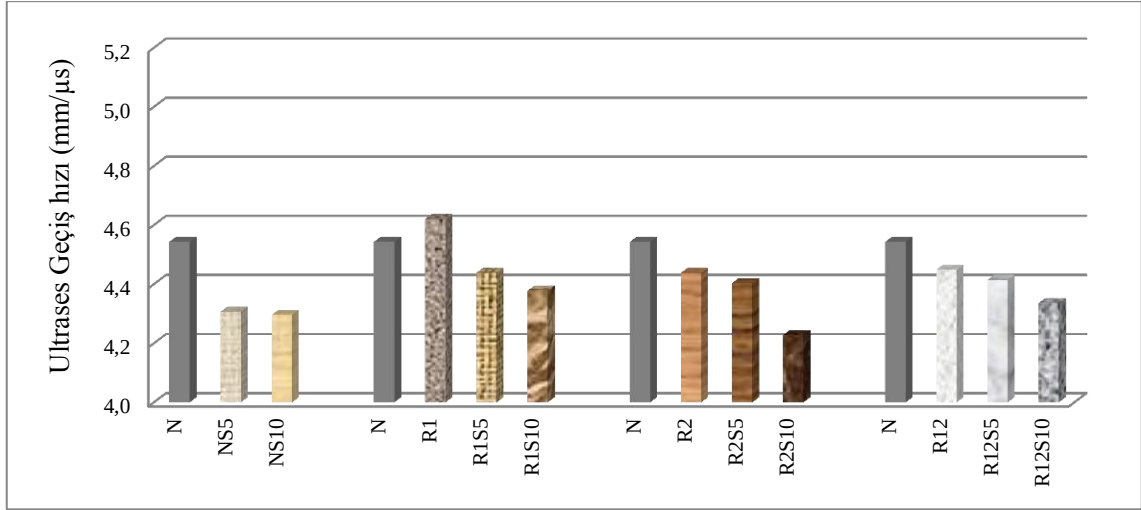
Şekil 5.5b Kılcal su emme katsayısı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)



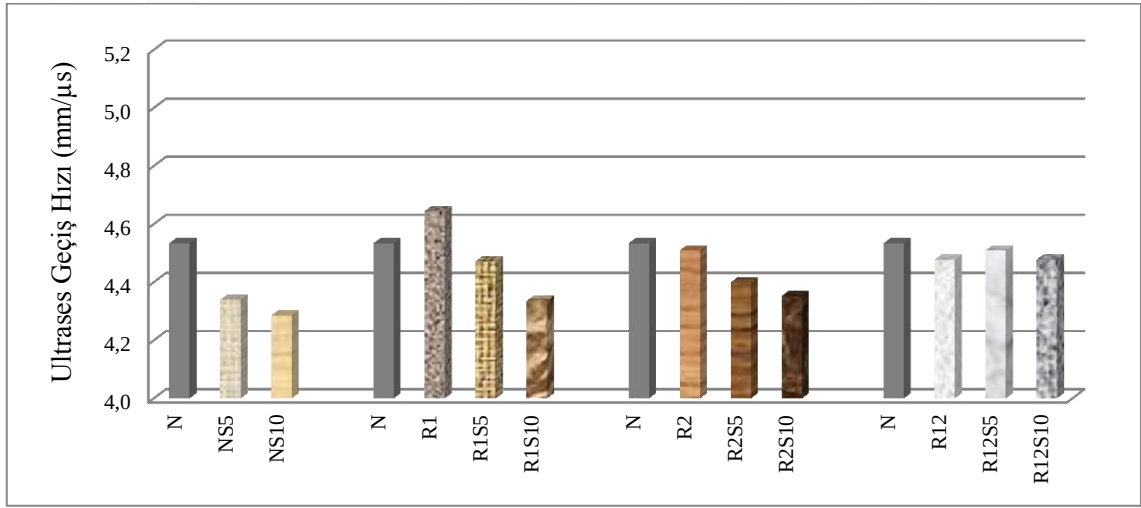
Şekil 5.5c Kılcal su emme katsayısı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)

5.3.4 Ultrases Geçiş Hızı

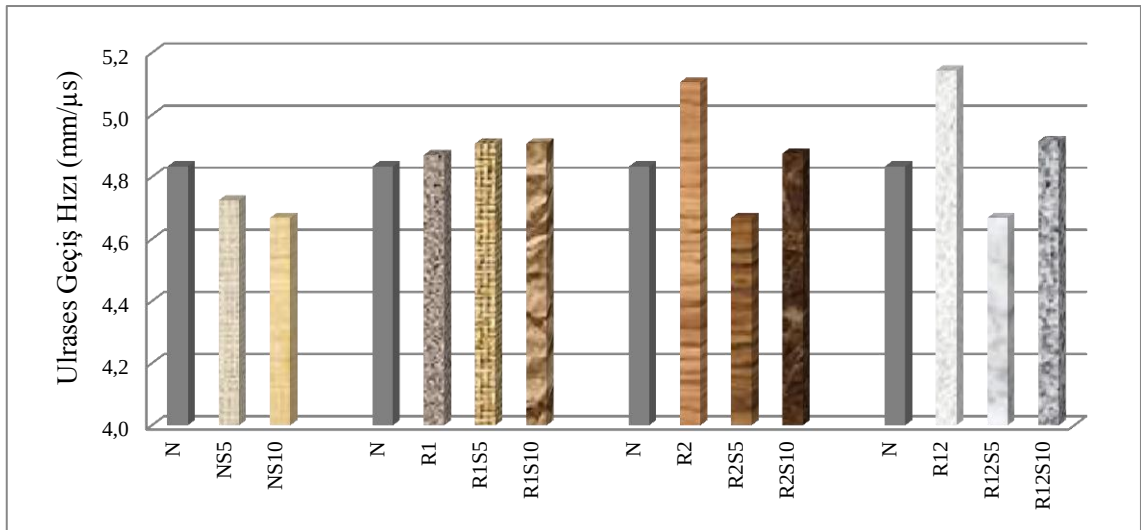
Ultrases geçiş hızı ve yerdeğiştirme oranı ilişkisi 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla Şekil 5.6a, b, c’de verilmiştir. Deney sonuçları incelendiğinde, tüm serilerde ve tüm günlerde betonun ultrases geçiş hızı en yüksek 5.1 mm/μs değeri ile R12-90, en düşük ise 4.2 mm/μs değeri ile R2S10-7 serisindedir. Zamanla tüm serilerin ultrases geçiş hızı artmış ancak geri kazanılmış agrega miktarı arttıkça betonun ultrases geçiş hızı azalmıştır. Silis dumanı kullanımı erken yaşlarda ultrases geçiş hızını azaltırken geç yaşta ultrases geçiş hızını artırıcı etki göstermiştir. Ultrases geçiş hızındaki artış oranı R1, R2 ve R12 serilerinde 90. günde sırasıyla %9, %13 ve %13’tür. Doğal agregalı mineral katkısız betona göre ultrases geçiş hızında azalma en fazla 7. günde %7 ile R2S10 serisindedir (Çizelge A.4).



