

**GERİ KAZANILMIŞ AGREGA (GKA) İLE
ÜRETİLEN BETONLARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN LİF KULLANILARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ**

Muhammet Gökhan ALTUN

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Malzemeleri Bilim Dalı
Yrd. Doç. Dr. Meral OLTULU
2014
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GERİ KAZANILMIŞ AGREGA (GKA) İLE ÜRETİLEN
BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN LİF
KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ**

Muhammet Gökhan ALTUN

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
Yapı Malzemeleri Bilim Dalı**

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

GERİ KAZANILMIŞ AGREGA İLE ÜRETİLEN BETONLARIN MEKANİK
ÖZELLİKLERİNİN LİF KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Yrd. Doç. Dr. Meral OLTULU danışmanlığında, Muhammet Gökhan ALTUN tarafından hazırlanan bu çalışma 26/12/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı – Yapı Malzemeleri Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy~~ ~~çokluğu~~ (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Meral OLTULU

İmza

Üye : Yrd. Doç. Dr. Elif KILIÇ DELİCE

İmza

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu 31/12/2014 tarih ve 52/1757 nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

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

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GERİ KAZANILMIŞ AGREGA (GKA) İLE ÜRETİLEN BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN LİF KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Muhammet Gökhan ALTUN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yapı Malzemeleri Bilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Meral OLTULU

Bu çalışmada, beton bileşenleri içerisinde büyük paya sahip doğal kaynak olan agregaların geri kazanılarak beton üretiminde, maksimum düzeyde tekrar kullanılması hedeflenmiştir. Bu kapsamda su/bağlayıcı oranı 0,50 ve maksimum agrega tane çapı 16 mm olarak belirlenen %5 silis dumanlı betonlarda iri agrega yerine %0, %30 ve %50 oranlarında geri kazanılmış agrega kullanılmıştır. Ayrıca mekanik etkiler karşısında normal betonlara göre daha zayıf performans gösteren geri kazanılmış agregalı betonların, farklı oranlarda lifler kullanılarak mekanik özelliklerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla %0,1 oranında polipropilen lif, %1,0 ve %2,0 oranlarında ise çelik lif kullanılmıştır. Buna ek olarak polipropilen ve çelik lifler karışık halde kullanılarak üretilmiş olan betonların mekanik dayanımları ve darbe dirençleri incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda, geri kazanılmış agrega oranı arttıkça betonların basınç, eğilme ve darbe dayanımlarında azalmalar tespit edilmiştir. Polipropilen lif kullanımı betonların mekanik dayanımlarını az da olsa arttırmıştır. Çelik lif kullanımı ise basınç dayanımı üzerinde %1,0 oranına kadar olumlu katkı sağlarken, %1,0'den sonra çelik lif kullanımı işlenebilirliğin azalmasından dolayı olumsuz etki oluşturmuştur. Eğilme ve darbe deneyleri sonucunda ise, hem normal betonlarda hem de geri kazanılmış agregalı betonlarda lif oranının artmasına bağlı olarak betonların eğilme ve darbe dayanımları artmıştır. Karma lif kullanımı ise betonların mekanik dayanımları ve darbe dirençleri üzerinde en iyi sonucu vermiştir.

2014, 102 sayfa

Anahtar Kelimeler: Geri kazanılmış agrega, polipropilen lif, çelik lif, darbe dayanımı.

ABSTRACT

Master Thesis

IMPROVING THE MECHANICAL PROPERTIES OF RECYCLED AGGREGATE CONCRETE (RAC) WITH FIBERS

Muhammet Gökhan ALTUN

Atatürk University
Institute of Science
Department of Civil Engineering
Department of Building Materials

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Meral OLTULU

In this study, the natural resource aggregates, one of the big component of concrete, was investigated to reused in produced concretes with maximum grade. All concrete specimens were prepared with 0,50 water-cement ratio with 5% silica fume and the maximum size of aggregates is 16 mm. The natural coarse aggregate used in production of conventional concrete is replaced 0%, 30% and 50% with recycled aggregate obtained from the demolished concrete. Recycled aggregate concretes which have low mechanical properties than the normal concretes, investigated improving the mechanical properties both normal and recycled aggregate concrete with fibers. In this purpose, hooked-end steel fibers at 1,0% and 2,0% volume fractions and polypropylene fibers at 0,1% volume fraction were used. And also the hybrid fibers were used. All concrete specimens were tested under mechanical strenghts and drop weight impact load.

The results showed that the compressive and flexural strenghts and impact resistance of recycled aggregate concrete reduced with the increase in percentage of recycled aggregate. Polypropylene fibers slightly increased the mechanical properties of all concretes. 1,0% steel fiber content increased the compressive strenght, however 2,0% steel fiber content reduced the compressive strenght because of the poor workability. Results of the flexural and impact tests, both conventional concrete and recycled aggregate concrete performances were increased with the increase steel fibers volume fractions. And also the hybrid fiber reinforced concretes showed the best results in all concrete about mechanical strenghts and impact resistance.

2014, 102 pages

Keywords: Recycled aggregate, polypropylene fiber, steel fiber, impact resistance.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmamın danışmanlığını yürüten, çalışmanın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini aktaran değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Meral OLTULU'ya,

Tez çalışması süresince önerilerinden dolayı değerli hocam Sayın Doç. Dr. Remzi ŞAHİN'e ve Sayın Doç. Dr. A. Ferhat BİNGÖL'e, laboratuvar sürecinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Yeşim TOSUN'a ve beton üretimi sırasında yardımcı olan arkadaşlarım, Fuat ÇOĞLAN ve Ümit DEMİRKAZMA'ya,

GKA temini konusunda yardımcı olan İSTAÇ'a, doğal agrega temini konusunda yardımlarından dolayı Korkmazlar Hazır Beton A.Ş. ile Aşkale Hazır Beton A.Ş.'ye, lif temini konusunda yardımcı olan Sancak Kimya A.Ş.'ye, kimyasal katkıların temininde gösterdikleri yardımlarından dolayı BASF Yapı Kimyasalları Sanayi ve A.Ş.'ye, diğer malzeme teminleri ve nakliye konusunda yardımlarından dolayı inşaat mühendisi Sayın Haluk UBUZ'a ve manevi desteklerinden dolayı da makine yüksek mühendisi Sayın Ali ÇELİK'e,

Öğrenim hayatım boyunca gösterdikleri sabır ve fedakarlıklardan dolayı aileme sonsuz teşekkür ederim.

Muhammet Gökhan ALTUN

Aralık, 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	4
2.1. Geri Dönüşüm.....	4
2.2. Geri Dönüşümün Tarihi.....	4
2.3. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (İYA).....	5
2.4. İYA'nın Yönetimi.....	8
2.5. Geri Kazanılmış Agregalar (GKA).....	12
2.5.1. GKA'nın özellikleri.....	12
2.5.2. GKA'nın kullanım amacı.....	14
2.5.2.a. Çevresel etki.....	14
2.5.2.b. Ekonomik etki.....	16
2.5.3. GKA üretimi.....	18
2.5.4. GKA'nın kullanım alanları.....	20
2.5.5. GKA ile üretilen betonlar.....	20
2.5.5.a. GKA ile üretilen betonların fiziksel özellikleri.....	20
2.5.5.b. GKA ile üretilen betonların mekanik özellikleri.....	22
2.5.5.c. GKA ile üretilen betonların durabilite özellikleri.....	25
2.6. Lif Katkılı Betonlar.....	27
2.6.1. Lifler.....	27
2.6.1.a. Lif kullanımının tarihi.....	27
2.6.1.b. Liflerin Özellikleri.....	28
2.6.1.c. Lif özelliklerinin beton özelliklerine etkisi.....	31
2.6.1.d. Liflerin kullanım alanları.....	33

2.6.2. Lifli betonlar	33
2.6.2.a. Lifli betonların mekanik özellikleri	34
2.6.2.b. Lifli betonların durabilite özellikleri	39
2.7. Literatür Özetleri	42
3. MATERYAL ve YÖNTEM	57
3.1. Materyal.....	57
3.1.1. Doğal agrega.....	57
3.1.2. Geri kazanılmış agrega (GKA).....	57
3.1.3. Karışım suyu.....	57
3.1.4. Çimento	57
3.1.5. Silis dumanı	59
3.1.6. Süper akışkanlaştırıcı (SA).....	59
3.1.7. Polipropilen lif.....	60
3.1.8. Çelik lif.....	61
3.2. Yöntem	61
3.2.1. Normal agrega deneyleri	62
3.2.2. Geri kazanılmış agrega (GKA) deneyleri.....	64
3.2.3. Numune üretimi ve kodlaması	64
3.2.4. Numunelerin kuru.....	65
3.2.5. Beton karışım hesapları	66
3.2.6. Taze beton deneyleri	66
3.2.6.a. Çökme (slump) deneyi.....	67
3.2.6.b. Birim ağırlık deneyi.....	69
3.2.7. Sertleşmiş beton deneyleri.....	70
3.2.7.a. Basınç dayanımı tayini	70
3.2.7.b. Eğilme dayanımı tayini	71
3.2.7.c. Darbe dayanımı tayini	72
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	74
4.1. Agrega Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirmesi.....	74
4.2. Taze Beton Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirmesi	76
4.2.1. Çökme (Slump) ve birim ağırlık deneyleri sonuçları ve değerlendirilmesi	76
4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirmesi	78

4.3.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları ve değerlendirmesi	78
4.3.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirmesi	82
4.3.3. Darbe Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirmesi	85
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	90
KAYNAKLAR	94
ÖZGEÇMİŞ	102

SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

b, d	Numunenin enkesit uzunlukları
F	Eğilme dayanımı
g	Yerçekimi ivmesi
H	Darbe deneyinde kullanılan tokmağın düşme yüksekliği
L	Mesnetler arası açıklık
m	Darbe deneyinde kullanılan tokmak kütlesi
N (%)	Yüzey nemi oranı
n	Darbe vuruş sayısı
P	Yük
T	Darbe deneyinde kullanılan tokmağın düşme süresi
U	Bir darbe vuruşunda oluşan enerji
V	Darbe deneyinde kullanılan tokmağın vuruş anındaki hızı
W	Darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı
WA ₂₄	Su emme oranı
ρ_a	Görünür özgül ağırlık
ρ_{rd}	Kuru özgül ağırlık
ρ_{ssd}	Doygun kuru yüzey özgül ağırlık
ρ_w	Suyun özgül ağırlığı

Kısaltmalar

A.Ş.	Anonim Şirketi
AB	Avrupa Birliği
ABD	Amerika Birleşik Devletleri
ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society For Testing Materials
DKA	Doğal İnce Agregası
GKA	Geri Kazanılmış Agregası

İSTAÇ	İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme A.Ş.
İYA	İnşaat ve Yıkıntı Atıkları
KDV	Katma Değer Vergisi
LA	Los Angeles
M.S.	Milattan sonra
NA	Doğal İri Agrega
NA	Normal Agrega
PVA	Polivinil Alkol
SA	Süper Akışkanlaştırıcı
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
TS	Türk Standartları
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Atık ürünlerinin sınıflandırılması	7
Şekil 2.2. Türkiye’de atık bertaraf yöntemleri	10
Şekil 2.3. İnşaat yıkıntı atıklarının tesise kabul edilmesi	18
Şekil 2.4. Atıkların konkasörde kırılması	18
Şekil 2.5. Malzemelerin ayrılması ve eleğe gönderilmesi	19
Şekil 2.6. Malzemelerin farklı sınıflara ayrılarak depolanması	19
Şekil 3.1. Polipropilen lif	60
Şekil 3.2. Çelik lif	61
Şekil 3.3. Çeyrekleme metodu ile numune alınması	62
Şekil 3.4. Elekler ve elek analizi deney aleti	62
Şekil 3.5. R50PS2 açılımı	65
Şekil 3.6. Su kürü havuzu	66
Şekil 3.7. Çökme hunisi ve deneyi	69
Şekil 3.8. Birim ağırlık deney aleti	69
Şekil 3.9. Basınç deneyi aleti	70
Şekil 3.10. Eğilme deneyi aleti	71
Şekil 3.11. Darbe deney aleti	72
Şekil 4.1. Granülometri eğrisi	74
Şekil 4.2. Basınç dayanımı deneyleri sonuçlarının grafiksel gösterimi	80
Şekil 4.3. Eğilme dayanımı deneyleri sonuçlarının grafiksel gösterimi	83
Şekil 4.4. Darbe dayanımı deneyleri sonuçlarının grafiksel gösterimi	87
Şekil 4.5. Darbe dayanımı ve eğilme dayanımı arasındaki ilişki	89

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. İYA'nın kullanıldığı alanlar	7
Çizelge 2.2. AB ülkelerinde inşaat ve yıkıntı atığı miktarı	9
Çizelge 2.3. 2012 yılı beton üretim miktarları ve fiyatları	16
Çizelge 2.4. Farklı malzemelerden üretilmiş lifler ve özellikleri	29
Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri	58
Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal analizi	58
Çizelge 3.3. Silis dumanının kimyasal özellikleri	59
Çizelge 3.4. SA'nın teknik özellikleri.....	59
Çizelge 3.5. Polipropilen liflerin teknik özellikleri	60
Çizelge 3.6. Çelik liflerin teknik özellikleri.....	61
Çizelge 3.7. 1000 dm ³ için beton karışım oranları.....	68
Çizelge 4.1. Elek analizi	74
Çizelge 4.2. Özgül ağırlık, su emme oranı ve yüzey nemi deney sonuçları	75
Çizelge 4.3. Çökme (slump) deneyi ve birim ağırlık deneyi sonuçları	76
Çizelge 4.4. Basınç dayanımı deneyi sonuçları	79
Çizelge 4.5. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları	82
Çizelge 4.6. Darbe dayanımı deneyi sonuçları	86

1. GİRİŞ

Dünyada sınırlı miktarda olan ve üzerinde gelecek kuşakların da hak sahibi olduğu doğal kaynakların tüketimi konusu günümüzde tüm insanları ilgilendiren bir konudur. Bu konuda hem kaynakların israf edilmeden kullanımı hem de kullanım sonucu oluşan atık ürünlerin geri dönüştürülerek üretim zincirine tekrar kazandırılması çok önemlidir.

Hızla artan nüfus ve sanayi, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de atık hacminin artmasına ve atık içeriğinin çeşitlenmesine sebep olmaktadır. Günümüzde kişi başına ortalama 1 ton kadar üretilen ve doğal kaynakların en fazla tüketildiği alan olan beton üretiminin artışı ile birlikte doğal agrega kaynakları da giderek azalmaktadır. Ömrünü tamamlamış yapılardaki malzemeler özellikle beton bileşenleri içerisinde en büyük paya sahip doğal kaynak olan agregalar atık kapsamında değerlendirilmektedir.

Buna ilaveten ülkemizde son yıllarda inşaat ve yıkıntı atıklarını ilgilendiren öncelikle birinci derece deprem kuşağında bulunan iller olmak üzere, ekonomik ömrünü tamamlamış, afet riski taşıyan binaların yıkılarak yerine güvenli, sağlıklı ve yaşanabilir yapılar yapılmasını sağlayacak kentsel dönüşüm çalışmaları bulunmaktadır. Bu çalışmalarla atık hacminin artması ve oluşacak atıkların çevre kirliliği gibi istenmeyen durumları beraberinde getirmesi kaçınılmaz olacaktır. Bu açıdan gelişmiş ülkelerde olduğu gibi etkin ve sürdürülebilir bir atık yönetiminin oluşturulması için yapılacak çalışmalar önem arz etmektedir.

Büyük çoğunluğu geri kazanılabilir nitelikte olan atıkların kullanımı, çevre kirliliğini azaltmakla birlikte ulusal refahın arttırılmasında da etkindir. Ülkemizde 2012 yılı verileri¹ ile yıllık 8,8 trilyon TL'lik bir ekonomik hacme sahip beton endüstrisinde beton bileşenleri içerisinde en büyük orana sahip agregaların geri kazanımının ülke ve dünya ölçeğinde hem çevresel hem de ekonomik katkı sağlayacağı aşikardır. Bu çalışmalar ile doğal hammaddelerin azalması, çevre kirliliği gibi istenmeyen durumların

¹ Türkiye Hazır Beton Birliği beton üretim miktarları ile Çevre ve Şehircilik Bakanlığı birim fiyatları

önüne geçilmesi planlanmakta, atık yönetimiyle yapısal atıkların yararlanılması ve değerlendirilmesi gereken bir kaynak olduğu yaklaşımı yaygınlaşmaktadır.

Atık olarak değerlendirilebilecek agregalar yol ve zemin işlerinde dolgu malzemesi olarak, grobetonda ve betonda doğal agrega yerine veya doğal agrega ile ikame edilerek kullanılmaktadır. GKA'nın taşıyıcı olan betonlarda kullanımı ile ilgili yapılan deneysel çalışmaların sayısı son yıllarda artış göstermiştir. Çalışmalardan hareketle GKA betonun mekanik özelliklerini olumsuz etkilemekle beraber betonda kullanılacağı optimum değer bulunması önemlidir. Ayrıca doğal agregalı betonların mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde kullanılacak metodlar GKA'lı betonlarda da uygulanabilmektedir.