Şekil 5.6a Ultrases geçiş hızı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)



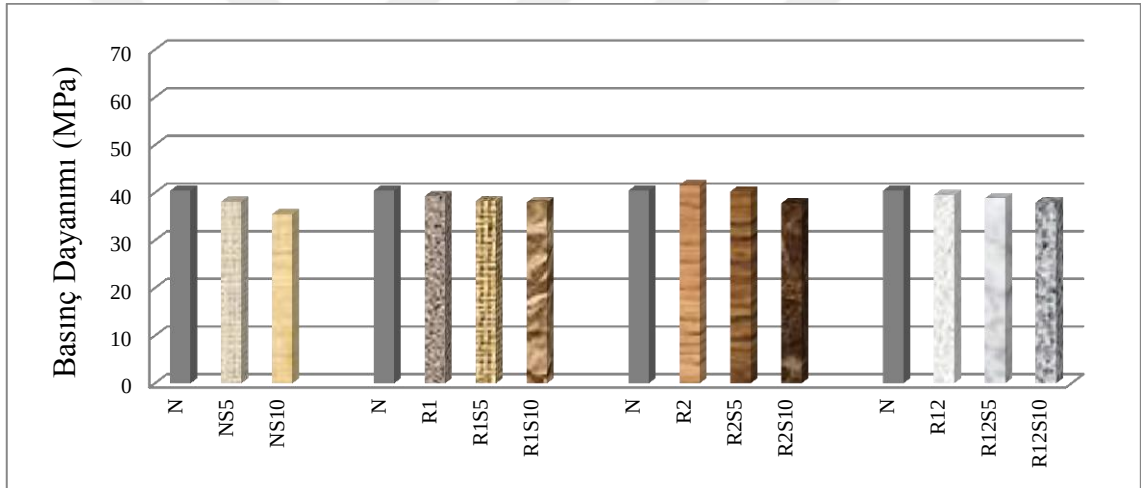
Şekil 5.6b Ultrases geçiş hızı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)



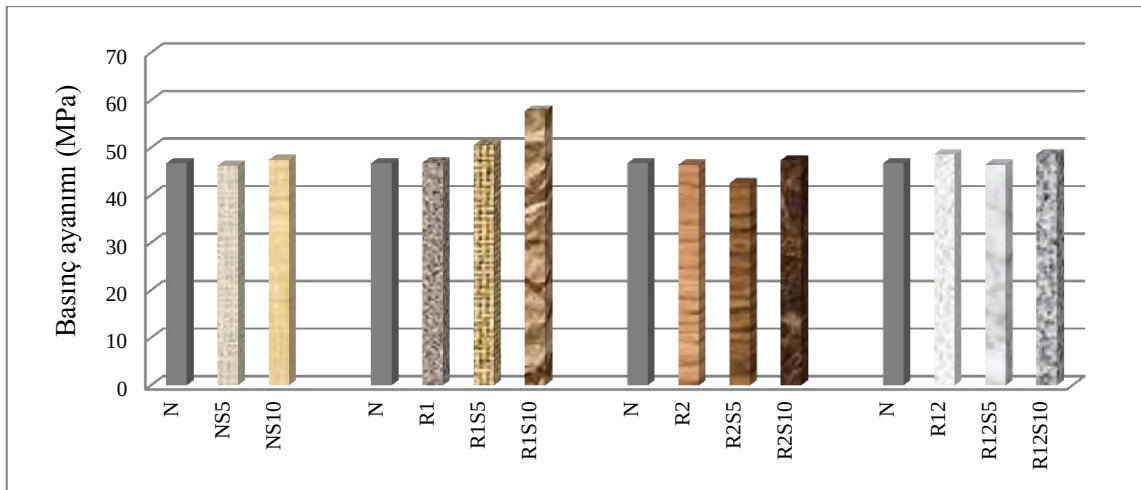
Şekil 5.6c Ultrases geçiş hızı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)

5.3.5 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı ve yerdeğiştirme oranı ilişkisi 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla Şekil 5.7a, b, c'de ve Çizelge A.5'te verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tüm serilerde ve tüm günlerde betonun basınç dayanımı en yüksek 59,1 MPa değeri ile R1S10-90, en düşük 35.5 MPa değeri ile NS10-7 serisindedir. Zamanla tüm serilerin basınç dayanımında artış saptanmıştır. Silis dumanının kullanılması ve oranlarının artırılması 7. günde basınç dayanımını azalttığı ancak 28. ve 90 günlerde dayanımın arttığı gözlemlenmiştir. Silis dumanı katkısız geri kazanılmış agregalı beton serilerinde, N serisine göre 7. günde R1 ve R12 serileri %3 azalmış R2 serisi ise %3 artmıştır. 28. günde R1, R2 ve R12 serilerinin basınç dayanımı N serisine göre sırasıyla %16, %15 ve %20 artmıştır. 90. günde R1, R2 ve R12 serilerinin basınç dayanımı N serisine göre sırasıyla %21, %29 ve %28 artmıştır.

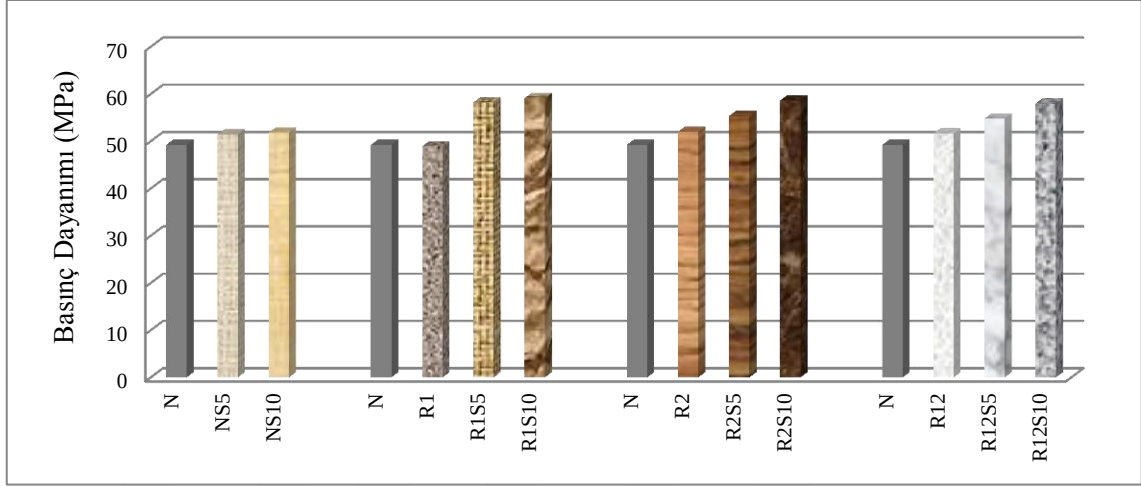


Şekil 5.7a Basınç dayanımı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)



Şekil 5.7b Basınç dayanımı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)

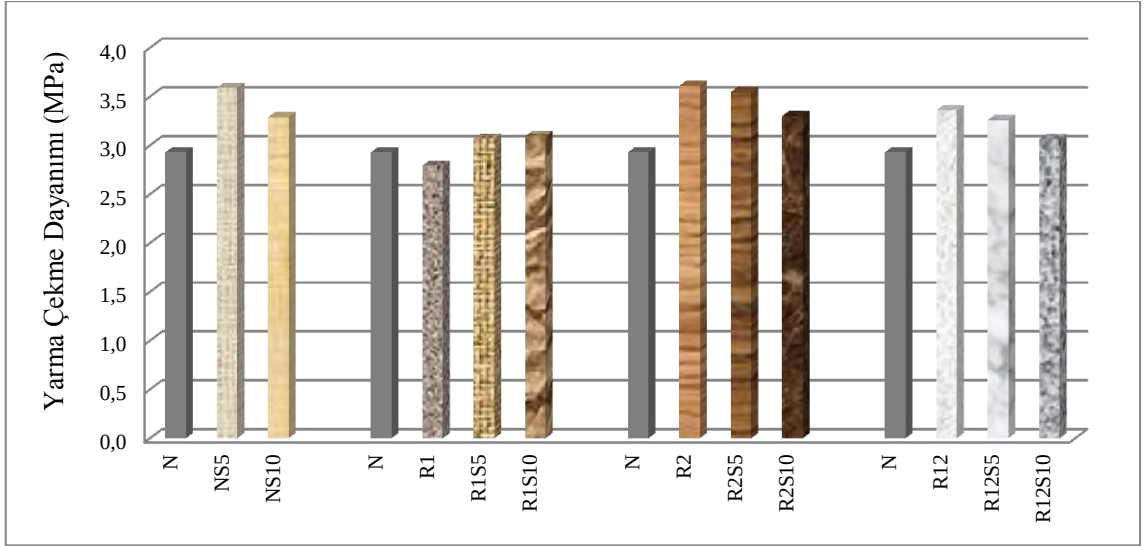
Geri kazanılmış agregalı betonda silis dumanı oranı arttıkça 7. günde basınç dayanımı belirgin bir farkla azalmış ancak 28. ve 90. günlerde katkılı betonlar arasındaki fark kapanmaya başlamıştır. Doğal agregalı mineral katkısız betona göre basınç dayanımında azalma, en fazla 7. günde %12 ile NS10 serisindedir (Çizelge Ek 5).



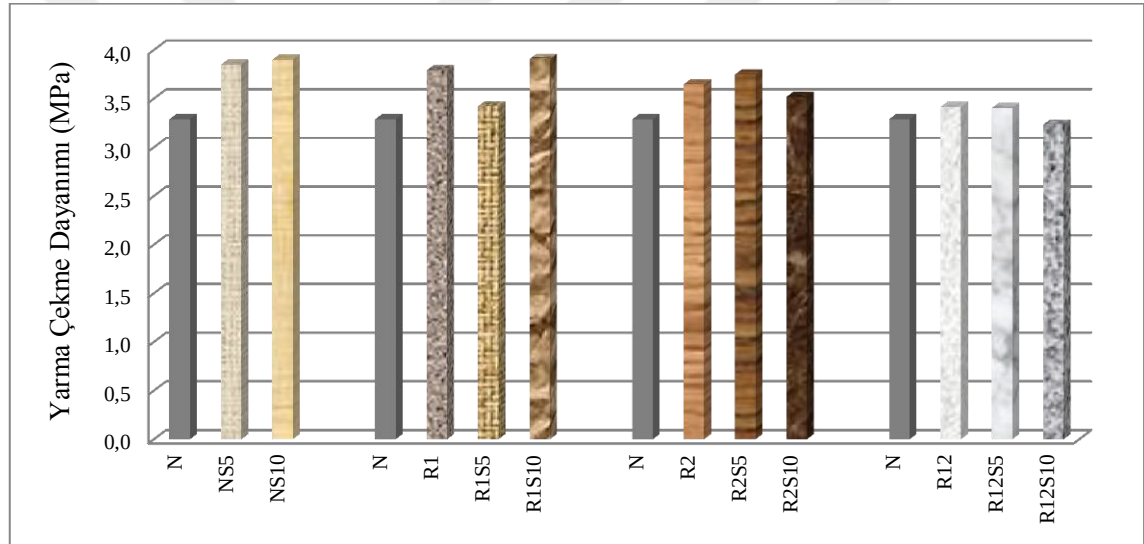
Şekil 5.7c Basınç dayanımı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)

5.3.6 Yarmada Çekme Dayanımı

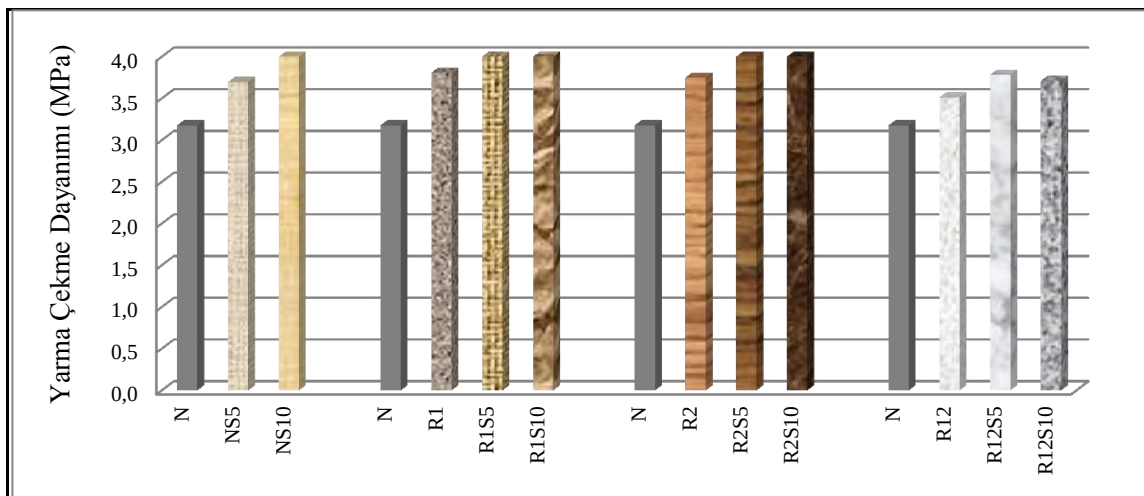
Yarmada çekme dayanımı ve yerdeğiştirme oranı ilişkisi 7., 28. ve 90. günlerde sırasıyla Şekil 5.8a, b, c’de verilmiştir. Deney sonuçlarına göre, tüm serilerde ve tüm günlerde yarmada çekme dayanımı en yüksek 4.39 MPa değeri ile R1S10-90, en düşük 2.79 MPa değeri ile R1-7 serisindedir. Zamanla tüm serilerin yarmada çekme dayanımı artmıştır. Geri kazanılmış agregalı serilerde yarmada çekme dayanımı doğal agregalı seriye göre artış göstermiştir. Silis dumanı katkısız geri kazanılmış agregalı beton serilerinin yarmada çekme dayanımı, doğal agregalı betona göre 7. günde R1 serisinde %5 azalırken, R2 ve R12 serilerinde sırasıyla %23 ve %15 artmış, 28. günde R1, R2 ve R12 serileri sırasıyla %29, %25 ve %16 artmış, 90. günde R1, R2 ve R12 serileri sırasıyla %30, %28 ve %20 artmıştır. Geri kazanılmış agregalı betonda silis dumanı oranı arttıkça 7. günde yarmada çekme dayanımı belirgin bir farkla azalmış ancak 28. ve 90. günlerde katkısız ve katkılı betonlar arasındaki fark kapanmaya başlamıştır. Silis dumanı ilk günlerde olumsuz etki yapmasına rağmen ilerleyen günlerde bu olumsuz etki ortadan kalkmıştır. Silis dumanı katkısız serilerde, doğal agregalı betona göre geri kazanılmış agregalı yerdeğiştirme oranı arttıkça yarmada çekme dayanımında azalma en fazla 7. günde sırasıyla %5 ile R1-7 serisindedir (Çizelge A.6).