Betonların performansını artırabilmek amacıyla bileşenlerinin özellikleri ve oranlarının doğru seçimine ilaveten içerisine çeşitli katkı maddelerinin (mineral katkı maddeleri ve lifler gibi) eklenmesi en yaygın yöntemlerdendir. Özellikle çekme ve eğilme dayanımını artırmaya yönelik uygulanan lif ilavesinin GKA'lı betonların bu özelliklerini olumlu yönde etkilemesi düşünülmekte, GKA ile azalan mekanik özelliklerin lifler ile nispeten artırıldığı çalışmalar bulunmaktadır.

Betonun bilinen mekanik özelliklerinden olan ve ani, tekrarlı dinamik yükler altında betonun kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak bilinen darbe dayanımı; darbe ve patlayıcı maddelere maruz kalan (askeri yapılar, nükleer santraller, havaalanı pistleri, su yapıları, demiryolu traversleri vb.) yapılarda önem arz eden bir konudur. Bununla birlikte GKA'lı betonların darbe dayanımının artırılmasına yönelik çalışmaların sayısı sınırlı sayıdadır.

Bu çalışmada; sürdürülebilir kalkınma yaklaşımına önemli katkı sağlayacak olan agregaların geri kazanılarak üretimde tekrar kullanılması çalışmanın asıl amacını oluşturmakla beraber GKA optimum kullanım oranının belirlenmesi çalışmaya esas teşkil etmektedir.

Ayrıca lif katkılı betonların özellikleri üzerinde yapılan çalışmalarda lif tipi önemli bir parametre olmakla birlikte bu çalışmada olumlu etkileri bilinen polipropilen ve çelik lifin kullanımına karar verilmiş ayrıca bu liflerin karma olarak kullanılmasının oluşturacağı etkileri saptamakta amaçlanmıştır.

Bu çalışmadan optimum oranı belirlenen GKA'lı lifli betonun mekanik özelliklerini; basınç, eğilme ve darbe dayanımı deneyleri yaparak saptanması ile literatürde eksik olan kısımları tamamlaması ve betonda GKA kullanımını araştırarak sonraki çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

Çalışmada su/bağlayıcı oranı 0,50 ve maksimum agrega tane çapı 16 mm olarak belirlenen %5 silis dumanlı betonlarda iri agrega yerine %0, %30 ve %50 oranlarında GKA kullanımına ilaveten %0,1 oranında polipropilen lif, %1,0 ve %2,0 oranlarında ise çelik lifin tekli ve karma olarak eklenmesi ile üretilen beton gruplarının mekanik özellikleri (basınç, eğilme ve darbe dayanımları) lifsiz ve GKA'sız kontrol gruplarına göre kıyaslanmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Geri Dönüşüm

Geri dönüşüm kavramı, yeniden değerlendirilme imkanı olan atıkların bir üretim prosedürüne tabi tutularak, orijinal amaçlı ya da diğer amaçlar için yeniden işlenmesi, geri kazanım ise tekrar kullanım ve geri dönüşüm kavramlarını da kapsayan; atıkların özelliklerinden yararlanılarak içindeki bileşenlerin fiziksel, kimyasal veya biyokimyasal yöntemlerle başka ürünlere/enerjiye çevrilmesine denilmektedir (Anonim 2005).

Doğal kaynakları kullanmakta olan insanoğlunun oluşturduğu atıklar, nüfus ve ihtiyaçların artması ile birlikte doğal kaynakların tükenmesi ve çevrenin kirlenmesi gibi sorunlara neden olmaktadır. Bu durum dikkate alındığında, gelecek kuşakların da hak sahibi olduğu doğal kaynakların kullanılmasının yanı sıra çevrenin korunması amacı ile atık ürünlerin geri dönüştürülerek kullanılmasına önem verilmelidir.

2.2. Geri Dönüşümün Tarihi

Bilinen ilk geri dönüşüm Japonlar tarafından 1031 yılında atık halinde olan kağıtları hamur haline getirerek kullanmaları ile yapılmıştır. Amerikalılar 1690 yılında geri dönüştürülmüş kağıt imalatını sektör haline getirerek üretmeye başlamışlardır. Ayrıca Amerikalılar 1776 yılında ilk olarak kağıt dışında metalleri, 1907 yılında ise alüminyumunu geri dönüştürmeyi başarmışlardır (Wilson 1997).

Teknolojik gelişmelerin hızı ve değişen yaşam standartları ile birlikte hızla artan nüfus, atık hacminin artmasına ve atık içeriğinin çeşitlenmesine sebep olmaktadır. Günümüzde artık neredeyse kullanılan her hammadde (kağıt, metaller, alüminyum, plastik, yapı malzemeleri vb.) kullanım ömrü bittiğinde yeniden kullanılmak üzere geri kazanılmaya başlanmıştır (Öztürk 2005; Başar 2007).

Geri kazanımda önemli paya sahip olan yapı malzemelerinin yeniden kullanımı çok eski tarihlere dayanmaktadır. Romalıların, yığma yapıların onarımları sırasında oluşan kiremit parçalarını yeniden kullandıkları bilinmektedir. Bununla birlikte M.S. 62 yılında gerçekleşen Pompei depreminden sonra ortaya çıkan enkazdan elde edilen yapı malzemesi atıklarının yeniden kullanımının standart haline geldiği bilinmektedir. Ayrıca Romalı mimar ve mühendis Marcus Vitruvius, gerekli önlemlerin alınması şartıyla kiremit parçalarının yapı malzemesi olarak yeniden kullanılabilceğini önermektedir (Tüfekçi 2011).

Portland çimentosu ile birlikte geri kazanılmış agrega (GKA) kullanılarak beton üretme fikri ilk olarak 1860 yılında Almanya’da ortaya çıkmıştır. 1928 yılından itibaren ise betona, çimento içeriğinin, su içeriğinin ve GKA kullanım oranının etkileri araştırılmaya başlanmıştır. Almanya’da, İkinci Dünya Savaşı’ndan sonra enkaz haline gelen inşaat ve yıkıntı atıklarının beton üretiminde tekrar kullanımı gündeme gelmiştir. Savaş sırasında oluşan tahmini enkaz miktarının yaklaşık olarak 400–600 milyon m³ olduğu belirtilmektedir. Belirtilen bu enkaz atıklarının yaklaşık 11,5 milyon m³ kadarı Almanya’da kurulan tesis tarafından beton üretiminde, geri kazanılmış agrega olarak yaklaşık 170.000 konutun inşasında kullanılmıştır (Khalaf and Devenny 2004).

Günümüzde artan atık miktarı ve çeşidinden dolayı bu atıkların kontrol ve yönetimi modern toplumların en büyük sorunlarından birisi haline gelmiştir. Kentsel katı atıkların yaklaşık %13-%30’luk kısmını oluşturan inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA) nın kontrol ve yönetimi de büyük önem arz etmektedir. Diğer atıklara benzer şekilde bu atıklarda kontrol altına alınmadığı takdirde çevresel ve ekonomik açıdan önemli zararların doğmasına sebep olacaktır (Öztürk 2005).

2.3. İnşaat ve Yıkıntı Atıkları (İYA)

İnşaat atıkları; konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst yapıların yapımı esnasında ortaya çıkan atıklardan, yıkıntı atıkları ise; konut, bina, köprü, yol ve benzeri alt ve üst

yapıların tamirâtı, tadilatı, yenilenmesi, yıkımı esnasında veya doğal bir afet sonucunda ortaya çıkan atıklardan meydana gelmektedir².

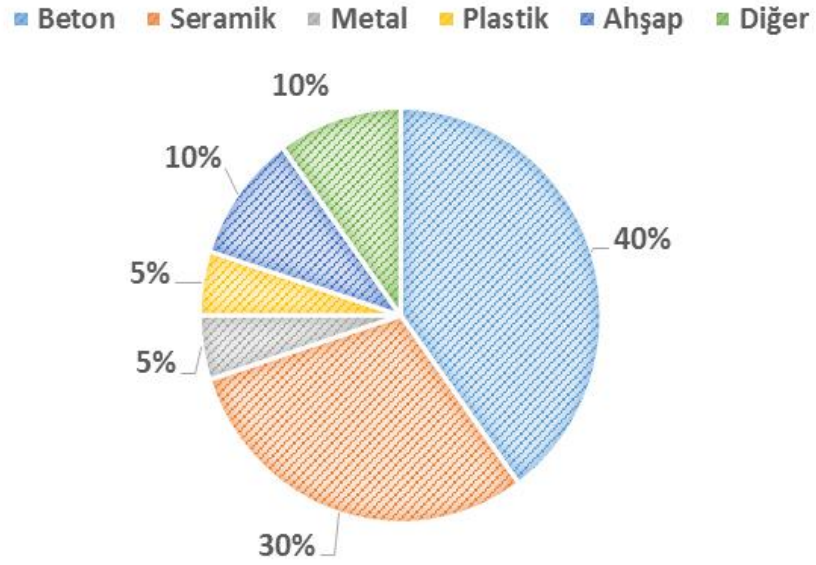
Oikonomou (2005) tarafından yapılan çalışmada İYA'nın meydana gelmesinin başlıca nedenleri olarak;

- Kullanım ömrünü tamamlamış olan binaların ve diğer yapıların yıkılmasının,
- Bazı ihtiyaçların ve gereksinimlerin değişmesi ile bazı yapıların kullanıma elverişli olsa da yıkılmasının,
- Bina ve diğer yapı atıklarının oluşmasına sebep olan deprem, kasırga gibi doğal afetlerin sebep olduğu belirtilmiştir.

İYA; inşaat, yıkım ve onarımlar esnasında kullanılmayan malzemelerin birikmesi sonucu oluşmaktadır. Oluşan bu atıkların türü ve miktarı, yapının ve yapım esnasında kullanılan malzemelerin özellikleri ile yapının yaşına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Genellikle meydana gelen yapısal atık çeşitleri, ahşap, moloz, agrega, plastik, asfalt, seramikler, metaller ve kağıt ürünlerinden oluşmaktadır ve bu ürünlerin yaklaşık miktarları Şekil 2.1'de gösterilmektedir (Başar 2007).

Hammaddenin en fazla kullanıldığı alanlardan biri olan inşaat sektöründe İYA'ndan olan; beton, asfalt, ahşap, alüminyum, demir gibi malzemeler en fazla kullanılan ve geri kazanımı mümkün olan malzemelerdir. Bu sektörden elde edilen geri kazanılmış ürünler, Çizelge 2.1'de gösterildiği gibi doğal malzemeler ile birlikte veya ayrı olarak, alt ve üst yapı inşaatlarında öncelikli olarak kullanılmaktadır (Kılıç 2012).

¹ 18.03.2004 tarih ve 25406 sayılı T.C. resmi gazetede, "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği" yayımlanmıştır (Anonim 2004).



Şekil 2.1. Atık ürünlerinin sınıflandırılması (Oikonomou 2005)

Çizelge 2.1. İYA'nın kullanıldığı alanlar (Öztürk 2005)

MALZEMELER	KULLANILDIĞI YERLER
Tahta Atık	Yakıt olarak, peyzaj malzemesi olarak, hayvan yatağı malzemesi ve yeni yapılar.
Asfalt	Asfalt kaldırımlar
Beton ve Duvar	Temel ve yol inşaatları
Briket	Dekoratif bina cepheleri
Çelik	Güçlendirme, çelik yapılar ve diğer çelik imalatları
Metaller	Yeni metal üretimi
Plastikler	Yeni plastik malzeme üretimi
Alçı Malzemeler	Yeni alçı taşı üretimi
Kiremitler	Yeni binalar

Ülkemizde oluşan atıkların büyük çoğunluğu geri kazanılabilir niteliktedir. Üretim için zengin bir kaynak olan bu atıkların, istihdam gibi alanlarda sağlayacağı ilave kapasite

de dikkate alındığında, geri kazanımın ulusal refahın artırılmasında sahip olduğu büyük potansiyelin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Sağlıklı bir atık yönetiminin temel unsurları; atıkların öncelikle kaynaktan önlenmesi ve ayrıştırılması, geri kazanılabilir atıkların ekonomiye geri kazandırılarak depolanacak atık miktarının azaltılması, geri kazanılamayan atıkların ise çevre ve insan sağlığına zarar vermeyecek şekilde depolanmasının sağlanmasıdır (Köse vd 2007). Tüm dünyada, gelişmiş ülkelerde bu konu üzerine gösterilen hassasiyetin ülkemizde de gösterilmesi gerekmektedir.

2.4. İYA'nın Yönetimi

Doğal kaynakların aşırı miktarda tüketilmesinin önüne geçilmesi, atık oluşumunun en aza indirilmesi ve bu atıkların en üst düzeyde geri kazanımının sağlanıp ekonomiye bir girdi olarak dönüştürülmesi, tüm dünyada öncelikli politika hedefi olarak benimsenen “sürdürülebilir kalkınma”³ yaklaşımının en önemli unsurlarını oluşturmaktadır.

Avrupa Birliği komisyonu tarafından 1999 yılında hazırlanan raporda, 350 milyon nüfusa sahip 15 üye ülkede her yıl ortalama 180 milyon ton civarında inşaat ve yıkıntı atığı oluşturduğu Çizelge 2.2’de gösterilmektedir. Bu atıkların ortalama olarak %28’i geri kazanılmakta, %78’i ise depolanmaktadır. Üye ülkelerden Almanya, İngiltere, Fransa, İtalya ve İspanya’da oluşan inşaat ve yıkıntı atığı miktarı AB üye ülkelerinde oluşan toplam atık miktarının %80’i civarındadır. Hollanda, Belçika ve Danimarka ise İYA’nın geri kazanımında büyük başarı sağlamış ülkelerdir (Ölmez ve Yıldız 2008).

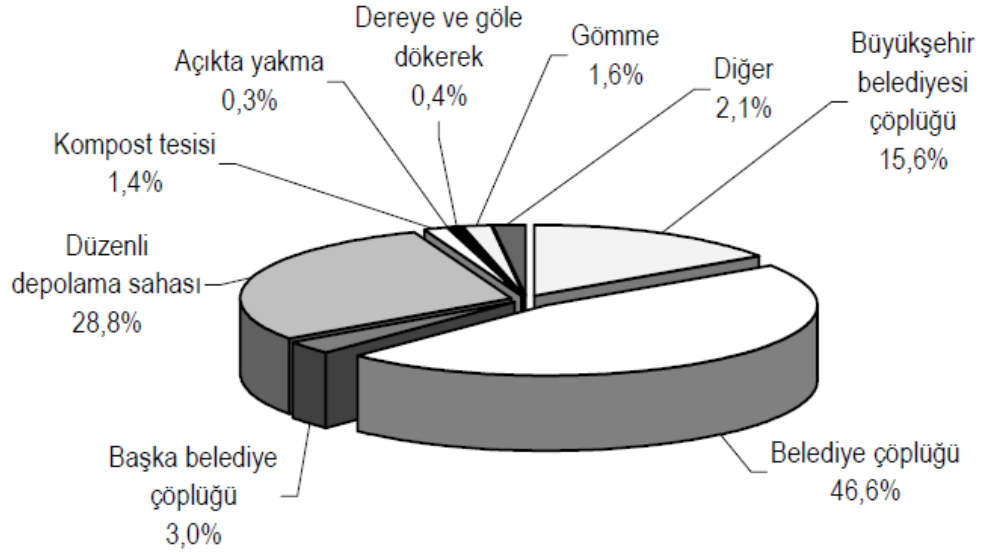
Önem verilmesi gereken atık yönetimi, ülkemizde 1930’lu yıllardan itibaren bazı yasal düzenlemelerde yer almış ve uygulama görevleri belediyelere verilmiştir.

³ Çevresel kaliteyi ve beşeri sermayeyi de dikkate alan, kaynakların optimum kullanımını amaçlayan uzun dönemli kalkınma modeli olarak tanımlanmaktadır (Tıraş 2012).

Çizelge 2.2. AB ülkelerinde inşaat ve yıkıntı atığı miktarı (Ölmez ve Yıldız 2008)

Ülke	İnşaat/Yıkıntı Atığı (milyon ton)	İnşaat/Yıkıntı Atığı (kg/kişi/yıl)	Geri Dönüştürülen veya Tekrar Kullanılan (%)	Yakma veya Depolama (%)
Almanya	59	750	17	83
İngiltere	30	530	45	55
Fransa	24	420	15	85
İtalya	20	350	9	91
İspanya	13	340	<5	>95
Hollanda	4	270	90	10
Belçika	7	700	87	13
Avusturya	5	650	41	59
Portekiz	3	300	<5	>95
Danimarka	3	575	81	19
Yunanistan	2	200	<5	>95
İsviçre	2	240	21	79
Finlandiya	1	200	45	55
İrlanda	1	285	<5	>95
Lüksemburg	0	-	n/a	n/a
AT	180		28	72

Evsel atıklar ile hafriyat, inşaat yıkıntılarının taşınması ve atıkların depolanması belediyelerin sorumluluğundadır. TÜİK'in 2003 yılı Belediye Katı Atık İstatistikleri Anketi sonuçlarına göre 3215 belediyeden 3018'inde katı atık hizmeti verilmektedir. Bu verilere göre 2003 yılında katı atık hizmeti veren belediyelerce toplanan 26,12 milyon ton katı atığın sadece %28,5'i düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmiştir. TÜİK'in 2004 yılı anketine göre ise, 2004 yılında 1911 belediyeden 1889'unda katı atık hizmeti verilmiş ve 24,24 milyon ton çöp toplanmıştır. Bu atıklardan sadece %28,9'u düzenli depolama sahalarında bertaraf edilmiştir (Köse vd 2007).



Şekil 2.2. Türkiye’de atık bertaraf yöntemleri (Köse vd 2007)

Ülkemizde etkin ve sürdürülebilir bir atık yönetim sisteminin henüz oluşturulamamış olmasının temel nedenleri arasında;

- Atık yönetimine ulusal politika öncelikleri arasında yer verilmemesi ve yeterli kaynak ayrılmaması,
- Atık yönetiminin gerek ulusal ve gerekse yerel düzeyde yetkin bir kurumsal altyapıya kavuşturulmamış olması,
- Yetki ve sorumluluklar çok sayıda kurum ve kuruluş arasında dağıtıldığı halde bunlar arasında yeterli koordinasyon ve işbirliğinin olmaması,
- Bu alanda verilen hizmet karşılığında alınan vergi ve ücretlerin yetersiz oluşu,
- Çok uzun yıllar geri planda bırakılması nedeniyle, günümüzde hem bugünün ihtiyaçlarının ve hem de geçmişten gelen sorunlara çözüm bulunması gereğinin oluşturduğu baskı,
- Mevcut teknik kapasitenin çok yetersiz, altyapı tesislerinin sayıca yetersiz ve büyük çoğunluğunun oldukça ilkel koşullarda olması,
- AB normlarına ve uluslararası standartlara uygun olarak gerçekleştirilen yasal düzenlemelerin uygulamaya yeterli düzeyde yansıtılmaması,

- Denetim ve izleme faaliyetlerinin çok yetersiz olması ve aykırı davranışlara karşı etkili müeyyidelerin uygulanamaması sayılabilir (Köse vd 2007).

Gelişmiş ülkelerde atıkların, özellikle de büyük çoğunluğu oluşturan İYA'nın geri kazanılması amacıyla farklı politikalar izlenmektedir. Örneğin ABD'de 44 eyalette inşaatlarda geri kazanılmış beton agregası kullanmak zorunlu hale getirilmiştir. AB ülkelerinde ise 1980'li yılların başlarından beri Almanya, Hollanda, Avusturya, İsveç, Macaristan gibi ülkelerde inşaat malzemesi atıkları çeşitli tesislerde geri kazanılmakta ve yeniden kullanıma girmektedir. Almanya, Danimarka ve Hollanda ülkelerinde %90 oranında geri kazanım yapılmaktadır. AB'nin evrensel eylem programında atık yönetimi, öncelikli dört konudan biri olarak ele alınmıştır (Kılıç 2012).

Ayrıca AB atık sorununu çözmek amacı ile atık yönetimi ve önlenmesi hususunda yeni projeleri teşvik etmektedir. Örneğin Fransa'da bir inşaat firması, şantiyede atık yönetimini ve geri kazanımını etkin biçimde uygulayan ve bunun için işçilerin eğitimini de içeren bir sistem geliştirmiş ve bu sistemin pilot uygulaması 15 farklı inşaatta uygulanmıştır. Şantiyede oluşan atık miktarı 3 kat, atık depolama masrafları ise %50 oranında azaltılmış, toplam 1 milyon Euro olan bu projeye, 300 bin Euro destek sağlanmıştır. Belçika'da ise Antwerp liman idaresi, limanda oluşan atıkların izlenmesine ve yönetimine ait entegre bir sistem oluşturmuştur. Bu sistemle atıkların limandaki her hareketi kolayca izlenebilmektedir. Bu sayede atıkları en aza indirmek, yeniden kullanmak ve geri kazanmak için etkin bir program geliştirilmiştir. Bu projenin 1,3 milyon Euro'luk bütçesinin 650 bin Euro'luk kısmı AB tarafından sağlanmıştır (Kılıç 2012).

Ülkemizde ise, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından yürütülen politikalar ve teşviklerle geri kazanım konusunda ilerleme sağlamak amaçlanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından envanter ve planlama faaliyetleri, standartların geliştirilmesi, teknolojik altyapının ve yerel yönetimlerin güçlendirilmesi, eğitim ve rehberlik faaliyetleri, lisanslandırma vb. konular ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır (Köse vd 2007).

Ayrıca “Sıfır Atık” sloganıyla hareket eden Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından çevreye zarar vermeden atıkların tekrar ekonomiye geri kazandırılması amacı ile kurulacak olan tesislere arazi tahsisi, KDV muafiyeti, vergi indirimi, SGK prim desteği vb. teşvikler verilmesi planlanmaktadır (Kılıç 2012).

2.5. Geri Kazanılmış Agregalar (GKA)

Günümüzde oranları ülkeye ve şehre göre değişmekle birlikte İYA, katı atıklar içerisinde büyük bir paya sahiptir. Bu atıkların yeniden kullanımı çevresel ve ekonomik açıdan irdelendiğinde çok büyük önem taşımaktadır. Şekil 2.1’de gösterilen İYA içerisinde ağırlıkça en büyük orana sahip beton atıklarının geri kazanımı tavsiye edilmektedir. Bu bölümde beton atıklarının oluşturan ana öğelerden biride GKA’dır (Demir 2010). Geri dönüşüm veya geri kazanım açısından önemli bir yeri olan GKA’nın detaylı olarak incelenmesi gerekmektedir.

2.5.1. GKA’nın özellikleri

GKA ile üretilen betonların kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada GKA’ların, betonların dayanımlarına olan etkilerini incelemeye önce GKA özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Bu kapsamda betonların mekanik özelliklerini etkileyen başlıca GKA özelliklerinden yoğunluk, su emme ve aşınma kayıpları araştırılmıştır.

Yoğunluk

Wagih *et al.* (2012) tarafından yapılan araştırmada, farklı atık betonlardan elde edilen GKA’ların yoğunlukları ortalama $2,30 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlenmiş olup, GKA’ların doğal agregalara oranla daha düşük yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Düşük yoğunluğa sebep olan faktörün ise, GKA’ların sahip oldukları yüksek poroziteden kaynaklandığı belirtilmiştir. Etxeberria *et al.* (2007) ile Matias *et al.* (2013) yaptıkları çalışmalar neticesinde GKA yoğunluklarını sırasıyla $2,35 \text{ g/cm}^3$ ve $2,43 \text{ g/cm}^3$ olarak

belirlemişlerdir. Topçu and Şengel (2003)'de yaptıkları çalışmada kullandıkları GKA'ların yoğunluk deneylerinde benzer sonuçları gözlemlemişlerdir.

Su emme

GKA'nın su emme oranı, normal agregalara göre oldukça fazladır. GKA'nın üzerinde yapışmış halde bulunan çimento hamurunun sebep olduğu bilinen yüksek su emme oranları %3,0 ile %12,0 arasında değişirken, normal agregaların (NA) su emme oranları ise %0,5 ile %1,0 arasında değişmektedir (Rao *et al.* 2007). Tam *et al.* (2007)'de yaptıkları araştırmada tane çapı 10 mm olan GKA'ların su emme oranlarını 10 farklı numune üzerinde belirlemiş ve maksimum su emme oranını %8,74 olarak, minimum su emme oranını ise %5,20 olarak tespit etmişlerdir. Topçu and Şengel (2003) ise yaptıkları çalışmada, 5,50 incelik modülüne ve $2,47 \text{ g/cm}^3$ özgül ağırlığa sahip GKA'ların 30 dakikalık su emme oranlarını %7,0 olarak tespit etmişlerdir.

Aşınma kaybı

ASTM C33'e göre GKA'nın beton üretiminde kullanılabilmesi için Los Angeles (LA) aşınma değerinin %50'den, yol yapımında kullanılabilmesi için ise %40'dan fazla olmaması gerekir (Anonymous 2008). Yapılan LA deneyleri sonucunda GKA'ların aşınma kayıplarının NA'lara oranla daha fazla olduğu belirlenmiştir. Ancak bu değer beton üretiminde kullanılacak maksimum değerden fazla olmadığı tespit edilmiştir. Kılıç (2006) yaptığı çalışma neticesinde, 500 devir sonucundaki aşınma oranının (4-8 mm) çaplarındaki GKA'da %26,5 olarak, (8-16 mm) çaplarındaki GKA'larda ise %23,0 olarak tespit etmiştir. Köken vd (2008) yaptıkları çalışmada geri kazanılmış iri agregaların aşınma kaybı oranını %31,72 olarak belirlemişlerdir. Tüfekçi (2011)'de yaptığı LA deneyi sonucunda benzer sonuçları elde etmiştir.

2.5.2. GKA'nın kullanım amacı

Doğal bir kaynak olan GKA'ların geri kazanılması, doğaya ve ülke ekonomilerine önemli katkılar sağlayacaktır. Bu bölümde GKA'ların geri kazanımı ile ilgili elde edilebilecek çevresel ve ekonomik avantajlardan bahsedilecektir.

2.5.2.a. Çevresel etki

Çevrenin korunması, insan yaşamı ile doğrudan bağlantılıdır. Zamanımızın %90'lık kısmını binalarda, yollarda ve köprülerde geçirmemiz, inşaat malzemelerinin hayatımızda önemli bir yer edindiğini göstermektedir. İnşaat sektörü; hammaddenin %50'sini doğadan almakta, toplam enerjinin %40'ını tüketmekte ve toplam atığın ise %50'sini oluşturmaktadır. Bu durum çevrenin korunmasını üç farklı açıdan etkilemektedir;

- Beton ve çimento üretimi için gerekli olan hammaddenin tüketimi doğal kaynaklara olan erişimi azaltmaktadır.
- Beton ve çimento üretimi ve nakliyesi esnasında yüksek oranda enerji sarfıyatı meydana gelmektedir.
- Yıkılan yapılardan meydana gelen atık betonları depolamak için büyük alanlar gerekmektedir (Oikonomou 2005). Bahsedilen bu maddeler aşağıda açıklanmıştır.

İnşaat sektöründe en fazla kullanılmakta olan yapı malzemesi beton, dünyada yaklaşık olarak her yıl 6 trilyon ton üretilmektedir. Bu da kişi başına yılda ortalama 1 ton beton üretildiği anlamına gelmektedir. Beton endüstrisi bugün doğal kaynakların en büyük tüketicisi durumundadır. Beton üretimi ile birlikte doğal agrega tüketimi her geçen gün daha da artmakta ve yaygınlaşmaktadır. Bu durum gelecek kuşaklara doğal agrega kaynaklarının ne kadarının ulaşabileceği sorusunu akıllara getirmektedir. Ayrıca doğal afetlerle, kullanım ömrünü tamamlayan yapıların yıkılmasıyla ya da atık hacminin çok

olduğu kentsel dönüşüm⁴ projeleri sonucu ortaya çıkan yapısal atıkların kent merkezlerinden uzaklaştırılması gerekmektedir. Bu kapsamda kent merkezlerinden uzakta devasa depolama alanlarına ihtiyaç duyulmakta ve çevre kirliliğine sebep olmaktadır. Tükенmekte olan bu hammadde kaynaklarının korunması ve ortaya çıkan çevre kirliliğinin önüne geçilmesi, atıkların geri kazanımını zorunlu kılmaktadır (Khalaf and Devenny 2004; Marinkovic *et al.* 2010; Kılıç 2012).

Yapısal atıkların depolanmasında çok büyük alanlara ihtiyaç vardır. Ayrıca bu atıklar hem inşaat sırasında hem de depolandıkları alanlarda toprak, su kaynakları ve hava üzerinde olumsuz etkilere neden olmaktadır. İlk olarak yapısal katı atıklar içerisinde bulunan yanıcı malzemelerin doğaya kontrolsüz bir şekilde atılması ve yakılması sonucu meydana gelen tehlikeli gazlar havaya karışarak atmosferin kirlenmesine sebep olmaktadır. Atıkların toplandığı doğal depolama alanları, ilgili bölgedeki toprağın verimliliğini kaybetmesi sonucu tarım alanı olarak kullanılamayacak duruma gelmektedir. Ayrıca en önemli içme suyu kaynakları olan yeraltı su kaynaklarının çok sınırlı olduğu bilinmektedir. Kirlenmiş yer altı sularının arıtılarak içme suyu haline dönüştürülmesi oldukça zor ve pahalıdır. Bu durum dikkate alınarak ABD, İngiltere, Danimarka, Almanya ve Hollanda da karışık haldeki İYA'nın yeraltı suyunun kirlenmesine neden olabileceğine dikkat çekilerek depolanmasında daha dikkatli olunması ve içme suyu kaynaklarının bulunduğu bölgelerde depolama yapılmaması istenmektedir. İYA'nda insan sağlığını tehdit eden asbest ve kurşun içeren bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenlerin çevreye gelişi güzel bırakılması insan sağlığı üzerinde olumsuz etki yaratabilmektedir (Öztürk 2005; Başar 2007).

Bunlara ilaveten yapısal katı atıkların değerlendirilmek yerine atık depolama alanlarına gönderilmesi durumunda bu atık malzemeler yerine yeni hammaddeler kullanılacak ve doğal kaynakların ileride tükenmesi tehlikesi ile bu kullanım daha da artacak ve ekolojik dengenin bozulmasına neden olacaktır (Başar 2007).

⁴ Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Başkanlığı tarafından; Türkiye'de yıllık ortaya çıkan 45 milyon ton İYA miktarının, 2012 yılında yayımlanan Kentsel Dönüşüm Kanunu ile birlikte ilk 3 yıl boyunca yıllık 10 milyon ton ilave atık oluşacağı dikkate alındığında yıllık 55 milyon ton İYA meydana gelmektedir (Kılıç 2012).

2.5.2.b. Ekonomik etki

İnşaat ve yıkıntı atıklarından elde edilen beton atıklarının ayrıştırılarak yeniden kullanımının ve geri kazanımının ekonomiye büyük oranlarda katkısı olacaktır. İYA'nın ayrıştırılmasında iki ekonomik kazanç öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki temizlenmiş İYA'nın bertarafının karışık İYA'nın bertarafından daha ucuz olması, diğeri ise tekrar işlenmiş olan inşaat atığının geri dönüşüm ürünü olarak üretim zincirine gönderilmesidir (Kılıç 2012).

Çizelge 2.3. 2012 yılı beton üretim miktarları ve fiyatları (Anonim 2012; Akçalı 2012)

BETON SINIFI	ÜRETİM MİKTARI (m ³)	ÜRETİM MALİYETİ (TL/m ³)
C14	1.488.800	72
C16	2.047.100	74
C20	13.213.100	77
C25	40.104.550	82
C25+	35.545.100	120
TOPLAM	93.050.000	-

İYA içerisinde büyük bir paya sahip olan betonların geri dönüşümü ülke ekonomisi açısından önem arz etmektedir. Örneğin Çizelge 2.3'de gösterilmekte olan Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından hazırlanmış 2012 yılı beton sınıflarına göre beton üretim miktarları dikkate alındığında üretilen toplam beton miktarı 93.050.000 m³'tür. Beton birim ağırlığını 2,8 ton/m³ kabul edersek, üretilen toplam beton miktarının 260.540.000 ton olduğu hesaplanmaktadır.

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü Atık Yönetimi Başkanlığı tarafından; Türkiye'de yıllık ortaya çıkan 45 milyon ton İYA miktarının, 2012 yılında yayımlanan Kentsel Dönüşüm Kanunu ile birlikte ilk 3 yıl boyunca yıllık 10 milyon ton ilave atık oluşacağı dikkate alındığında yıllık 55 milyon ton İYA meydana gelmektedir. Buna göre toplam katı atık miktarının ortalama %25'ine tekabül

eden inşaat yıkıntı atıklarının yaklaşık 14 milyon ton olduğu, İYA miktarının %40'ı olan beton atıklarının yaklaşık 5,5 milyon ton olduğu ve beton atıklarının ağırlıkça %45'i olan iri agregaların ise yaklaşık 2,5 milyon ton olduğu ortaya çıkmaktadır (Demir 2010). Yani bu durum ekonomiye ve sürdürülebilir yaşam olgusuna katkıda bulunacağımız 2,5 milyon ton atık agregaya sahip olduğumuzu göstermektedir.