Şekil 5.8a Yarmada çekme dayanımı – ikame oranı ilişkisi (7. gün)



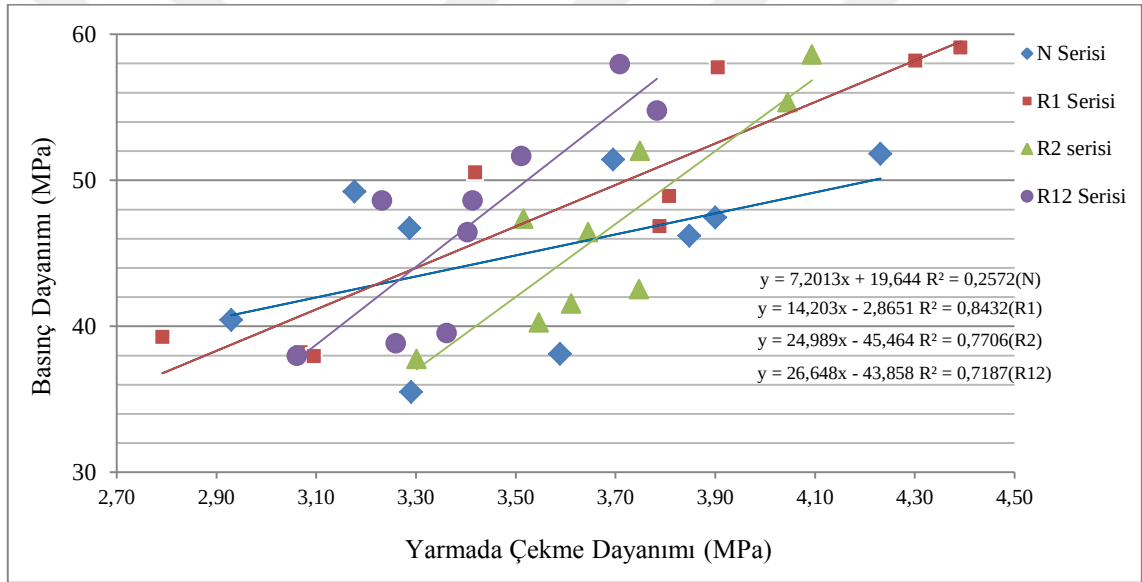
Şekil 5.8b Yarmada çekme dayanımı – ikame oranı ilişkisi (28. gün)



Şekil 5.8c Yarmada çekme dayanımı – ikame oranı ilişkisi (90. gün)

5.3.7 Basınç Dayanımı-Yarmada Çekme Dayanımı İlişkisi

Doğal ve geri kazanılmış agregalı beton serilerinde elde edilen basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı sonuçları kullanılarak bu iki özellik arasındaki ilişki Şekil 5.9’da verilmiştir. N doğal agregalı serilerin, R1 geri kazanılmış ince agregalı serilerin, R2 geri kazanılmış iri agregalı serilerin, R12 geri kazanılmış ince ve iri agregalı serilerin basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisini göstermektedir. N serisinde düşük olan korelasyon ($R^2=0.2572$) katsayısının R1, R2 ve R12 serileri için sırasıyla $R^2=0.8432$, $R^2=0.7706$ ve $R^2=0.7187$ olarak belirlenerek arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı sonuçları arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu, betonun yarmada çekme dayanımının artmasıyla basınç dayanımının da arttığı tespit edilmiştir.

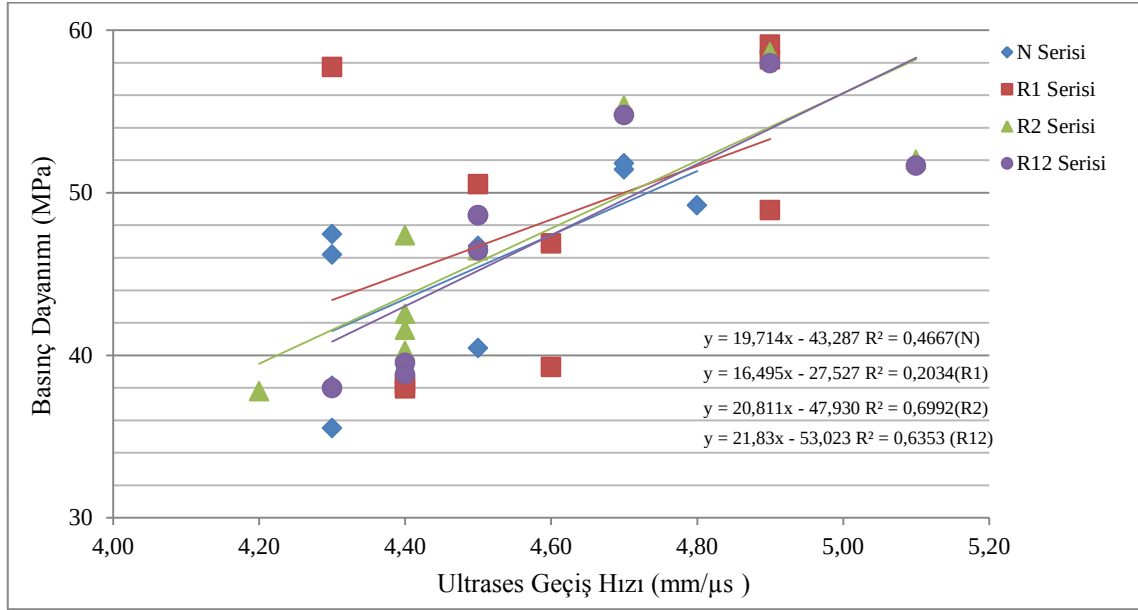


Şekil 5.9 Basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı ilişkisi

5.3.8 Basınç Dayanımı-Ultrases Geçiş Hızı İlişkisi

Doğal ve geri kazanılmış agregalı beton serilerinde elde edilen basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı sonuçları kullanılarak bu iki özellik arasındaki ilişki Şekil 5.10’da verilmiştir. N doğal agregalı serilerin, R1 geri kazanılmış ince agregalı serilerin, R2 geri kazanılmış iri agregalı serilerin, R12 geri kazanılmış ince ve iri agregalı serilerin basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ilişkisini göstermektedir. R1 serisinde düşük olan korelasyon ($R^2=0.2034$) katsayısının N, R2 ve R12 serileri için sırasıyla $R^2 = 0.4667$, $R^2=0.6992$ ve $R^2=0.6353$ olarak belirlenerek arttığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak,

basınç dayanımı ve ultrases geçiş hızı sonuçları arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu, ultrases geçiş hızının artmasıyla basınç dayanımının da arttığı tespit edilmiştir.



Şekil 5.10 Basınç dayanımı-ultrases geçiş hızı ilişkisi

Tez çalışmaları kapsamında basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ultrases geçiş hızı, yarmada çekme dayanımı-ultrases geçiş hızı, hacimce su emme-birim ağırlık, kılcal su emme-birim ağırlık, hacimce su emme-ultrases geçiş hızı, kılcal su emme-ultrases geçiş hızı ilişkileri de incelenerek parametreler arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Basınç dayanımı-yarmada çekme dayanımı, basınç dayanımı ultrases geçiş hızı ilişkilerini temsil eden korelasyonlar elde edilirken hacimce su emme-birim ağırlık, kılcal su emme-birim ağırlık, hacimce su emme-ultrases geçiş hızı, kılcal su emme-ultrases geçiş hızı ilişkileri arasında düşük korelasyonlar elde edildiğinden tez kapsamına alınmamıştır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Farklı oranlarda geri kazanılmış ince ve iri agreganın beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı, silis dumanı katkısız ve katkılı beton serilerinde 7., 28. ve 90. günlerde yapılan, fiziksel ve mekanik deney sonuçlarına göre;

- Geri kazanılmış agreganın birim ağırlık ve özgül ağırlık değeri, aynı granulometriye sahip doğal agregaya göre çok daha düşüktür.
- Geri kazanılmış agreganın su emme oranı ve Los Angeles aşınma değeri, aynı granulometriye sahip doğal agregaya göre çok daha yüksektir.
- Geri kazanılmış agregalı ve silis dumanı katkılı beton serilerinin hava içeriği, doğal agregalı beton serisine göre daha düşüktür. Tüm serilerde hedeflenen işlenebilme değerleri sağlanmıştır.
- Geri kazanılmış agreganın doğal agregaya, silis dumanının çimentoya göre daha düşük özgül ağırlığa sahip olmasından dolayı yerdeğiştirme oranı arttıkça taze ve sertleşmiş betonun yoğunluğu azalmıştır.
- Geri kazanılmış agregaya yerdeğiştirme oranı arttıkça betonun kılcal su emme katsayısı artmıştır. Ancak beton üretiminde silis dumanı oranı arttıkça kılcal su emme katsayısı zamanla azalmıştır.
- Geri kazanılmış agregaya yerdeğiştirme oranı arttıkça betonun hacimce su emme katsayısı artmıştır. Ancak beton üretiminde silis dumanı oranı arttıkça hacimce su emme katsayısı zamanla azalmıştır.

- Ultrases geçiş hızı, tüm günlerde geri kazanılmış agregası yerdeğiştirme oranı arttıķa azalmıştır. Silis dumanı oranı arttıķa 7. günde tüm serilerin ultrases geçiş hızı belirgin bir farkla azalmış ancak 28. ve 90. günlerde katkılı ve katkısız serileri arasındaki fark kapanmaya başlamıştır.
- Silis dumanı katkısız serilerde geri kazanılmış agreganın yerdeğiştirme oranı arttıķa basınç dayanımı 7. günde azalmış, 28. ve 90. günlerde major bir azalma kaydedilmemiştir. Geri kazanılmış agregalı betonda silis dumanı oranı arttıķa tüm günlerde basınç dayanımı artmıştır.
- Silis dumanı katkısız serilerde geri kazanılmış agreganın yerdeğiştirme oranı arttıķa yarmada çekme dayanımı 7. günde azalmış, 28. ve 90. günlerde artmıştır. 7. günde silis dumanı oranı arttıķa azalan yarmada çekme dayanımı zamanla artarak katkısız beton serileri ile benzer değerler almıştır.
- Doğal agregası ile üretilmiş geleneksel betonun (N), dayanım sınıfı C30/37 olarak belirlenmiştir. Silis dumanı katkısız geri kazanılmış agregası ile üretilen beton serilerinin (R1, R2 ve R12) dayanım sınıfı, geleneksel betonun dayanım sınıfına (C30/37) eşit olduğu g r lm ştir. Silis dumanı katkılı geri kazanılmış agregalı beton serilerinde ise dayanım sınıfı en az C30/37 olmuştur.
- Bu deneysel çalışmada elde edilen bulguların beton ve betonarme numunelerde yapılacak içyapı ve dayanıklılık deneyleri ile desteklenmesi, ülkemizde de geri kazanılmış agregaların beton üretiminde kullanılmasını yaygınlaştıracaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Şimşek, O., (2012). Beton ve Beton Teknolojisi, 4. Baskı, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
- [2] Tüfekçi, M.M., (2011). Geri Kazanılmış Agregaların Beton üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [3] THBB, (2011). Beton 2011 Kongre Bildirileri, Yayın No: 978-975-92122-7-8, İstanbul.
- [4] Şimşek, O., (2003). Yapı malzemesi, Cilt 2, 2. Baskı, Beta Basım A.Ş., İstanbul.
- [5] Postacıoğlu, B., (1987). Beton, Cilt 2, Matbaa Teknikerleri Basımevi, İstanbul.
- [6] Kamanlı, M. ve Balık, F.S., (2003). Beton Teknolojisi, 1. Baskı, Nobel Basımevi, Ankara.
- [7] Day, K.W., (2006). Concrete Mix Design Quality Control Specification, Third Edition, Taylor and Francis Book Co., Oxon.
- [8] ERMCO, (2012). Ready Mixed Concrete Industry Statistics Year 2012, Brussel.
- [9] TS EN 11122 (2001). Beton-Hazır Beton-Sınıflandırma, Özellikler, Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [10] Erdoğan, T.Y., (2003). Beton, Cilt 1, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 1, Ankara.
- [11] TS EN 206-1 (2002). Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- [12] Agrega Üreticileri Birliği Teknik Komite, (2006), Agrega Sektör Raporu, İstanbul.
- [13] Erdoğan, T.Y., (1995). Betonu oluşturan malzemeler, Cilt 1, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- [14] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N. ve Yılmaz, A.O., (2006). Beton Agregaları, 2. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [15] TS EN 197-1 (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [16] Postacıoğlu, B., (1986). Beton, Cilt 1, Matbaa Teknikerleri Basımevi, İstanbul.
- [17] CEMBUREAU, (2013). Activity Report 2013, Brussel.