1 m³ beton birim ağırlığının hacimsel bazda ve ağırlık bazında, sırası ile %40 ve %45'ini iri agrega oluşturmaktadır. Bu veriler dikkate alındığında, 2012 yılı doğal iri agrega tüketiminin 117.243.000 ton olduğu ortaya çıkmaktadır. Maliyet açısından irdelendiğinde ise 1 m³ betonda, %40 ile çimentodan sonra %20 ile iri agrega gelmektedir (Demir 2010). Çizelge 2.3'de gösterilmekte olan değerler kullanılarak 2012 yılı toplam beton üretim maliyeti 8.830.072.800 TL olarak, toplam tüketilen doğal iri agrega maliyeti ise 1.766.014.560 TL olarak hesaplanmıştır. Bu da doğal iri agrega kullanımının, doğal kaynakların tükenmesi ve sürdürülebilirlik ilkesi açısından önemli bir malzeme olduğu gerçeğinden başka, agregaların ekonomide de önemli bir kalem olarak karşımıza çıktığını göstermektedir.

Literatür kapsamında taşıyıcı betonlarda doğal agrega yerine %30 oranına kadar GKA kullanılabilmesi bilinmektedir (Topçu and Günçan 1995; Poon *et al.* 2002; Xiao *et al.* 2004; Etxeberria *et al.* 2007; Mefteh *et al.* 2013). Taşıyıcı betonlar haricinde GKA kullanılacak alanlardan birisi olan ve en fazla C16/20 beton sınıfına sahip grobeton üretimini dikkate alacak olursak; Türkiye'de 2014 yılında toplam 112.000.000 m² alana sahip konut inşa edilmiştir. Ortalama bina kat sayısının 7 katlı olduğunu varsaydığımızda 2014 yılında inşa edilen bina oturma alanı 16.000.000 m² olarak hesaplanmaktadır. Bu yapılarda temel altına 10 cm grobeton imalatı yapıldığı düşünülecek olursa, toplamda 1.600.000 m³ beton ve 2.016.000 ton agrega tüketilmektedir. GKA'nın %100 oranında kullanılabilmesi bir beton olan grobeton imalatı değerlendirildiği takdirde 2014 yılı için yaklaşık 2 milyon ton doğal agregadan ekonomik ve çevresel olarak kazanç sağlanacaktır. Bölüm 2.5.2.a'da bahsedilen 2,5 milyon ton GKA ülkemizde yapılan yapıların sadece grobeton imalatlarında kullanılarak hem çevremize hem de ekonomimize büyük katkılar sağlanabilir.

2.5.3. GKA üretimi

GKA'nın, üretim aşamaları İSTAÇ geri kazanım tesisinden elde edilen bilgiler doğrultusunda aşağıdaki gibidir. Bu kapsamda atık malzemeler, geri kazanım tesisine firmalar tarafından gerekli şartlar sağlanarak getirilir ve uygunluğu kontrol edilerek tesise kabul edilir. Tesise kabul edilen malzeme örneği Şekil 2.3'de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. İnşaat yıkıntı atıklarının tesise kabul edilmesi

Tesise alınan atıkların, konkasörde kırılmayacak boyutta olanları uygun ebatlara getirilmek üzere ayrı depolanır. Uygun boyutta olanlar ve uygun boyutlar haline getirilenler Şekil 2.4'deki gibi paletli yükleyici ile konkasöre aktarılır.



Şekil 2.4. Atıkların konkasörde kırılması

Kırılma sonucunda agregadan ayrılan demir donatısı Şekil 2.5’de gösterildiği gibi manyetik seperator yardımıyla geri kazanılır ve malzemeler konveyör bant yardımıyla eleğe gönderilerek farklı boyutlarda tasnif edilir.



Şekil 2.5. Malzemelerin ayrılması ve eleğe gönderilmesi

En son elde edilen malzemeler lastikli yükleyici tarafından kamyonlara yüklenerek tekrar kullanılmak üzere Şekil 2.6’teki gibi farklı çaplarda depolanır.



Şekil 2.6. Malzemelerin farklı sınıflara ayrılarak depolanması

2.5.4. GKA'nın kullanım alanları

İnşaat sektörünün kullandığı en büyük hammadde kaynağı olan agregaların tekrar kullanımını bilim adamlarının ilgisini son yirmi yıldır çekmeyi başarmıştır. GKA'nın günümüzde en yaygın kullanıldığı alanlar aşağıda belirtilmiştir.

- 80–200 mm beton agregaları, dolgu malzemesi olarak,
- 0–80 mm beton agregaları, standartlara uygun olarak beton ve grobeton imalatlarında, yol inşaatlarında zemin malzemesi olarak, toprak dolgu malzemesi olarak ve sertleşmiş zemin oluşturmak için park sahalarında,
- Geri kazanılmış kum çok az kullanılmakla beraber, çoğunlukla yol kaplama altlarında,
- 0–56 mm GKA, zemin dolgusu olarak ve sertleşmemiş zemin oluşturmak için park sahalarında,
- Asfalt agregaları, yollar ve park alanı kaplamalarında ve yeni asfalt yapımlarında kullanılmaktadır (Arıoğlu vd 1996).

2.5.5. GKA ile üretilen betonlar

Bu bölümde literatür kapsamında GKA ile üretilen betonlar üzerinde yapılan fiziksel, mekanik ve durabilite deneylerinden elde edilen sonuçlar araştırılmıştır.

2.5.5.a. GKA ile üretilen betonların fiziksel özellikleri

GKA'nın sahip olduğu özelliklerin, GKA ile üretilen betonların yoğunluk, su emme, çökme ve işlenebilirlik gibi özellikleri üzerindeki etkileri doğal agregalar ile üretilen betonlarla karşılaştırılarak araştırılmıştır.

Yoğunluk

Bölüm 2.5.1. GKA'nın özellikleri kapsamında belirtilen sebeplerden dolayı GKA'dan elde edilen betonların yoğunlukları, NA ile üretilen betonların yoğunluklarına göre daha düşüktür (Butler *et al.* 2013). Etxeberria *et al.* (2007) NA ile ürettikleri betonların yoğunluklarını $2,42 \text{ g/cm}^3$ olarak belirlerken, iri agrega yerine %25, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanarak ürettikleri betonların yoğunluklarını ise sırasıyla $2,40 \text{ g/cm}^3$, $2,39 \text{ g/cm}^3$ ve $2,34 \text{ g/cm}^3$ olarak tespit etmişlerdir. Tespit edilen bu yoğunlukların, normal betonların yoğunluklarına göre sırasıyla %1,0, %1,3 ve %3,3 oranlarında daha düşük olduğu belirlenmiştir. Tüfekçi (2011) tarafından yapılan araştırmaya göre iri agrega yerine %25, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanılarak üretilen betonların yoğunluklarında sırası ile %0, %2 ve %4 oranlarında azalmalar olduğu gözlemlenmiştir. Matias *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada ise %25, %50 ve %100 GKA'lı betonların yoğunluklarında sırasıyla %2, %3 ve %5 oranlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

Su emme

Bölüm 2.5.1. GKA'nın özellikleri kapsamında bahsedilen yapışık halde bulunan çimento hamurunun neden olduğu yüksek su emme oranına sahip olan GKA'lar ile üretilen betonların su emme değerlerinin, NA ile üretilen betonların su emme değerlerinden yüksek olduğu bilinmektedir. Debieb *et al.* (2010), Xiao *et al.* (2011), Kwan *et al.* (2011) ve Martinez *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmalarda, GKA kullanılarak üretilen betonların su emme miktarlarının, NA kullanılarak üretilen betonların su emme miktarlarına oranla oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

Erdal (2011)'da GKA oranlarını %0, %50 ve %100 olarak belirleyip yaptığı araştırmada, ürettiği betonların su emme değerlerini tespit etmiş ve elde ettiği sonuçlara göre su emme oranlarının %8,6 ile %14,8 arasında olduğunu belirlemiştir. Ayrıca en düşük su emme oranının NA'lı betonlarda olduğunu gözlemlerken, en yüksek su emme oranının ise %100 GKA kullanarak ürettiği betonlarda meydana geldiğini belirlemiştir.

Çökme ve işlenebilirlik

Betonların slump değerleri zamana bağlı olarak azalmaktadır. Mefteh *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada, %100 NA ile ürettikleri betonun ilk andaki slump değerini 90 mm olarak belirlerken, 60 dakika sonraki slump değerini ise 10 mm olarak ölçmüşlerdir. Ayrıca %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında GKA kullanarak ürettikleri betonların slump değerlerini belirleyip, bu betonlarda kullanılan GKA oranı artışına bağlı olarak slump değerinin azaldığını tespit etmişlerdir. Bu durumun GKA'nın yüksek su emme kapasitesinden kaynaklandığını vurgulamışlardır.

Emam Ali and Al-Tersawy (2012) ince agregaya yerine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında GKA kullanarak ürettikleri betonların slump değerlerinde GKA miktarının artışına bağlı olarak azalmalar olduğunu gözlemlemişlerdir. Ismail and Ramli (2013) ise iri agregaya yerine %15, %30, %45 ve %60 oranlarında GKA kullanmış ve benzer sonuçları bulmuşlardır. Matias *et al.* (2013) işlenebilirlik açısından incelediğinde GKA'nın yüksek su emme değerlerine sahip olmasından dolayı, NA'ya göre daha kötü performans sergilediğini belirlemiştir. Hoffman *et al.* (2012), Jimenez *et al.* (2012) ve Lima *et al.* (2013)'da yaptıkları çökme ve işlenebilirlik testlerinde benzer sonuçları gözlemlemişlerdir.

2.5.5.b. GKA ile üretilen betonların mekanik özellikleri

Bu bölümde GKA ile üretilen betonların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, beton-donatı aderansı gibi başlıca mekanik özellikleri literatür kapsamında araştırılmıştır.

Basınç dayanımı

GKA ile üretilen betonların basınç dayanım performansları, NA ile üretilen betonlara kıyasla daha zayıftır. Bu durum ise çimento hamuru ile agregaya arasındaki aderansın GKA da daha zayıf olmasından kaynaklanmaktadır. Evangelista and Brito (2007)

yaptıkları çalışmada ince agrega yerine kullanmış oldukları GKA oranlarını %10, %20, %30, %50 ve %100 olarak belirlemiştir. Topçu and Günçan (1995) ile Xiao *et al.* (2004) iri agrega yerine kullanmış oldukları GKA oranları %30, %50, %70 ve %100 olarak belirlemiştir. Şimşek vd (2008) iri agrega yerine %10, %20, %30, %40, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanmışlardır. Etxeberria *et al.* (2007) iri agrega yerine %25, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanarak beton üretmişlerdir. Poon *et al.* (2002) ürettikleri betonda GKA oranlarını %25, %50 ve %100, Mefteh *et al.* (2013) ise GKA oranlarını %20, %40, %60, %80 ve %100 olarak belirlemiş ve GKA'yı hem ince hem de iri agrega olarak kullanmışlardır. Üretilmiş olan bu betonlar üzerinde yapılan basınç testlerinin sonuçlarına göre, iri ve ince agrega yerine kullanılan GKA oranı arttıkça betonların basınç dayanımlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir.

Yarmada çekme dayanımı

GKA'lı betonlar ile doğal agregalı betonların yarmada çekme dayanımları karşılaştırıldığında GKA ile üretilen betonların performansının daha düşük olduğu ortaya çıkmaktadır. Düşük performansın sebebi, GKA üzerinde yapışmış halde bulunan çimento hamurunun sebep olduğu çimento ve GKA arasındaki ikici bir ara yüzün varlığıdır.

Fonteboa and Abella (2007) tarafından yapılan çalışmada iri agrega yerine %50 oranında GKA, Evangelisto and Brito (2007) tarafından yapılan çalışmada ince agrega yerine %10, %20, %30, %50 ve %100 oranlarında GKA, Mefteh *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında GKA, Poon *et al.* (2002) tarafından yapılan çalışmada ise %20, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanılarak üretilen betonlar ile NA kullanılarak üretilen betonlar karşılaştırılmış ve GKA ile üretilen betonların yarmada çekme dayanımlarının daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Eğilme dayanımı

GKA ile üretilen betonların eğilme dayanımları, NA ile üretilen betonların eğilme dayanımlarından daha düşük çıkmaktadır. Xiao *et al.* (2011) ürettikleri betonlarda iri agrega yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında GKA, Jimenez *et al.* (2012) ince agrega yerine %5, %10, %20 ve %40 oranlarında GKA, Emam Ali and Al-Tersawy (2012) ince agrega yerine %10, %20, %30, %40 ve %50 oranlarında GKA, Panda and Bal (2013) ise iri agrega yerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında GKA kullanmışlardır. Eğilme dayanımlarını incelediklerinde GKA agrega miktarının artışına bağlı olarak eğilme dayanımlarında azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir.

Elastisite modülü

GKA ile NA kullanılarak üretilen betonların elastisite modülleri birbirlerinden farklı değerlere sahiptirler. GKA ile üretilen betonların basınç ve çekme dayanımlarının geleneksel betonlara göre daha düşük olmasından dolayı bu betonların elastisite modülleri de daha düşük çıkmaktadır. Rahal (2005) yaptığı çalışmada %100 GKA kullanarak ürettiği betonun elastisite modülünün, %100 NA kullanarak ürettiği betonun elastisite modülünden yaklaşık %3 daha düşük olduğunu tespit etmiştir. Fonteboa and Abella (2007), Padmini *et al.* (2008) Fonseca *et al.* (2011), Hoffman *et al.* (2012) ve Butler *et al.* (2013) yaptıkları çalışmalarında, GKA kullanım oranının artması ile birlikte üretilen betonların elastisite modülü değerlerinde düşüş meydana geldiğini gözlemlemişlerdir.

Beton donatı aderansı

Beton ve çelikten meydana gelen ve kompozit bir yapı malzemesi olan betonarmenin kullanışlı olması, beton ve çeliğin birlikte çalışmasına bağlıdır. Beton ve çelik arasında bulunan yük ve gerilme aktarımı, beton donatı aderansı ile ilgilidir. Beton ve çelik arasındaki sıyrılma direnci, daha çok kullanılan çeliğin düz veya nervürlü olmasına ve çelik gömme boyuna bağlı olsa da, GKA kullanımının da etkisi bulunmaktadır. Lima *et*

al. (2013) yapmış olduğu çalışmada en iyi sıyırılma direncinin NA ile ürettiği betonda olduğunu, en kötü sıyırılma direncinin ise %100 GKA kullanarak ürettiği betonda olduğunu belirlemiştir. Fakat Corinaldesi and Moricani (2009), Tüfekçi (2011) ve Erdal (2011) tarafından yapılan çalışmalarda GKA kullanım oranının artması ile birlikte beton donatı aderansında artış meydana geldiği gözlemlenmiştir.

2.5.5.c. GKA ile üretilen betonların durabilite özellikleri

Bu bölümde GKA ile üretilen betonların rötre, yüksek sıcaklık, karbonatlaşma, donma-çözülme gibi başlıca durabilite özellikleri literatür kapsamında araştırılmıştır.

Rötre

Yüksek su emme oranlarına sahip GKA içeren betonların rötre miktarları, normal betonlara göre oldukça fazladır. Corinaldesi and Moricani (2009) ürettikleri betonların 90 günlük rötre davranışlarını gözlemlemişler ve GKA'lı betonların rötrelerinin NA'lı betonlara göre daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Martinez *et al.* (2013)'da çalışmalarında benzer sonuçları elde etmişlerdir. Limbachiya *et al.* (2011) ürettikleri betonlarda iri agrega yerine %30, %50 ve %100 oranlarında GKA, Xiao *et al.* (2011) ise iri agrega yerine %25, %50, %75 ve %100 oranlarında GKA kullanmışlardır. Üretmiş oldukları betonlar rötre açısından incelendiğinde GKA oranı arttıkça, meydana gelen rötre de arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca genel kanının aksine Hamir *et al.* (2001) 14 ve 28 günlük rötre değerlerini ölçtüğünde GKA kullanarak ürettikleri betonların %33 ile %55 oranlarında daha düşük çıktığını gözlemlemişlerdir.

Yüksek sıcaklık

Beton ve diğer yapı malzemeleri yüksek sıcaklığa maruz kaldıklarında dayanımlarında ve dayanıklılıklarında düşüşler meydana gelmektedir. Çelik (2007) yaptığı çalışmada, GKA miktarları, %25, %50, %75 ve %100 olan beton karışımları hazırlamıştır. Hazırladığı bu betonları 250°C'ye kadar yüksek sıcaklıklara maruz bıraktıktan sonra

betonların mekanik ve durabilite özelliklerini incelemiştir. Yüksek sıcaklık, GKA ile üretilen betonların mekanik ve durabilite özelliklerine daha fazla etki etmiştir. Bu durum GKA oranı artışı ile doğru orantılıdır. Viera *et al.* (2011) iri agrega yerine %20, %50 ve %100 GKA kullanarak ürettikleri betonları, 400°C, 600°C ve 800°C'lere maruz bırakmış ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Yaptıkları çalışma sonucunda GKA ve NA içeren betonlar arasında mekanik özellikler açısından pek fazla fark olmadığı tespit edilmiştir.