- [18] Korkmaz, Ç., (2005). Betonun Elastisite Modülüne Çakıl Agregasının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [19] Yeğinobalı, A., Türkiye’de Yeni Çimento Standartlarına Geçiş, Ankara.
- [20] Day, K.W., (1999). Concrete Mix Design Quality Control Specification, Second Edition, Taylor and Francis Book Co., London.
- [21] Siddique, R., (2011). “Utilization of Silica Fume in Concrete: Review of Hardened Properties”, Resources, Conservation and Recycling, 55:923-932.
- [22] Duval, R. ve Kadri E.H., (1998). “Influence of Silica Fume on the Workability and the Compressive Strenght of High-Performance Concretes”, Cement and Concrete, 4:533-547.
- [23] Nawy, E.G., (2008). Concrete Construction Engineering Handbook, Second Edition, Taylor and Francis Book Co., USA.
- [24] Ramachandran, V.S., (1995). Concrete Admixtures Handbook, Second Edition, Noyes Publication Co., New Jersey.
- [25] Akça, K.R., (2014). “Kentsel Dönüşüm Sürecinde İnşaat Atık Molozlarının Geri Kazanılması”, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [26] Ajdukiewicz, A. ve Kliszczewicz, A., (2002). “Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC”, Cement & Concrete Composites, 24:269-279.
- [27] Erdin, E., Alten, A. ve Tunalı, T., (2004). “İnşaat Atıklarının Değerlendirilmesi”, 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, Mayıs:387-393.
- [28] Reid, M., (2003). A Strategy for Construction and Demolition Waste as RecycledAggregates,http://www.sustainableaggregates.com/library/docs/wrap/L0306_Viridis_UPRVR01403.pdf, 20 Eylül 2014
- [29] Turanlı, L., (1998). “Atık Betonların Yeni Betonda Kaba Agrega Olarak Kullanılması”, Eylül-Ekim:61-66.
- [30] Brener, G. ve Mooney, J., (2007). Design for Dissassembly: Support for Urban Sustainability in Australia, International Confrence on Whole Life Urban Sustainability and its Assessment, 27-29 June 2007, Glasgow.
- [31] Yüksek, İ. ve Esin, T., “Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşüm ve Yeniden Kazanım Olanakları Üzerine Bir Araştırma”, <https://www.kirklareli.edu.tr>, 15 Mart 2014.
- [32] Öztürk, M., İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2005.
- [33] Lüy, E., Varınca, K. ve Kemirtlek, A., (2007). Katı Atık Geri Kazanım Çalışmaları; İstanbul Örneği, AB Sürecince Türkiye’de Katı Atık Yönetimi ve Çevre Sorunları Sempozyumu, 2 Mayıs 2007, İstanbul.
- [34] T.C. Resmi Gazete, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, (25392), 07.05.2014, 16
- [35] Öztürk, M., İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara, 2009.
- [36] Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2006. Atık Çerçeve Yönetmeliği Taslak, Ankara

- [37] CPS, (2012). Atık Yönetimi Hakkında AB Müktesebat Rehberi 2012, İstanbul, Brussel.
- [38] Padmini, A.K., Ramamurthy, K. ve Mathews, M.S., (2009). "Influence of Parent Concrete on the Properties of Recycled Aggregate Concrete", Construction and Building Materials, 23:829-836.
- [39] Hansen, T.C., (1992). Recycling of Demolished Concrete and Masonry, First Edition, Taylor and Francis Book Co., Oxon.
- [40] Limbachiya, M.C., (2004). "Coarse Recyled Aggregates for Use in New Concrete", Engineering Sustainability, 157:99-106.
- [41] Fonteboa, B.G. ve Abella, F.M., (2008). "Concrete with Aggregates From Demolition Waste and Silica Fume Materials and Mechanical Properties", Building ana Environment, 43:429-437.
- [42] Cabral B., Schalch V., Malin D. ve Riberio J., (2010). "Mechanical Properties Modeling of Recycled Aggregate Concrete", Construction and Building Materials, 24:421-430.
- [43] Rao, A., Jha, K.N. ve Misra, S., (2007). "Use of Aggregates From Recycled Construction and Demolition Waste in Concrete", Resources Conservation and Recycling, 50:71-81.
- [44] Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı M., (2009). "Geri Dönüşümlü İri agregaların Beton Özelliklerine Etkisi", Gazi Üniv. Müh. Müm. Fak. Der., 1:183-189.
- [45] Juan, M.S. ve Gutierrez, P.A., (2009), "Study on the Influence of Attached Mortar Centent on the Properties of Recycled Concrete Aggregate", Construction and Building Materials, 23:872-877.
- [46] Bektas F., Wang K. ve Ceylan H., (2009). "Effects of Crushed Clay Brick Aggregate on Mortar Durability", Construction and Building Materials, 23:1909-1914.
- [47] Gonzales-Fontebea B. ve Martinez-Abella F., (2008). "Concretes with Aggregates From Demolition Waste and Silica Fume. Materials and Mechanical Properties", Building and Environment, 43:429-437.
- [48] European Aggregates Association (UEPG), <http://www.uepg.eu/index.php?pid=121>, 2013.
- [49] Evangelisto, L., Brito, J., (2007). "Mechanical Behaviour of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates", Cement & Concrete Composites, 29:397-401.
- [50] Debieb, F., Courard, L., Kenai, S. ve Degeimbre, R., (2010). "Mechanical and Durability Properties of Concrete Using Contaminated Recycled Aggregates", Cement & Concrete Composites, 32:421-426.
- [51] Limbachiya, M.C., Leelawat, T. ve Dhir, R.K., (2000). "Use of Recycled Concrete Aggregate in High Strenght Concrete", Materials and Structures, 33:574-580.
- [52] Xiao, J., Li, J. ve Zhang, Ch., (2005). "On Statistical Characteristics of the Compressive Strenght of Recycled Aggregate Concrete", Structure Concrete, 6:4.