Karbonatlaşma

Genel olarak yapılan çalışmalar doğrultusunda, GKA içeriğinin karbonatlaşma derinliği hususunda olumlu etki oluşturduğu bilinmektedir. Corinaldesi and Moricani (2009) yaptıkları çalışmada GKA ve NA ile ürettikleri betonların karbonasyon karşısındaki davranışlarını incelemiş ve GKA ile ürettikleri betonların karbonatlaşma derinliğinin daha düşük olduğunu tespit etmişlerdir. Diğer yandan, Lovato *et al.* (2011) iri agrega yerine %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında GKA, Limbachiya *et al.* (2011) ise %30, %50 ve %100 oranlarında GKA kullanmışlardır. Elde edilen verilere göre GKA miktarının artmasına bağlı olarak, karbonatlaşma derinliği artmıştır.

Donma çözülme direnci

Betonda mikro çatlakların oluşmasına sebep olan donma çözülme etkisi, malzemelerin mekanik davranışlarını olumsuz etkilemekte ve zararlı maddelerin oluşan bu çatlaklardan içeri sızması sonucu malzemelerin dayanıklılık özellikleri de olumsuz etkilenmektedir. Medina *et al.* (2012) ürettikleri betonlarda %20 ve %50 oranlarında GKA kullanmışlar ve bu betonlara uyguladıkları 56 donma çözülme çevrimi neticesinde, GKA kullanımının betonun donma çözülme direncini olumsuz etkilediğini gözlemlemişlerdir. Petkoviç *et al.* (2013) yaptıkları çalışmalarında benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Zaharieva *et al.* (2004) ince agrega yerine GKA kullanarak ürettikleri betonların donma çözülme direncinin diğer gruplara göre daha fazla olduğunu tespit etseler de, genel olarak GKA'nın, betonların donma çözülme dirençlerini olumsuz

etkilediğini savunmuşlardır. Gökce *et al.* (2003) GKA oranlarını %25, %50 ve %100 olarak belirlemişlerdir. Betonların donma çözülme dirençlerini iyileştirmek amacı ile hava sürükleyici katkı ilave etmişlerdir. Ürettikleri betonların donma çözülme dirençlerini 500 çevrimde incelemişler ve GKA ile üretilen betonlar yüksek su emme oranına sahip olsalar da sahip oldukları gözenekli yapılarından dolayı donma çözülme etkilerine daha dayanıklı olduğunu tespit etmişlerdir. Debieb *et al.* (2010) da 24 saat içerisinde 14 donma çözülme çevrimi uygulamış ve GKA'lı betonların daha dirençli olduğunu, %1'den fazla kütle kaybı olmadığını ve Richardson *et al.* (2010)'da yaptığı çalışmada, GKA ile ürettiği betonların donma çözülme karşısında daha dirençli olduğunu belirtmişlerdir.

2.6. Lif Katkılı Betonlar

2.6.1. Lifler

Enerji yutma kapasitesi, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı açısından zayıf özellik gösteren betonların bu zayıf özellikleri, lifler yardımıyla iyileştirilebilmektedir. Bu bölümde liflerin özellikleri ile liflerin betonların mekanik ve durabilite dayanımlarına olan etkileri literatür kapsamında araştırılmıştır.

2.6.1.a. Lif kullanımının tarihi

Farklı mekanik etkilere maruz kalan yapı elemanlarını güçlendirmek amacıyla kullanılan liflerin, çok eski zamanlardan günümüze kadar geldiği bilinmektedir. Eski çağlardan beri kullanılan kerpiç malzemesi, kil ile bitkisel ve hayvansal liflerin birlikte kullanılması sonucu elde edilmektedir. Bitkisel lif olarak saman, keten ve kenevir liflerinin, hayvansal lif olarak ise atkuyruğu ve kuş tüyü gibi liflerin kullanıldığı bilinmektedir (Ateş 2008).

Arslan ve Aydın (1999) yaptıkları çalışmada, günümüzden yaklaşık 4500 yıl öncesinde, saman takviyeli kil harcının yapılarında kullanıldığını belirtmişlerdir. Ateş

(2008) tarafından yapılan çalışmada ise günümüzden yaklaşık 3500 yıl öncesinde Bağdat yakınlarında inşa edilmiş olan 57 m yüksekliğine sahip “Aqar Quf” kulesinin yapımında kullanılan güneşte pişirilmiş tuğlaların içerisinde saman olduğu belirtilmiştir. Ayrıca Gençel (2006) yaptığı çalışmada, Romalıların, Collosium inşaatı yapımında kullandıkları balçık karışımlarında çeşitli hayvanlara ait kuyruk ve yele kıllarının olduğunu, Türklerin Mimar Sinan’ın yapılarında kullandığı Horasan Harcı içerisinde ise saman gibi doğal liflerin olduğunu belirtmiştir.

1898 yılında asbest lifler, çimento ile birlikte kullanılmış ve ticari olarak yaygınlaşmıştır. Ancak daha sonraları asbest liflerin insan sağlığını tehdit eden içeriğe sahip olduğu ortaya çıkmış olup, bunun üzerine bilim adamları alternatif lif arayışına girmişlerdir. 1950’lerin sonlarında Sovyetler Birliği ve 1966 yılından itibaren ise İngiltere, cam lifleri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. 1960’lı yılların başlarında ise ABD çelik liflerin kullanımına başlamıştır (Ateş 2008). Günümüzde hayvansal ve bitkisel liflerin yanında, cam, çelik, plastik, polipropilen, karbon, polivinil alkol gibi birçok lif çeşidi kullanılmaktadır.

2.6.1.b. Liflerin Özellikleri

Betonun mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirmek amacıyla mineral ve kimyasal katkılara ek olarak farklı özelliklere ve boyutlara sahip lifler kullanılmaktadır. Taze betonda kullanılan mikro ve makro boyutlardaki lifler beton içerisinde rastgele dağılmasına rağmen yük altında homojen olarak davranmakta ve betonda oluşan çatlakları engellemektedirler. Betonda kullanılan lifler genel olarak çelik, polipropilen, polivinil alkol, plastik, karbon, cam gibi farklı malzemelerden üretilmektedir (Şimşek 1997; Zeynal 2008). Betonda kullanılmakta olan farklı malzemelerden üretilen lifler ve özellikleri Çizelge 2.4’de gösterilmiştir.

Çizelge 2.4. Farklı malzemelerden üretilmiş lifler ve özellikleri (Zeynal 2008)

Lif Tipi	Lif Çapı (µm)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Elastisite Modülü (GPA)	Çekme Dayanımı (GPA)	Uzama (%)
Çelik	5-500	7,84	200	0,5 - 2	0,5 - 3,5
Cam	9-15	2,6	70 - 80	2-4	2 - 3,5
Karbon	9	1,9	230	2,6	1
Naylon	-	1,1	4	0,9	13 - 15
Selüloz	-	1,2	10	0,3 - 0,5	-
Polietilen	-	0,95	0,3	0,0007	10
Polipropilen	-	0,9	5-77	0,5 - 0,75	8
Asbest	0,02-0,4	3,4	164 - 196	3,1 - 3,5	2-3
PVA	-	1,3	25 - 40	0,88 - 1,60	6-10

Çelik liflerle güçlendirilmiş betonlar, yük atlındaki davranışları itibari ile geleneksel betondan oldukça farklıdır. Çelik lifler, eğilme momentini alan çubuk ve hasır donatıdan farklı olarak betonun yapısını değiştiren ve onu plastik davranışa zorlayan bir malzeme olarak görülebilir. Donatı ve çelik lifler bir yere kadar aynı işlevi görmelerine rağmen çelik liflerin beton içerisindeki davranışı oldukça farklıdır. Bu iki durum arasındaki en önemli fark, beton içerisindeki fonksiyonları ve çatlak kontrollerini ne zaman ve nasıl yaptıklarıdır. Çelik lifler çatlak oluşumu esnasında gerilmeleri kendi üzerlerine alıp sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirirler. Çelik liflerin özellikleri;

- Betonların kavitezyon ve erozyon dayanımını artırırklar,
- Darbe dayanım direncini artırırklar,
- Çatlak oluşumunu engellerler,
- Çekme dayanımını artırırklar,
- Yorulma dayanımını artırırklar,
- Deformasyon kapasitesi ve enerji yutma kapasitelerini artırırklar (Şimşek 1997).

Petrolün türevi olan polipropilen lifler inşaat sektöründe yaygın olarak kullanılan organik malzemelerdir. Polipropilen liflerin beton içerisindeki en önemli işlevi, taze betonun ilk zamanlarında meydana gelen plastik büzülmeden dolayı oluşan çatlakları kontrol etmektir. Polipropilen liflerin özellikleri;

- Betonun rötre ve büzülme çatlaklarını azaltır.
- Betonu üç boyutlu donatılandırır.
- Betonun geçirgenliğini azaltır.
- Betonun basınç ve eğilme dayanımını artırır.
- Asit ve bazlardan etkilenmez, donatının korozyonunu geciktirir.
- Betonun dağılmasını ve parçalanmasını önler.
- Aşındırıcı kimyasallara karşı dayanımı artırır.
- Yüzey aşınmasını ve ufalanmasını engeller (Erdal 2011).

Yukarıda bahsedilen çelik ve polipropilen lifler beton içerisinde ayrı ayrı kullanılabilmesi gibi karışık olarak da kullanılabilir. Bentur and Mindess (1990) tarafından yapılan çalışmada polipropilen ve çelik liflerin karışık olarak kullanılmasının avantajları aşağıda sıralanmıştır.

- Polipropilen lifler, köprü vazifesi görerek betonda meydana gelen mikro çatlak oluşumunu engellerken, çelik lifler ise makro çatlak oluşumunu engellemektedir.
- Polipropilen lifler, enerji yutma kapasitesini ve şekil değiştirme kapasitesini geliştirirken, çelik lifler ise ilk ve son çatlak dayanımını artırmaktadır.
- Durabilite açısından irdelendiğinde polipropilen lifler betonun kısa süreli performansında etkili iken, çelik lifler ise uzun süreli fayda sağlamaktadırlar (Bentur and Mindess 1990).

2.6.1.c. Lif özelliklerinin beton özelliklerine etkisi

Lif katkılı betonların özellikleri, liflerin bazı spesifik özelliklerine bağlıdır. Liflerin geometrileri, liflerin boyutları, liflerin narinlik oranları ve beton içerisinde kullanım yüzdeleri betonların dayanımlarını etkilemektedir. Bundan dolayı üretilen lif katkılı betonlarda kullanılan liflerin bu özellikleri göz önünde bulundurulmalıdır.

Lif geometrisi

Beton üretiminde kullanılan lifler değişik kesit ve boyutlarda üretilmektedir. Liflerin en önemli özellikleri olan mekanik özellikleri dışında, liflerin biçimsel özellikleri yani geometrileri de betonların mekanik dayanımlarını önemli ölçüde etkilemektedir. (Şimşek 1997). Lifler farklı geometrilere sahip, düz, çengelli, dalgalı ve saplı şekillerde üretilmektedir.

Wang *et al.* (1996) düz ve çengelli çelik lif kullanarak ürettikleri betonlarda yaptıkları deneyler sonucunda, çengelli lif katkılı betonların daha iyi performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Swamy and Jojagha (1982) ise yaptıkları çalışmada, düz, çengelli, dalgalı ve saplı lifleri kullanarak betonlarını üretmişlerdir. Yaptıkları mekanik deneyler sonucunda en iyi performansı çengelli ve dalgalı çelik lif katkılı betonların verdiğini gözlemlemişlerdir.

Lif boyutu ve narinlik oranı

Kullanılan lif boyutunun ve narinlik oranının artması ile birlikte, betonların mekanik özelliklerinde artış olduğu bilinmektedir. Uzun lifler, oluşabilecek makro çatlaklar arasında köprü vazifesi görerek betonların tokluğunu artırmaktadırlar. Kısa lifler ise mikro çatlakları önlemektedirler.

Zeynal (2008) yaptığı çalışmada kısa ve uzun olmak üzere iki farklı lif kullanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre uzun liflerin, betonların mekanik dayanımlarını kısa liflere oranla daha fazla artırdığını tespit etmiştir. Banthia *et al.* (1998) ile Mohammadi *et al.* (2008)'da yaptıkları çalışmada benzer sonuçları elde etmişlerdir. Ayrıca Banthia *et al.* (1998) uzun ve kısa lifleri karma şekilde kullanarak ürettikleri betonların en yüksek dayanımları verdiklerini gözlemlemişlerdir.

Beton özelliklerini etkileyen diğer bir parametre olan narinlik oranı, lif uzunluğunun yuvarlak kesitler için çapa, yuvarlak olmayan kesitler için ise eşdeğer çapa bölünmesi ile elde edilir. Narinlik oranının artması ile birlikte betonların mekanik özellikleri artmaktadır. Fakat bu oranın artması betonların işlenebilirliğini ve yerleştirilmesini zorlaştırmaktadır. Bundan dolayı liflerin narinlik oranlarının 100'ü geçmemesi tavsiye edilmektedir (Boğazkesen 2011).

Yazıcı *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada 45, 65 ve 80 narinlik oranına sahip lifleri, Marar *et al.* (2000) ise yaptıkları çalışmada 60, 75 ve 83 narinlik oranına sahip lifleri kullanarak beton üretmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, narinlik oranı artışı ile birlikte betonların mekanik özelliklerinin arttığını tespit etmişlerdir.

Lif yüzdesi

Yapılan çalışmalar neticesinde, betonların lif içeriğinin artması ile mekanik dayanımları da artmaktadır. Ancak bu lif içeriğinin optimum değerine çıkmaması gerekmektedir. Lif içeriğinin yüksek olması durumunda işlenebilirlik azalmaktadır. Ayrıca betonun karıştırılması esnasında lifler topaklanmaktadır ve bu topaklanmalar matris içerisinde zayıf bölgelerin oluşmasına neden olmaktadır. Tüm bu olumsuzlukların giderilmesi amacı ile, karışımda iri agrega kullanılmaması, lif narinlik oranının optimum değerinde olması ve süper akışkanlaştırıcı kullanılması gerekmektedir (Boğazkesen 2011).

2.6.1.d. Liflerin kullanım alanları

Polipropilen lifler, plastik büzülme, plastik çökme ve rötre çatlaklarına maruz kalan yapılarda, aderansın fazla olması istenen yerlerde ve kırılabilirliği ortadan kaldırmak amacıyla ile düşük sıcaklıklara maruz kalan yerlerde kullanılmaktadır. Genel olarak kullanıldığı alanları sıralayacak olursak;

- Saha Betonları ve Şap Uygulamaları,
- Tamir ve Yapıştırma Harçları,
- Bitümlü Karışımlar,
- Püskürtme Betonlar (Erdal 2011).

Çelik lifler, yapısal özellikleri nedeni ile betonun birçok özelliğini güçlendirmesi sonucu, ağır çalışma koşullarına maruz kalan yapılarda ve yüksek dayanım özelliklerinin (çekme, darbe, kaviteasyon, erozyon, yorulma, tokluk vb.) gerektiği alanlarda kullanılmaktadır. Genel olarak kullanıldığı alanları sıralayacak olursak;

- Endüstriyel Döşemeler,
- Su Yapıları,
- Püskürtme Beton Uygulamaları,
- Şev Stabilitesi ve Tünel Kaplamaları,
- Havaalanı Kaplama Betonları,
- Liman Kaplama Betonları,
- Beton Borular,
- Askeri Güvenlik Yapıları (Uğurlu 1999).

2.6.2. Lifli betonlar

Agrega, çimento, su gibi temel bileşenler ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan ve yorulma dayanımı, kaviteasyon ve aşınma dayanımı, çarpma dayanımı, çekme dayanımı,

deformasyon kapasitesi, kayma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı ve tokluk (enerji yutma kapasitesi) gibi özellikler açısından zayıf performans gösteren geleneksel betonun içerisine farklı yöntemler kullanılarak ve farklı oranlarda çelik, plastik, cam vb. liflerin katılması ile elde edilen malzeme, lifli beton olarak bilinmektedir (Uğurlu 1999).

2.6.2.a. Lifli betonların mekanik özellikleri

Bu bölümde GKA ile üretilen betonların basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, eğilme dayanımı, elastisite modülü, beton-donatı aderansı gibi başlıca mekanik özellikleri literatür kapsamında araştırılmıştır.

Basınç dayanımı

Betona çelik lif takviyesi ile betonların basınç dayanımı iyileştirilebilmektedir. Zeynal (2008) yaptığı çalışmada, ürettikleri betonlara %0,4, %0,8 ve %1,2 oranlarında çelik lif katmıştır. Yaptığı deneyler neticesinde lif miktarının artışı ile basınç dayanımının arttığını gözlemlemiştir. Ayrıca elde ettiği sonuçlara göre maksimum sonucu, normal betonlara göre %10 daha fazla dayanım gösteren, %1,2 oranında çelik lif katkılı betonlar vermiştir. Wang and Wang (2013) ve Ma *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmalarda çelik lif oranları %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlara göre lif miktarının artışı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımının arttığı tespit edilmiştir. En yüksek dayanımları ise her iki çalışmada da %2,0 oranında çelik lif katkılı betonlar vermiştir. Bu betonlar, normal betonlara kıyasla sırasıyla %19,2 ve %16,0 oranlarında daha fazla dayanım göstermişlerdir.

Bazı çalışmalar ise çelik lif kullanımının belli bir miktara kadar basınç dayanımını artırdığını göstermektedir. Daha fazla lif kullanımı, ara yüzü artırdığından ve işlenebilirliği azalttığından dolayı basınç dayanımını olumsuz etkilemektedir. Caf (2012) yaptığı çalışmada %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında çelik lif kullanmıştır. Elde ettiği sonuçlara göre %1,0 oranında çelik lif katkılı betonlar basınç dayanımında

normal betonlara göre %20 oranında en fazla artışı göstermiştir. %2,0 oranında çelik lif katkılı betonlar ise %10 oranında en az artışı göstermiştir. Eren ve Çelik (1997) yaptıkları çalışmada çelik lif oranlarını %0,5, %1,0 ve %2,0 olarak belirlemişlerdir. Elde edilen sonuçlar neticesinde basınç dayanımında en fazla artışı %1,0 çelik lif katkılı betonların gösterdiğini tespit etmişlerdir. Song and Hwang (2004) yaptıkları çalışmada, çelik lif oranları %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, %1,5 oranına kadar lif miktarının artışı ile doğru orantılı olarak basınç dayanımında artış olduğunu tespit etmişlerdir. Ancak çelik lif miktarı bu oranı aştığında basınç dayanımlarında düşüş olduğunu gözlemlemişlerdir. Maksimum artışı sağlayan %1,5 oranında çelik lif katkılı betonlar ise normal betonlara kıyasla %13,2 oranında daha fazla dayanım göstermiştir.

Diğer yandan bazı araştırmalar ise çelik lif kullanımının betonların basınç dayanımını azalttığını göstermektedir. Khaloo *et al.* (2014) yaptıkları çalışmada, çelik lif oranlarını %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre lif miktarının artışı ile birlikte basınç dayanımlarında azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir. Maksimum azalmayı ise, %2,0 oranında çelik lif katkılı betonlarda %18,6 olarak belirlemişlerdir. Baran vd (2012) yaptıkları çalışmada, çelik lif oranlarını %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 olarak belirlemiş olup, elde ettikleri sonuçlara göre lif oranı artışı ile birlikte basınç dayanımında azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir.

Polipropilen liflerin, betonların basınç dayanımları üzerinde çok fazla bir etkisi olmadığı, normal betonlara kıyaslandığında az miktarda artış olduğu bilinmektedir. Song *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lif katkılı betonlar ile normal betonların basınç dayanımları karşılaştırmış olup, %5,7 oranında daha fazla dayanım elde edilmiştir. Badr *et al.* (2006)'da yaptıkları çalışmada benzer sonuçları bulmuşlardır. Nili *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada, %0,2, %0,3 ve %0,5 polipropilen lif katkılı betonlar üretmişlerdir. Yapılan deneyler neticesinde, lif miktarı artışı ile birlikte basınç dayanımlarında artışlar olduğunu gözlemlemişlerdir. En yüksek artışın ise %0,5 polipropilen lif katkılı betonlarda %15 oranında olduğunu tespit etmişlerdir.

Yarmada çekme dayanımı

Çelik lif katkılı ve katkısız betonların yarmada çekme dayanımları kıyaslandığında, çelik lif kullanımı betonların darbe dayanımlarını artırmaktadır. Literatür doğrultusunda çelik lif miktarının artışı ile doğru orantılı olacak şekilde yarmada çekme dayanımları artmaktadır. Song and Hwang (2004) çelik lif miktarlarını %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında belirledikleri betonların yarmada çekme dayanımlarını incelemiş ve çelik lif oranının artışı ile birlikte yarmada çekme dayanımlarında artışlar olduğunu tespit etmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre çelik lif katkılı betonların normal betonlara oranla %1,0 ile %22,0 arasında daha fazla artış göstermiştir. Zeynal (2008) tarafından yapılan çalışmada, çelik lif miktarları %0,4, %0,8 ve %1,2 olarak belirlenmiş olup, yarmada çekme dayanımlarında ki minimum ve maksimum artışların sırasıyla, %12,0 ile %27,0 olduğu tespit edilmiştir. Baran *et al.* (2012) yaptıkları çalışmada %0,2, %0,4, %0,6 ve %0,8 oranlarında üretilen çelik lif katkılı betonların yarmada çekme dayanımlarını araştırmışlardır. Elde ettikleri verilere göre, çelik lif katkılı betonların yarmada çekme dayanımlarının, normal betonlara göre %5,8 ile %17,0 oranlarında daha fazla dayanım gösterdiğini tespit etmişlerdir. Khaloo *et al.* (2014) ise yaptıkları çalışmada %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında çelik lif katkılı betonlar üretmişlerdir. Ürettikleri bu betonların yarmada çekme dayanımlarını incelediklerinde, normal betonlara kıyasla %2,7 ile %25,0 oranlarında daha yüksek sonuç elde etmişlerdir.

Polipropilen lif katkılı betonların yarmada çekme dayanımları, normal betonların çekme dayanımlarına göre daha iyi sonuçlar vermektedir. Song *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada, polipropilen lif katkılı betonların, normal betonlara göre %9,6 oranında daha iyi çekme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Nili *et al.* (2010) ürettikleri %0,2, %0,3 ve %0,5 oranlarına sahip polipropilen lif katkılı betonların çekme dayanımlarının, lif miktarı artışı ile doğru orantılı olacak şekilde arttığını tespit etmiştir. Hsie *et al.* (2008) ve Mazaheripour *et al.* (2011) yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçları gözlemlemişlerdir.

Eğilme dayanımı

Çelik lif miktarının artışı ile birlikte betonların eğilme dayanımlarında normal betonlara oranla artışlar olduğu bilinmektedir. %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında çelik lif katkılı betonları üreten, Ma *et al.* (2013) ve Khaloo *et al.* (2014) yaptıkları eğilme deneyleri neticesinde, maksimum dayanımları %2,0 çelik lif katkılı betonların verdiğini tespit etmişlerdir. Bu değerler ise sırasıyla %31,5 ve %43,8'dir. Caf (2012)'da yaptığı çalışmada, %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında çelik lif katkılı betonları üretmiş ve benzer sonuçları elde etmiştir. Zeynal (2008) tarafından yapılan çalışmada çelik lif miktarları %0,4, %0,8 ve %1,2 olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre çelik lif miktarının artışı ile birlikte eğilme dayanımlarında artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Maksimum sonucu ise %2,0 çelik lif katkılı betonlar vermiştir. Abdul-Ahad and Aziz (1999) yaptıkları çalışmada %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında çelik lif katkılı betonlar üretmişler ve bu betonların eğilme dayanımlarını incelemişlerdir. Yaptıkları eğilme deneyleri sonucunda çelik lif katkılı betonların, sırasıyla %5,6, %7,7 ve %10,35 oranlarında artış gösterdiğini tespit etmişlerdir. Eren ve Çelik (1997) yaptıkları çalışmada, çelik lif oranlarını, %0,5, %1,0 ve %2,0 olarak, Chenkui and Guafon (1995) ve Pajak and Ponikiewski (2013) ise çelik lif oranlarının %0,5, %1,0 ve %1,5 olarak belirlemiş olup, lif artışı ile birlikte eğilme dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir.

Polipropilen lif katkılı betonların eğilme dayanımları, normal betonlara oranla daha iyi performans göstermektedir. Nili *et al.* (2010) yaptıkları çalışmada, ürettikleri betonların polipropilen lif oranlarını %0,2, %0,3, %0,5 olarak belirlemişlerdir. Yaptıkları deneylerin sonuçları doğrultusunda lif miktarının artışına bağlı olarak betonların eğilme dayanımlarının arttığını tespit etmişlerdir. Alhozaimy *et al.* (1996) tarafından yapılan araştırmada polipropilen lif oranları, %0,05, %0,1, %0,2 ve %0,3 olarak belirlenmiş olup, elde edilen sonuçlar neticesinde lif miktarı artışının betonların eğilme dayanımlarını olumlu yönde etkilediği belirlenmiştir. Manolis *et al.* (1997) ve Mazaheripour *et al.* (2011) yaptıkları çalışmalarda benzer sonuçları gözlemlemişlerdir.

Darbe dayanımı

Betonların ani olarak etki eden tekrarlı dinamik yükler altında gösterdiği direnç olarak bilinen darbe dayanımının patlayıcı madde etkisine maruz kalan (su yapıları, endüstriye yapılar, hava alanı pistleri, kazıklar, demiryolu traversleri, askeri amaçlı yapılar, nükleer santraller vb.) yapılarda daha yüksek olması istenmektedir (Zeynal 2008).

Betonun zayıf bir özelliği olan darbe dayanımı lifler yardımıyla iyileştirilebilmektedir. Darbe dayanımını; kullanılan malzemeler, liflerin özellikleri ve deney yöntemi gibi birçok parametre etkilemektedir. Örneğin, çelik lif kullanımı, polipropilen lif kullanımına göre betonların darbe dirençlerini daha fazla artırmaktadır (Wang *et al.* 1996; Erdem *et al.* 2011; Caf 2012; Nia *et al.* 2012). Lif geometrisi darbe dayanımını etkileyen diğer bir parametre olmakla birlikte çengelli çelik lifler darbe dayanımlarını düz çelik liflerden daha fazla artırmışlardır (Swamy and Jojagha 1982; Wang *et al.* 1996). Lif kullanım oranı ve narinlik oranı arttıkça betonların darbe dayanımları artmaktadır (Swamy and Jojagha 1982; Mindess and Vondran 1988; Wang *et al.* 1996; Marar *et al.* 2001; Mohammadi *et al.* 2008; Zeynal 2008; Nili and Afroughsabet 2010; Yazıcı vd 2012; Soe *et al.* 2013). Ayrıca beton dayanım sınıfı ve yükleme hızı da darbe dayanımını etkileyen parametrelerdendir. Beton dayanım sınıfı arttıkça darbe dayanımı azalmaktadır. Yükleme hızı arttıkça ise darbe dayanımı azalmaktadır. (Mindess *et al.* 1986; Mindess and Yan 1993)

Elastisite modülü

Malzemenin kuvvet altındaki şekil değiştirmesinin ölçütü olan elastisite modülü, çelik lif katkılı betonlarda, normal betonlara kıyasla farklılık gösterebilmektedir. Aslani and Nejadi (2013) tarafından yapılan çalışmada, çelik lif katkılı betonlar ile normal betonlar üretilmiştir. Üretilen betonlar üzerinde yapılan mekanik deneyler neticesinde, çelik lif katkılı betonların basınç dayanımlarının ve dolayısıyla da elastisite modüllerinin, normal betonlara oranla daha yüksek çıktığı tespit edilmiştir. Gao *et al.* (1997) yaptıkları çalışmada çelik lif oranlarını %0,6, %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak

belirlemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre, çelik lif oranının artışı ile birlikte betonların elastisite modüllerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Diğer bir yandan, Köksal vd (2008) yaptıkları çalışmada, %0,5 ve %1,0 oranlarında çelik lif katkılı betonlar üretmiş olup, yaptıkları deneyler sonucunda, lif oranının artışı ile birlikte betonların elastisite modüllerinin azaldığını belirlemişlerdir.

Beton donatı aderansı

Beton ve çelik arasında bulunan yük ve gerilme aktarımının, beton donatı aderansı ile ilgili olduğu bilinmektedir. Normal betonlar ile çelik arasındaki sıyrılma direncini iyileştirmek amacı ile betonlarda farklı lifler kullanılmaktadır. Baran vd (2012) yaptıkları çalışmada normal betonların yanında çelik lif katkılı betonlarda üretmişlerdir. Ürettikleri betonlara pull out testleri uygulamışlardır. Elde ettikleri sonuçlara göre çelik lif katkılı betonların beton donatı aderanslarının normal betonlara göre yaklaşık %30 oranında daha fazla olduğunu tespit etmişlerdir. Yoo *et al.* (2014) tarafından yapılan çalışmada da farklı lif oranlarına sahip çelik lif katkılı betonlar ile normal betonların beton donatı aderansları test edilmiş ve birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda lif miktarının artması ile birlikte betonlar ile çelik arasındaki sıyrılma dirençlerinin arttığı belirlenmiştir.

2.6.2.b. Lifli betonların durabilite özellikleri

Bu bölümde GKA ile üretilen betonların rötre, yüksek sıcaklık, karbonatlaşma, donma-çözülme direnci gibi başlıca durabilite özellikleri literatür kapsamında araştırılmıştır.

Rötre

Beton bünyesinde bulunan suyun buharlaşması sonucu meydana gelen rötre, engellenmeye çalışıldığında çekme gerilmelerinin oluşmasına sebep olmaktadır. Bu çekme gerilmeleri, düşük çekme dayanımına sahip olan betonda çatlak oluşumuna neden olmaktadır. Betonda oluşabilecek çatlakların önüne geçmek amacı ile lifler

kullanılmaktadır. Banthia and Gupta (2006) yaptıkları çalışmada, %0,1, %0,2 ve %0,3 oranlarında polipropilen lif katkılı betonlar üretmişlerdir. Ürettikleri betonlara uyguladıkları rötre testlerinin sonuçlarına göre, polipropilen lif kullanımının rötre çatlakları karşısında çok yüksek performans gösterdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca lif kullanımı betonda meydana gelen toplam çatlak alanlarını azalttığını belirlemişlerdir. Elde edilen diğer bir sonuç ise lif kullanım oranının artması ile çatlakların azalmasını sağlamaktadır. Choi *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada da farklı oranlarda lif katkılı betonlar üretilmiş olup, benzer sonuçlar elde edilmiştir. Pelisser *et al.* (2010) ise yaptıkları çalışmada naylon, PET, cam ve polipropilen olmak üzere farklı çeşit lifler kullanarak ürettikleri betonların rötre çatlaklarını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde poliropilen lif katkılı betonların en iyi performansı gösterdiklerini tespit etmişlerdir.

Yüksek sıcaklık

Uzun süre yüksek sıcaklığa maruz kalan betonların zamanla dayanımlarında azalmalar meydana gelmektedir. Lif kullanarak, dayanımda meydana gelen düşüşlerin hızı azaltılabilmektedir. Watanabe *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada, polipropilen ve çelik olmak üzere iki farklı lif kullanarak ürettikleri betonları 200°C, 400°C ve 600°C'lere maruz bırakmışlardır. Yaptıkları mekanik deneyler doğrultusunda lifli tüm betonların daha iyi performans gösterdiklerini tespit etmişlerdir. Ayrıca çelik lif katkılı betonların daha dirençli olduklarını gözlemlemişlerdir. Bu durumun ise polipropilen liflerin 160-170°C'lerde erimesinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Zheng *et al.* (2013) yaptıkları çalışmada ürettikleri %2,0 oranında çelik lif katkılı betonları yüksek sıcaklıklara maruz bırakmış olup, basınç ve çekme dayanımlarını incelemişlerdir. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde, betonların basınç dayanımlarında 100°C'de düşüş olduğunu, 200°C ile 500°C'ler arasında artış meydana geldiğini ve 500°C'den sonra tekrar düşüş meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Betonların çekme dayanımlarında ise 200°C'de düşüş olduğunu, 200°C ile 300°C'ler arasında artış meydana geldiğini ve 300°C'den sonra tekrar düşüş meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Khaliq and Kodur (2011) ise yaptıkları çalışmada çelik ve poliropilen lifleri ayrı ayrı ve karma şekilde kullanarak

ürettikleri betonları yüksek sıcaklıklara maruz bırakmışlardır. Yaptıkları deneyler sonucunda, ürettikleri beton grupları arasında pek fazla değişiklik olmadığını tespit etmişlerdir.

Karbonatlaşma

Betonun bozulmasına direkt olarak yol açmayan ancak betonun içyapısında meydana getirdiği değişiklikler nedeniyle önemli bir durum olan karbonatlaşma olayı, donatının paslanmasına yol açmaktadır. Bu durumun verdiği zararları azaltmanın yollarından biri de lif kullanmaktır. Zhang and Li (2013) yaptıkları çalışmada polipropilen lif katkıli betonlar üretmişler ve ürettikleri bu betonların karbonasyon derinliklerini incelemişlerdir. Lif oranlarını %0,06, %0,08, %0,1 ve %0,12 şeklinde belirlemişlerdir. Yaptıkları deneyler doğrultusunda polipropilen lif oranının artışına bağlı olarak karbonasyon derinliğinin azaldığını tespit etmişlerdir. Pizzol *et al.* (2014) tarafından yapılan çalışmada da lif kullanımının betonların karbonasyon derinliğine olan etkileri incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar neticesinde, lif kullanımının karbonasyon derinliğini azalttığı gözlemlenmiş olup karbonasyon etkisine maruz kalan yapılarda lif kullanımı tavsiye edilmiştir.