- [53] Bhanja, S. ve Sengupta, B., (2005). "Influence of Silica Fume on the Tensile Strenght of Concrete", Cement & Concrete Research, 35:743-747.
- [54] Papadakis, V.G., (1999). "Experimental Investigation and Therotical Modeling of Silica Fume Activity in Concrete", Cement & Concrete Research, 29:79-86.
- [55] Belen, G., Fernando,M., Isabel,M. ve Javier.E., (2009). "Stractural Shear Behaviour of Recyled Concrete with Silica Fume", Construction and Building Materials, 23:3406-3410.
- [56] Katz, A., (2004). "Treatment for the Improvement of Recycled Aggregates", Journal of Materials in Civil Engineering, 23:597-603.
- [57] Shannag, M.G., (2000). "High Strenght Concrete Containing Natural Pozzolan and Silica Fume", Cement & Concrete Composites, 22:399-406.
- [58] Rezai D., Azimkhani S. ve Mosavinejad G., (2012). "Shielding and Strenght Tests of Silica Fume Concrete", Annals of Nuclear Energy, 10.1016/j.anucene.2012.02.006
- [59] Appa Rao G., (2001). "Shielding Development of Strenght with Age of Mortars Containing Silica Fume", Cement & Concrete Composites, 31:1141-1146.
- [60] Zain, M., Safiuddin, M. ve Mahmud, H., (2000). "Development of High Performance Concrete Using Silica Fume at Relatively High Water-Binder Ratios", Cement & Concrete Composites, 30:1501-1505.
- [61] Zaharieva, R., Buyle-Boolin, F., Skocylas, F. ve Wirquin, E., (2003). "Assesment of the Surface Permaton Properties of Recycled Aggregate Concrete", Cement & Concrete Composites, 25:223-232.
- [62] Bhanja, S. ve Sengupta, B., (2002). "Investigations on the Compressive Strength of Silica Fume Concrete Using Statical Methods", Cement & Concrete Composites, 32:1391-1394.
- [63] Chen, H., Yen, T., ve Chen, K., (2003). "Use of Building Rubbles as Recycled Aggregates", Cement & Concrete Composites, 33:125-132.
- [64] Khatib, J.M., (2005). "Properties of Concrete Incorporating Fine Recycled Aggregate ", Cement & Concrete Composites, 35:763-769.
- [65] TS 802 (2009). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [66] TS 3529 (1980). Beton Agregalarının Birim Ağırlıklarının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [67] TS 3530 EN 933-1 (1999). Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [68] TS EN 934-2 (2011). Kimyasal katkıları - Beton, Harç ve Şerbet için - Bölüm 2: Beton Kimyasal Katkıları - Tarifler, Gerekler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [69] TS EN 1097-2 (2010). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2 : Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- [70] TS EN 1097-6 (2002). Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [71] TS EN 1744-1 (2011). Agregaların Kimyasal Özellikleri için Deneyler - Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [72] TS EN 12350-2 (2010). Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [73] TS EN 12350-3 (2010). Beton - Taze Beton Deneyleri – Bölüm 3: Vebe deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [74] TS EN 12350-6 (2010). Beton - Taze Beton Deneyleri – Bölüm 6: Yoğunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [75] TS EN 12350-7 (2010). Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 7: Hava Muhtevasının Tayini - Basınç yöntemleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [76] TS EN 12390-3 (2010). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [77] TS EN 12390-6 (2010). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- [78] TS EN 12390-7 (2010). Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

DENEY SONUÇLARI

Çizelge A.1 Yoğunluk (D , kg/m^3) ve değişim oranları

				Değişim (%)		
	7	28	90	7	28	90
N	2408	2448	2436	100	102	101
NS5	2405	2417	2435	100	100	101
NS10	2385	2392	2419	99	99	101
R1	2386	2381	2415	99	99	100
R1S5	2380	2378	2412	99	99	100
R1S10	2377	2378	2393	99	99	99
R2	2402	2396	2415	100	100	100
R2S5	2398	2390	2414	100	99	100
R2S10	2378	2386	2407	99	99	100
R12	2390	2378	2414	99	99	100
R12S5	2382	2376	2403	99	99	100
R12S10	2354	2368	2367	98	98	98

Çizelge A.2 Hacimce su emme oranı (h_s , %) ve değişim oranları

				Değişim (%)		
	7	28	90	7	28	90
N	11.5	9.3	8.4	100	81	73
NS5	11.4	8.7	8.1	99	76	70
NS10	11.2	8.2	7.7	97	71	67
R1	13.6	11.2	9.6	118	97	83
R1S5	12.9	10.9	9.3	112	95	81
R1S10	11.9	9.9	9.0	103	86	78
R2	13.4	10.6	9.8	117	92	85
R2S5	11.9	9.7	9.1	103	84	79
R2S10	10.4	9.1	8.2	90	79	71
R12	14.1	11.4	10.2	123	99	89
R12S5	13.1	11.0	9.9	114	96	86
R12S10	12.0	10.5	9.1	104	91	79

Çizelge A.3 Kılcal su emme katsayısı ($K \times 10^{-6}$, cm²/sn) ve değişim oranları

	Değişim (%)					
	7	28	90	7	28	90
N	4.4	3.4	3.1	100	77	70
NS5	4.2	3.3	3.0	95	75	68
NS10	3.9	3.2	2.9	89	73	66
R1	7.1	6.2	5.3	161	141	120
R1S5	6.0	5.5	4.9	136	125	111
R1S10	4.7	4.5	3.9	107	102	88
R2	6.5	5.3	4.6	148	120	105
R2S5	5.8	5.0	3.2	132	114	73
R2S10	5.4	4.2	3.0	123	95	68
R12	7.3	6.5	5.4	166	148	123
R12S5	6.2	5.7	5.1	141	130	116
R12S10	5.6	4.8	4.0	127	109	91

Çizelge A.4 Ultrases geçiş hızı (V, mm/μsn) ve değişim oranları

	Değişim (%)					
	7	28	90	7	28	90
N	4.5	4.5	4.8	100	100	107
NS5	4.3	4.3	4.7	96	96	104
NS10	4.3	4.3	4.7	96	96	104
R1	4.6	4.6	4.9	102	102	109
R1S5	4.4	4.5	4.9	98	100	109
R1S10	4.4	4.3	4.9	98	96	109
R2	4.4	4.5	5.1	98	100	113
R2S5	4.4	4.4	4.7	98	98	104
R2S10	4.2	4.4	4.9	93	98	109
R12	4.4	4.5	5.1	98	100	113
R12S5	4.4	4.5	4.7	98	100	104
R12S10	4.3	4.5	4.9	96	100	109

Çizelge A.5 Basınç dayanımı (f_c , MPa) ve değişim oranları

	Değişim (%)					
	7	28	90	7	28	90
N	40.43	46.72	49.23	100	116	122
NS5	38.11	46.19	51.42	94	114	127
NS10	35.51	47.45	51.81	88	117	128
R1	39.28	46.87	48.92	97	116	121
R1S5	38.22	50.53	58.20	95	125	144
R1S10	37.96	57.73	59.10	94	143	146
R2	41.56	46.44	52.01	103	115	129
R2S5	40.25	42.54	55.34	100	105	137
R2S10	37.77	47.36	58.62	93	117	145
R12	39.53	48.61	51.66	98	120	128
R12S5	38.83	46.44	54.78	96	115	135
R12S10	37.97	48.61	57.96	94	120	143

Çizelge A.6 Yarmada çekme dayanımı (f_{ct} , MPa) ve değişim oranları

	Değişim (%)					
	7	28	90	7	28	90
N	2.93	3.29	3.18	100	112	109
NS5	3.59	3.85	3.70	123	131	126
NS10	3.29	3.90	4.23	112	133	144
R1	2.79	3.79	3.81	95	129	130
R1S5	3.07	3.42	4.30	105	117	147
R1S10	3.10	3.91	4.39	106	133	150
R2	3.61	3.65	3.75	123	125	128
R2S5	3.55	3.75	4.05	121	128	138
R2S10	3.30	3.52	4.09	113	120	140
R12	3.36	3.41	3.51	115	116	120
R12S5	3.26	3.40	3.78	111	116	129
R12S10	3.06	3.23	3.71	104	110	127