Donma çözülme direnci

Sıcaklık farklarından dolayı meydana gelen donma çözülme etkisi betonların yüzeylerinde yıpranmalara ve aşınmalara sebep olmaktadır. Betonların mekanik ve durabilite özelliklerini iyileştirmek amacıyla kullanılan liflerin donma çözülme etkisi altındaki davranışları iyileştirilebilmektedir. Yıldırım ve Ekinci (2006) yaptıkları çalışmada lif katkıli betonlar üretmiş ve bu örnekler üzerinde 30 donma çözülme çevrimi yaparak ağırlık kayıplarını belirlemişlerdir. Beton üretiminde, hacimce %0,5, %0,75 ve %1,0 oranlarında çelik lif ile %0,1 oranında polipropilen lif karışık halde ve ayrı ayrı olarak kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar neticesinde, polipropilen lif katkısı betonların donma çözülme karşısındaki direncini artırırken, çelik lif kullanımı ise kullanım oranının artışı ile birlikte donma çözülme karşısında olumsuz davranış

göstermiştir. Yıldız (1998) tarafından yapılan çalışmada ise lifli betonların, donma çözülme karşısında daha dirençli olduğu tespit edilmiştir.

2.7. Literatür Özetleri

Swamy and Jojagha (1982) tarafından yapılan çalışmada, su/çimento oranı 0,57 ve maksimum agrega tane çapı 12,5 mm olarak üretilen hafif betonlara farklı tiplerde ve boyutlarda çelik lifler kullanarak darbe dayanımlarını incelenmiştir. Bu kapsamda %1,0 oranında, 25 mm uzunluğunda ve 60 narinlik oranında dalgalı, 53 mm uzunluğunda ve 70 narinlik oranında saplı, 25 mm uzunluğunda ve 50 narinlik oranında düz ve 50 mm uzunluğunda ve 100 narinlik oranında çengelli çelik lifler tercih edilmiştir. 28 gün kür edilen betonlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda, her tür lif katkısının betonun zayıf bir özelliği olan darbe dayanımını arttırdığı tespit edilmiştir. Farklı tip ve boyutlarda lif katkılı betonlar açısından ele alındığında lif boyutunun artması ile darbe direncinin arttığı gözlemlenmiştir. Ayrıca çengelli ve saplı çelik lif katkılı betonlar, uzun boyutları ve yüksek narinlik oranları sebebi ile darbe yükleri karşısında en iyi performansı göstermiştir.

Mindess *et al.* (1986) tarafından yapılan çalışmada, normal betonların, yüksek dayanımlı betonların ve polipropilen lif katkılı betonların darbe dayanımları incelenmiştir. Bu kapsamda su/çimento oranı 0,50 olan 42 MPa ve su/çimento oranı 0,33 olan 82 MPa basınç dayanımına sahip betonlar üretilmiştir. Üretilen bu betonlarda maksimum agrega tane çapı 10 mm olarak belirlenmiş olup lif katkısı olarak kullanılan 37 mm uzunluğundaki polipropilen lifler ise %0,5 oranında ilave edilmiştir. 28 gün sonunda darbe deneyleri 0,5 m ve 1,5 m olmak üzere iki farklı yükseklik kullanılarak yapılmıştır. Yapılan bu deneyler doğrultusunda normal betonların darbe yükleri karşısında gösterdiği direncin yüksek dayanımlı betonlara göre daha fazla olduğu ve polipropilen lif katkısının her iki tür betonların da darbe dayanımlarını olumlu etkilediği gözlemlenmiştir. Darbe dayanımlarına farklı yüksekliklerin etkisi açısından bakıldığında yükseklik artışına bağlı olarak darbe dirençlerinin de arttığı tespit

edilmiştir. Elde edilen bir diğer sonuca göre polipropilen lifler normal betonlara kıyasla yüksek dayanımlı betonların darbe dirençlerine daha fazla katkıda bulunmuştur.

Mindess and Vondran (1988) yaptıkları çalışmada, polipropilen lif katkılı beton kirişlerin darbe yükleri karşısındaki davranışlarını araştırmışlardır. Bu kapsamda ürettikleri betonlarda su/çimento oranını 0,50 olarak belirlemiş olup, maksimum agrega tane çapını ise 20 mm olarak belirlemişlerdir. 19,1 mm uzunluğa sahip polipropilen lifler %0,1, %0,3 ve %0,5 oranlarında kullanılmıştır. 28 gün sonunda yaptıkları darbe deneylerinden elde edilen sonuçlara göre, polipropilen lif kullanımının betonların darbe dayanımlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Tespit edilen diğer bir husus ise kullandıkları lif miktarlarının artışına bağlı olarak ürettikleri betonların darbe dirençlerinin arttığıdır. En yüksek sonucu ise darbe dayanımını %40 oranında arttıran %0,5 oranında polipropilen lif katkılı betonlar vermiştir.

Mindess and Yan (1993) yaptıkları çalışmada, ürettikleri betonların darbe dirençlerine, lif katkısının, darbe yükleme hızının ve beton basınç dayanımının etkilerini araştırmışlardır. Maksimum agrega tane çapının 10 mm olarak belirlendiği çalışmada, lif katkısı olarak, %0,1 oranında polipropilen lif ve %1,0 oranında ise 30 mm uzunluğunda ve 60 narinlik oranına sahip çengelli çelik lif kullanmışlardır. Su/çimento oranını ise 28 günlük basınç dayanımı 40 MPa olan betonlarda 0,50 olarak ve 75 MPa basınç dayanımına sahip olan betonlarda ise 0,38 olarak belirlemişlerdir. Farklı içerikte üretilen bu betonlar 28 gün sonunda hızları, 1,34 m/s, 1,84 m/s ve 2,67 m/s olan darbe yüklemelerine maruz bırakılmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda, darbe yükleme hızı arttıkça betonların kırılma enerjilerinde artışlar olduğu gözlemlenmiştir. Beton dayanımı açısından bakıldığında, numunelerin bir kısmında yüksek dayanımlı betonlar daha yüksek sonuç verirken, numunelerin bir kısmında ise normal betonlar daha yüksek sonuç vermiştir. Bu durum beton dayanımı sınıfının, betonların darbe dirençlerinde çok fazla etkisinin olmadığını göstermektedir. Ayrıca lif katkısının darbe direncine olan etkisi dikkate alındığında polipropilen lif kullanımı her iki dayanıma sahip betonların darbe dayanımlarında yaklaşık olarak %10 ile %20 oranında artış sağlarken, çelik lif kullanımının bundan çok daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Topçu and Günçan (1995) yaptıkları çalışmada, atık betonlardan elde edilen GKA'ları kullanarak ürettikleri betonların basınç dayanımı, tokluk, elastisite modülü ile plastik ve elastik enerji kapasitelerini incelemişlerdir. Bu amaçla %30, %50, %70 ve %100 olmak üzere farklı GKA oranları kullanmışlardır. Sabit su/çimento oranını ise 0,60 olarak belirlemişlerdir. 28 gün sonunda yapılan deneyler sonucunda, GKA kullanım oranı arttıkça betonların basınç dayanımlarında, elastisite modüllerinde, tokluklarında, plastik ve elastik enerji kapasitelerinde azalmalar olduğunu tespit etmişlerdir.

Wang *et al.* (1996) tarafından yapılan çalışmada, farklı oranlarda çelik lif ve polipropilen lif kullanılarak üretilen beton kiriş numunelerinin darbe dayanımları araştırılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 10 mm olarak belirlenmiş olup, su/çimento oranı 0,40 olarak sabit tutulmuştur. Kullanılan çelik lifler dalgalı ve çengelli olmak üzere iki farklı tipte olup, 30 mm uzunluğunda ve 60 narinlik oranına sahip çengelli lifler, %0,25, %0,5, %0,75, %1,0 ve %1,5 oranlarında ve 50 mm uzunluğunda ve 50 narinlik oranına sahip dalgalı lifler ise %0,75 oranında kullanılmıştır. Ayrıca 38 mm uzunluğunda ve %0,25 ve %0,5 oranlarında polipropilen lifler de kullanılmıştır. 14 günlük numuneler üzerinde yapılan darbe deneyleri neticesinde, kullanılan lif miktarlarının artışına bağlı olarak betonların darbe dirençlerinin arttığı gözlemlenmiştir. %0,5 oranında polipropilen lif kullanımı betonun darbe direncini normal betona göre %21 oranında artırırken, çelik lif kullanımında ise maksimum artış %41 oranındadır. Ayrıca %0,75 oranında dalgalı çelik lif ile %0,75 oranında çengelli çelik lif kullanımının betonların darbe dayanımlarına olan etkileri karşılaştırılmış ve benzer sonuçlar tespit edilmiştir.

Banthia *et al.* (1998) tarafından yapılan çalışmada, üretilen lif katkılı ve katkısız betonların 22°C ve -50°C'lerde ağırlık düşürme tekniği kullanılarak darbe dayanımları araştırılmıştır. Ağırlık düşürme deneyi 2,42 m/s ve 3,43 m/s şeklinde iki farklı hız kullanılarak yapılmıştır. Bu kapsamda üretilen betonlarda; 25 mm uzunluğunda ve 12,5 narinlik oranına sahip dalgalı makro çelik lif %1,0 oranında, 3 mm uzunluğunda dalgalı mikro çelik lif ve 3 mm uzunluğunda mikro karbon lif ise %1,0 ve %2,0 oranlarında kullanılmıştır. Ayrıca makro çelik lifler ve mikro çelik lifler karma olarak da

kullanılmıştır. 0,35 su/çimento oranına sahip beton numuneleri üzerinde 28 gün sonunda yapılan deneyler neticesinde, makro lifli betonların darbe dayanımlarının mikro lifli betonlara göre oldukça yüksek olduğu tespit edilmiştir. Darbe dayanımı hususunda en iyi sonucu ise makro ve mikro çelik liflerin karışık kullanıldığı betonlar vermiştir. Bunların dışında yüksek hızda çelik bilye kullanımı ve düşük sıcaklıkta yapılan deneyler sonucunda betonların darbe dayanımlarının daha yüksek sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Toutanji *et al.* (1998) tarafından yapılan çalışmada, maksimum agrega tane çapı 9 mm ve su/çimento oranı 0,41 olan betonların geçirimsizlik ve darbe dayanımlarına, silis dumanı ve polipropilen lif kullanımının etkilerini ele almışlardır. Üretilen betonlarda silis dumanı çimento yerine ağırlıkça %5,0 ve %10,0 oranlarında kullanılırken, polipropilen lifler ise 12,5 mm ve 19,0 mm şeklinde iki farklı boyutta ve %0,1, %0,3 ve %0,5 oranlarında kullanılmıştır. 7 ve 28 günlük numuneler üzerinde yapılan geçirimsizlik deneyleri sonucunda, %5,0 oranında silis dumanı kullanımı, geçirimsizliği önemli ölçüde azaltmıştır. %10,0 ile %5,0 oranlarında silis dumanı katkısının geçirimsizliğe olan etkileri karşılaştırıldığında ise, aralarında dikkate değer bir fark olmadığı belirlenmiştir. Polipropilen lif kullanımı, geçirimsizliğin artmasına sebep olup, lif boyutunun ve miktarının artmasının, betonun geçirimsizliğine olumsuz etki yaptığı tespit edilmiştir. En olumsuz sonuçları ise silis dumanı katkısız ve %0,5 oranında polipropilen lif katkılı betonlar vermiştir. Darbe dayanımı açısından bakıldığında, silis dumanı kullanımının betonun darbe direncine pek fazla bir katkı sağlamadığı görülmüştür. Yapılan deneyler doğrultusunda betonun darbe dayanım direncine optimum katkıyı, %0,5 oranında 19 mm uzunluğundaki polipropilen lif ve %10,0 oranında silis dumanının birlikte kullanımı sağlamıştır.

Nataraja *et al.* (1999) tarafından yapılan araştırmada, klasik betonlar ile dalgalı çelik lif katkılı 28 günlük betonların darbe dayanımları üzerinde çalışılmış olup, elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda üretilen klasik ve lifli betonlarda su/çimento oranı 0,49 olarak, lifli betonlarda kullanılacak olan 27,5 mm uzunluğunda ve 55 narinlik oranına sahip çelik lif oranları ise %0,0 ve %0,5 olarak

belirlenmiştir. Betonların darbe dayanım dirençlerini belirlemek için ağırlık düşürme tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çelik lif katkılı betonların darbe dayanım dirençleri, klasik betonlara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir.

Marar *et al.* (2001) yaptıkları çalışmada farklı narinlik oranlarına sahip çengelli çelik lifleri farklı oranlarda kullanarak, bu liflerin ürettikleri betonların basınç, tokluk ve darbe dayanımları üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Üretilen betonların maksimum agrega tane çapı 20 mm ve su/çimento oranı 0,31 olarak sabit tutulmuştur. 30 mm, 60 mm ve 50 mm uzunluğunda ve sırasıyla 60, 75 ve 83 narinlik oranlarına sahip çengelli çelik lifler %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 oranlarında kullanılmıştır. 28 günlük numuneler üzerinde yapılan deneyler neticesinde, betonlarda kullanılan liflerin narinlik oranı ve miktarı arttıkça betonun tokluk ve darbe dayanımların da artış olduğu ve en yüksek sonucu ise normal betonlara göre 74 kat daha fazla olmak üzere, %2,0 oranında ve 83 narinlik oranına sahip çelik lif katkılı betonların verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar doğrultusunda betonun darbe dayanımı ve tokluğu arasında logaritmik bir ilişki olduğu belirlenmiştir.

Poon *et al.* (2002) tarafından yapılan çalışmada, GKA kullanımının betonların mekanik özelliklerine olan etkileri incelenmiştir. Ayrıca açık havada kurutulmuş, fırında kurutulmuş ve doygun kuru yüzey olmak üzere üç farklı nem oranına sahip agregaların hem normal betonların hem de GKA'lı betonların mekanik özelliklerine olan etkileri araştırılmıştır. Su/çimento oranının 0,57 olarak sabit tutulduğu ve maksimum agrega tane çapının 20 mm olduğu bu çalışmada, GKA oranları ise %20, %50 ve %100 olarak seçilmiştir. 3, 7, 28 ve 90 gün sonunda yapılan mekanik deneyler sonunda, açık havada kurutulmuş agrega ile üretilen hem normal betonların hem de GKA'lı betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları daha yüksek çıkmıştır. Doygun kuru yüzeye sahip agregalar ile üretilen betonların dayanımları ise daha düşük çıkmıştır. Ayrıca elde edilen diğer bir sonuç ise GKA kullanım oranının artışı ile birlikte betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları düşmüştür. %50'den daha yüksek GKA oranının kullanılmaması gerektiği tavsiye edilmiştir.

Topçu and Şengel (2003) tarafından yapılan çalışmada, 14 MPa basınç mukavemetine sahip betonların kırılması ile elde edilen GKA'ların tekrar kullanılarak üretilen betonların basınç ve eğilme dayanımları incelenmiştir. Bu kapsamda GKA oranları %30, %50, %70 ve %100 olarak seçilmiştir. Su/çimento oranları 0,64 ve 0,57 olacak şekilde sabit tutularak iki farklı karışım hazırlanmıştır. 28 gün sonunda yapılan basınç ve eğilme testleri sonuçlarına göre, GKA kullanım oranının artması ile birlikte basınç ve eğilme dayanımlarının azaldığı tespit edilmiştir. Elde edilen diğer bir sonuç ise 14 MPa basınç dayanımına sahip beton agregalarından, 16 MPa ve 20 MPa basınç dayanımına sahip betonlar üretilebildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca GKA kullanımının %30'dan az olduğu sürece kullanımında herhangi bir sakınca olmadığı belirtilmiştir.

Song *et al.* (2004) tarafından yapılan araştırmada, yüksek dayanımlı betonlar ile çelik lif katkılı yüksek dayanımlı betonların 28 gün sonundaki darbe dayanımları üzerinde çalışılmış olup, elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda üretilen lif katkılı ve katkısız yüksek dayanımlı betonlarda su/çimento oranı 0,28 olarak belirlenmiştir. Lif katkılı yüksek dayanımlı betonlarda kullanılacak olan 40 narinlik oranına sahip çengelli çelik lif oranı %1,0 olarak belirlenmiştir. Ayrıca üretilen betonlara çimentonun ağırlıkça %5'i kadar silis dumanı katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre çelik lif katkılı yüksek dayanımlı betonların ilk çatlak dayanımları lif katkısız yüksek dayanımlı betonlara göre yaklaşık olarak 3,9 kat daha fazla performans gösterirken, nihai çatlak dayanımlarında ise yaklaşık 4,2 kat daha fazla performans göstermiştir.