Çizelge A.7 28. günde beton sınıfları

	1. Numune	2. Numune	3. Numune	Ortalama	Beton Sınıfı
N	44.13	47.43	48.60	46.72	C35/45
NS5	47.43	47.80	43.35	46.19	C35/45
NS10	45.48	50.14	46.73	47.45	C35/45
R1	43.27	47.46	49.87	46.87	C35/45
R1S5	52.37	48.40	50.83	50.53	C40/50
R1S10	58.98	54.70	59.52	57.73	C45/55
R2	45.45	46.81	47.07	46.44	C35/45
R2S5	38.02	47.43	42.17	42.54	C30/37
R2S10	48.25	41.08	52.76	47.36	C35/45
R12	51.52	49.00	45.30	48.61	C35/45
R12S5	45.45	46.81	47.07	46.44	C35/45
R12S10	51.52	49.00	45.30	48.61	C35/45

1. Kriter : $f_{cm} \geq f_{ck} + 4$

2. Kriter : $f_{cmin} \geq f_{ck} - 4$

Çizelge A.8 Basınç dayanımı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri

				Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
	7	28	90	7		28		90	
N	40.43	46.72	49.23	38.02	2.46	46.79	0.63	50.82	1.39
NS5	38.11	46.19	51.42						
NS10	35.51	47.45	51.81						
R1	39.28	46.87	48.92	38.49	0.70	51.71	5.53	55.41	5.64
R1S5	38.22	50.53	58.20						
R1S10	37.96	57.73	59.10						
R2	41.56	46.44	52.01	39.86	1.93	45.45	2.56	55.32	3.30
R2S5	40.25	42.54	55.34						
R2S10	37.77	47.36	58.62						
R12	39.53	48.61	51.66	38.78	0.78	47.89	1.25	54.80	3.15
R12S5	38.83	46.44	54.78						
R12S10	37.97	48.61	57.96						

Ort. : Ortalama Basınç Dayanımı Değeri

S.S. : Standart Sapma Değeri

Çizelge A.9 Yarmada çekme dayanımı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri

				Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
	7	28	90	7		28		90	
N	2.93	3.29	3.18	3.27	0.33	3.68	0.34	3.70	0.53
NS5	3.59	3.85	3.70						
NS10	3.29	3.90	4.23						
R1	2.79	3.79	3.81	2.99	0.17	3.70	0.25	4.17	0.31
R1S5	3.07	3.42	4.30						
R1S10	3.10	3.91	4.39						
R2	3.61	3.65	3.75	3.49	0.16	3.64	0.12	3.96	0.19
R2S5	3.55	3.75	4.05						
R2S10	3.30	3.52	4.09						
R12	3.36	3.41	3.51	3.23	0.15	3.35	0.10	3.67	0.14
R12S5	3.26	3.40	3.78						
R12S10	3.06	3.23	3.71						

Ort. : Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı Değeri

S.S. : Standart Sapma Değeri

Çizelge A.10 Hacimce su emme oranı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri

				Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
	7	28	90	7		28		90	
N	11.5	9.3	8.4	11.36	0.19	8.74	0.55	8.06	0.33
NS5	11.4	8.7	8.1						
NS10	11.2	8.2	7.7						
R1	13.6	11.2	9.6	12.79	0.86	10.65	0.69	9.29	0.30
R1S5	12.9	10.9	9.3						
R1S10	11.9	9.9	9.0						
R2	13.4	10.6	9.8	11.91	1.53	9.80	0.74	9.02	0.84
R2S5	11.9	9.7	9.1						
R2S10	10.4	9.1	8.2						
R12	14.1	11.4	10.2	13.04	1.05	10.95	0.46	9.71	0.56
R12S5	13.1	11.0	9.9						
R12S10	12.0	10.5	9.1						

Ort. : Ortalama Hacimce Su Emme Değeri

S.S. : Standart Sapma Değeri

Çizelge A.11 Kılcal su emme oranı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri

				Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
	7	28	90	7		28		90	
N	4.4	3.4	3.1	4.16	0.29	3.30	0.10	3.04	0.09
NS5	4.2	3.3	3.0						
NS10	3.9	3.2	2.9						
R1	7.1	6.2	5.3	5.93	1.19	5.38	0.87	4.71	0.73
R1S5	6.0	5.5	4.9						
R1S10	4.7	4.5	3.9						
R2	6.5	5.3	4.6	5.90	0.54	4.87	0.58	3.60	0.91
R2S5	5.8	5.0	3.2						
R2S10	5.4	4.2	3.0						
R12	7.3	6.5	5.4	6.36	0.86	5.67	0.89	4.85	0.72
R12S5	6.2	5.7	5.1						
R12S10	5.6	4.8	4.0						

Ort. : Ortalama Kılcal Su Emme Değeri

S.S. : Standart Sapma Değeri

Çizelge A.12 Ultrases geçiş hızı ortalama değerleri ve standart sapma değerleri

				Ort.	S.S.	Ort.	S.S.	Ort.	S.S.
	7	28	90	7		28		90	
N	4.5	4.5	4.8	4.38	0.14	4.39	0.13	4.74	0.08
NS5	4.3	4.3	4.7						
NS10	4.3	4.3	4.7						
R1	4.6	4.6	4.9	4.48	0.13	4.48	0.15	4.89	0.02
R1S5	4.4	4.5	4.9						
R1S10	4.4	4.3	4.9						
R2	4.4	4.5	5.1	4.36	0.11	4.42	0.08	4.88	0.22
R2S5	4.4	4.4	4.7						
R2S10	4.2	4.4	4.9						
R12	4.4	4.5	5.1	4.40	0.06	4.49	0.02	4.91	0.24
R12S5	4.4	4.5	4.7						
R12S10	4.3	4.5	4.9						

Ort. : Ortalama Ultrases Geçiş Hızı Değeri

S.S. : Standart Sapma Değeri

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ömer Özkan SOFYANLI
Doğum Tarihi ve Yeri : 07/02/1985 – İstanbul / Bakırköy
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : omerozkansofyanli@windowslive.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Balıkesir Üniversitesi	2008
Lise	Fen Bilimleri	Orhan Cemal Fersoy Lisesi	2004

YAYINLARI

Makale

ÇAKIR Ö., SOFYANLI Ö.Ö., (2014), “Influence of silica fume on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete”,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.hbrcj.2014.06.002>

ÖDÜLLERİ

1. Balıkesir Üniversitesi 2008-2009 Eğitim ve Öğretim Yılı İnşaat Mühendisliği Bölüm Birinciliği
2. Balıkesir Üniversitesi 2008-2009 Eğitim ve Öğretim Yılı Mühendislik Mimarlık Fakültesi İkinciliği