Xiao *et al.* (2004) tarafından yapılan çalışmada, GKA kullanımının betonların 28 günlük basınç dayanımları ve elastisite modülleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu kapsamda maksimum agrega tane çapı ise 31,5 mm olarak, su/çimento oranı ise 0,43 olarak sabit tutulmuştur. Normal agregalardan daha düşük yoğunluğa ve daha yüksek su emme kapasitesine sahip GKA'lar, iri agrega yerine %30, %50, %70 ve %100 oranlarında kullanılmıştır. Yapılan deneyler doğrultusunda GKA içeriğinin artması ile birlikte betonların basınç dayanımlarının ve elastisite modüllerinin azaldığını tespit etmişlerdir.

Badr *et al.* (2005) tarafından yapılan araştırmada, klasik betonlar ile polipropilen lif katkılı betonların darbe dayanımları üzerinde çalışılmış olup, elde edilen veriler istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Bu kapsamda üretilen klasik ve lifli betonlarda su / imento oranı 0,45 olarak, lifli betonlarda kullanılacak olan 18 μ m çap ve 12 mm uzunluğa sahip polipropilen lif oranları ise %0,0 ve %0,5 olarak belirlenmiştir. Betonların darbe dayanım dirençlerini belirlemek için ağırlık düşürme tekniği kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre polipropilen lif katkısı, betonların ilk çatlak dayanımlarını %60 oranında artırırken nihai çatlak dayanımlarını ise %50 oranında artırmıştır.

Nataraja *et al.* (2005) tarafından yapılan çalışmada, normal betonlar için yapılmış olan yeniden oranlama metodu esas alınarak, elik lif katkılı betonlar için yeni bir metot geliştirip deneysel olarak ispatlamak hedeflenmiştir. Bu kapsamda 28 günlük dayanımları 30 MPa ve 50 MPa olan betonlar ele alınarak, bu betonların üzerinde basınç, ultrases ve darbe deneyleri yapılmıştır. Maksimum agrega tane çapı 12 mm olarak belirlenirken, su/imento oranları 0,30 ile 0,70 arasında değişken olarak belirlenmiştir. elik lif olarak, narinlik oranı 40 olan dalgalı lifler, %0,5, %1,0 ve %1,5 olarak kullanılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda, lif oranının artması ile birlikte işlenebilirlik azalırken, ses hızında artışlar görülmüştür. Ayrıca lif oranı ile doğru orantılı olarak betonların basınç, ilk çatlak ve nihai çatlak dayanımlarında artışlar meydana geldiği tespit edilmiştir. Darbe dayanımında en yüksek sonuçları ise %1,5 oranında elik lif katkılı betonlar vermiştir.

Ramakrishna and Sundararajan (2005) yaptıkları çalışmada, ürettikleri doğal lif katkılı betonların, 28 gün sonunda darbe yüklemeleri altında gösterdiği dirençlerini araştırmışlardır. Betona katılan doğal lifler; 20 mm uzunluğunda hindistan cevizi lifleri, 30 mm uzunluğunda hint keneviri lifleri ve 40 mm uzunluğunda ebe gmeci lifleri olarak seçilmiştir. Bu doğal lifler %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,5 oranlarında belirlenmiş olup, üretilen betonlarda su/imento oranı ise 0,47 olarak sabit tutulmuştur. Yapılan darbe deneyleri sonucunda, doğal lif katkılı betonların darbe dirençleri, normal betonların darbe dirençlerine göre 3 ila 18 kat daha fazla performans göstermiştir.

Fonteboa and Abella (2007) tarafından yapılan çalışmada, iri agrega yerine %50 oranında GKA kullanılarak üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiş ve normal betonlar ile kıyaslanmıştır. Betonların mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile çimento ağırlığının %8'i kadar silis dumanı ilave edilmiş ve su/bağlayıcı oranı 0,55 olarak sabit tutulmuştur. Ayrıca daha iyi işlenebilirlik sağlamak amacı ile %1,2 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre GKA kullanımı betonların işlenebilirliğini, taze beton birim ağırlığını ve sertleşmiş beton birim ağırlığını düşürmüştür. GKA'lı betonların su emme oranları ise normal betonlara oranla daha yüksek çıkmıştır. 7, 28 ve 115 gün sonunda yapılan basınç ve yarmada çekme deneyleri neticesinde, GKA kullanımının 7 günlük basınç dayanımlarını etkilemediği ancak 28 ve 115 günlük basınç dayanımlarını çok az miktarda olumsuz etkilediği tespit edilmiştir. Elde edilen diğer bir sonuç ise silis dumanı kullanımının hem normal betonların hem de GKA'lı betonların mekanik özelliklerini iyileştirmesidir.

Köken vd. (2008) tarafından yapılan çalışmada, beton basınç dayanımı 20 MPa olan atık betonlardan elde edilen geri kazanılmış agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir. Elde edilen bu agregalar farklı oranlarda kullanılarak üretilen betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları araştırılmıştır. Bu amaçla, ilk beton grubunda %100 GKA, ikinci beton grubunda iri agrega olarak GKA, ince agrega olarak doğal agrega, üçüncü beton grubunda ise %100 normal agrega kullanılmıştır. Bütün beton gruplarında sabit su/çimento oranı 0,56 olarak kullanılmıştır. GKA'lar üzerinde yapılan deneyler neticesinde, GKA yoğunluklarının doğal agregaya göre daha düşük olduğunu, aşınma kaybı ve su emme kapasitelerinin ise daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Ayrıca yapılan mekanik deneyler sonucunda, 7 ve 28 günlük basınç dayanımının, GKA içeriğinin artması ile birlikte azaldığı tespit edilmiştir. 28 günlük yarmada çekme dayanımlarının da benzer sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.

Mohammadi *et al.* (2008) yaptıkları araştırmada, lif katkılı betonların mekanik özellikleri ve darbe dayanımları üzerinde, farklı narinlik oranlarına sahip çelik liflerin etkisini ele almışlardır. Ürettikleri betonlarda çelik lif oranlarını hacimce %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak belirlemişlerdir. Her bir oran dahilinde iki farklı narinlik oranına sahip

çelik lif çeşidini ayrı ayrı ve karma olarak farklı miktarlarda kullanarak ürettikleri her betonun basınç dayanımlarını, eğilme dayanımlarını ve darbe dayanımlarını incelemişlerdir. (0,6x2,0x25 mm) ve (0,6x2,0x50 mm) boyutlarında ve sırasıyla 40 ve 80 narinlik oranlarına sahip iki farklı çelik lifi (%100-%0,00), (%65-%35), (%50-%50), (%35-%65) ve (%0,00-%100) oranlarında kullanmışlardır. Bu şekilde ürettikleri her betonda maksimum agrega tane çapını 12,5 mm olarak ve su/çimento oranını ise 0,35 olarak belirlemişlerdir. Kullanılan lif miktarının artışına bağlı olarak betonların mekanik özelliklerinde ve darbe dayanım dirençlerinde artışlar gözlemlenmiştir. 28 gün sonunda darbe yüklemeleri karşısında en iyi performansı, tek olarak 50 mm uzunluğunda ve 80 narinlik oranına sahip çelik lifin %2,0 oranında kullanıldığı betonlar göstermiş olup, bu değer normal betonlara göre %3000 oranında daha fazladır. Bununla birlikte betonların darbe dayanım dirençlerinde uzun lif kullanımının, kısa lif kullanımına göre daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Yazıcı ve Sezer (2008) tarafından yapılan çalışmada, agrega maksimum tane boyutunun çelik lif katkılı betonların darbe direnci üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Bu çalışma kapsamında kireç taşı kökenli kırma agregaların maksimum tane boyutları 10 mm, 15 mm, 20 mm ve 25 mm olarak belirlenip çelik lifli ve lifsiz betonlar üretilmiştir. Üretilen lifli ve lifsiz betonlarda su/çimento oranı 0,50 ve çimento dozajı ise 400 kg/m³ olarak sabit tutulup, lifli betonlarda çelik lif oranı hacimce %1,0 oranında kullanılmıştır. 28 gün sonunda yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, hacimce %1,0 oranında narinliği 65 olan çelik lif kullanımı betonların basınç dayanımını, yarmada çekme dayanımını ve darbe dayanımını olumlu etkilemiştir. Ayrıca sabit su/çimento oranına sahip betonlarda maksimum agrega tane çapı arttıkça betonların mekanik özellikleri ve darbe direncinde düşüşler gözlemlenmiştir. Bunun sebebi olarak agrega tane çapı arttıkça agrega özgül yüzeyi azalacağından iri agrega ile harç fazı arasında daha düşük aderans oluşmakta ve bundan dolayı betonların mekanik özelliklerinin ve darbe dayanımlarının azalacağı belirtilmiştir. Elde edilen verilere istinaden lif kullanımı ile iyi bir performans elde edilebilmesi için maksimum agrega tane çapının 20 mm'yi aşmaması gerektiği önerilmiştir.

Zeynal (2008) tarafından yapılan çalışmada su/çimento ve çelik lif kullanım oranlarının, üretilen lif katkılı betonların basınç dayanımları, yarmada çekme dayanımları, eğilme dayanımları ve darbe dayanımları üzerindeki etkileri araştırılmıştır. 0,40, 0,50, ve 0,60 su/çimento oranlarına sahip betonlara hacimce %0,3 oranında mikro çelik lif ve %0,4, %0,8 ve %1,2 oranlarında çelik lif katılarak, çelik lif ve mikro çelik liflerin ayrı ayrı ve birlikte kullanımının betonun mekanik özelliklerine ve darbe dayanım direncine olan etkileri incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda, sadece mikro çelik lif, sadece çelik lif ve karma lif katılarak üretilen betonlarda su/çimento oranı arttıkça betonların darbe direncinde ve mekanik özelliklerinde düşüşler gözlemlenirken, su / çimento oranı azalıkça betonların darbe direncinde ve mekanik özelliklerinde artışların olduğu tespit edilmiştir. Mikro çelik lifler betonların basınç dayanımında pek fazla etkili olmazken yarmada çekme, eğilme ve darbe dayanımlarında etkili olmuşlardır. Uzun liflerin ise kullanım oranları arttıkça betonların mekanik özelliklerinde ve darbe dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir. Ayrıca karma lifli betonlarda mikro çelik liflerin ilk çatlak oluşumuna kadar etkili oldukları, ilk çatlak oluşumundan sonra etkilerinin azaldığı ve uzun liflerin devreye girerek betonun tokluğunu olumlu yönde etkilediği tespit edilmiştir.

Nili and Afroughsabet (2010) yaptıkları çalışmada, silis dumanı ve polipropilen liflerin, farklı su/bağlayıcı oranlarına sahip betonların mekanik özellikleri ve darbe dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Maksimum agrega tane çapını 19 mm, su/bağlayıcı oranlarını 0,46 ve 0,36, 12 mm uzunluğundaki polipropilen lif miktarlarını %0,0, %0,2, %0,3 ve %0,5, silis dumanını ise çimentonun ağırlıkça %8'i olarak belirlemişlerdir. 7, 28 ve 91 günlerin sonunda yapılan deneyler sonucunda, lifli betonlara silis dumanı katkısının basınç dayanımlarını, yarmada çekme dayanımlarını, eğilme dayanımlarını ve darbe dayanımlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Polipropilen lif oranı artışı ile doğru orantılı olarak betonların mekanik özelliklerinin ve darbe dayanım dirençlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte %0,5 oranında polipropilen lif ve silis dumanı katkılı betonlar yarmada çekme dayanımları, eğilme dayanımları ve darbe dayanımları dikkate alındığında en iyi performansı göstermişlerdir. Ayrıca silis dumanı ve

polipropilen lif kullanımının betonların enerji yutma kapasitelerini artırdığını tespit etmişlerdir.

Nili and Afroughsabet (2010) yaptıkları çalışmalarında, silis dumanı ve çelik liflerin, farklı su/bağlayıcı oranlarına sahip betonların mekanik özellikleri ve darbe dayanımları üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Maksimum agrega tane çapını 19 mm, su/bağlayıcı oranlarını 0,46 ve 0,36 olarak, 60 mm uzunluğunda ve 80 narinlik oranına sahip çengelli çelik lif miktarlarını %0,0, %0,5, %1,0, silis dumanını ise çimentonun ağırlıkça %8'i olarak belirlemişlerdir. 7, 28 ve 91 günlerin sonunda yapılan deneyler sonucunda, lifli betonlara silis dumanı katkısının basınç dayanımlarını, yarmada çekme dayanımlarını eğilme dayanımlarını ve darbe dayanımlarını artırdığını tespit etmişlerdir. Çelik lif oranı artışı ile doğru orantılı olarak betonların mekanik özelliklerinin ve darbe dayanım dirençlerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Bununla birlikte %1,0 oranında çelik lif ve silis dumanı katkılı betonlar yarmada çekme dayanımları, eğilme dayanımları ve darbe dayanımları dikkate alındığında en iyi performansı göstermişlerdir. Ayrıca silis dumanı ve çelik lif kullanımının betonların enerji yutma kapasitelerini artırdığını tespit etmişlerdir.

Erdal (2011) tarafından yapılan çalışmada, üretilen betonların mekanik özelliklerine GKA kullanımının etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda maksimum agrega tane çapı 31,5 mm ve sabit su/bağlayıcı oranı 0,50 olarak belirlenmiştir. İri agrega yerine kullanılan GKA oranları %50 ve %100'dür. GKA'lı betonlarda agrega çimento arayüzünü iyileştirmek amacı ile çimento ağırlığınca %15 ve %30 oranlarında öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu ve işlenebilirliği arttırmak için ise %1 oranında süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Ayrıca mekanik dayanımlara olan etkisini incelemek için üretilen betonlara %0,1 oranında polipropilen lif ilave edilmiştir. 7 ve 28 gün sonunda beton grupları üzerinde basınç, yarmada çekme ve pull-out testleri uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar neticesinde GKA kullanım oranı arttıkça betonların basınç ve yarmada çekme dayanımları azalırken, beton donatı aderansı ise artmıştır. Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu kullanımı, betonların mekanik özelliklerini ve beton donatı

aderansını olumsuz etkilerken, polipropilen lif kullanımı ise kayda değer bir değişim sağlamamıştır.

Xu *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada, normal beton, hafif beton ve polivinil alkol lif katkılı betonlar üreterek bu betonların eğilme ve darbe dayanımlarını incelemiştir. Su/çimento oranını 0,40 olarak sabit tutmuşlardır ve 8 mm uzunluğa sahip polivinil alkol lifleri %0, %0,3, %0,6 ve %0,9 oranlarında kullanmışlardır. Yapılan deneyler sonucunda, polivinil alkol lif katkılı betonların, eğilme ve darbe yüklemeleri karşısında göstermiş olduğu direncin normal ve hafif betonlara göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca lif miktarının artışına bağlı olarak eğilme ve darbe dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir. En yüksek darbe dayanım direncini, %0,9 oranında polivinil lif katkılı betonlar göstermiş olup, bu değer normal betonlara göre %53 oranında daha fazladır.

Rao *et al.* (2011) yaptıkları çalışmada, su/çimento oranını 0,43 ve maksimum agrega tane çapını ise 20 mm olarak belirlemiştir. İri agrega yerine farklı oranlarda geri kazanılmış agrega kullanarak ürettikleri betonların basınç dayanımlarını, yarmada çekme dayanımlarını, elastisite modülünü ve darbe dayanımlarını araştırmışlardır. Kullanılan geri kazanılmış agrega oranları, %0, %25, %50 ve %100 olarak belirlenmiştir. Bu betonların basınç deneyi 7, 28, 56 ve 90 günlük numuneler üzerinde yapılırken, diğer deneyler 28 gün sonunda yapılmıştır. Yapılan deney sonuçlarına bakıldığında, iri agrega yerine kullanılan geri kazanılmış agrega oranı, %25'i aştığında betonların tüm mekanik özellikleri ve darbe dayanımlarında düşüşler meydana gelmiştir. %25 geri kazanılmış agregalı beton ile normal beton arasında ise %5 kadar farklılık olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca betonların basınç dayanımları göz önüne alındığında 28 günden sonra, 90 güne kadar dikkate değer bir artış olmadığı gözlemlenmiştir.

Erdem *et al.* (2011) tarafından yapılan çalışmada normal agregalı betonlar ile atıkların yakılması sonucu elde edilen agregalar ile üretilen betonların eğilme ve darbe dayanımları araştırılmıştır. Ayrıca üretilen bu betonlara ayrı ayrı olarak sentetik makro

lif ve çelik lif katılarak eğilme ve darbe yükleri karşısındaki davranışları incelenmiştir. Maksimum agrega tane çapı 14 mm olan ve su/çimento oranı 0,60 olarak belirlenen betonlara %1,0 oranlarında, 30 mm uzunluğunda çengelli çelik lif ve 48 mm uzunluğunda sentetik makro lif katılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, geri kazanılmış agrega ile üretilen katkılı ve katkısız betonların, normal agrega kullanılarak üretilen betonlara göre eğilme ve darbe dayanımlarının daha zayıf olduğu tespit edilmiştir. Buna ek olarak, çelik lif kullanımı, hem normal agregalı betonlarda hem de geri kazanılmış agregalı betonlarda, sentetik makro life göre daha etkili performans göstermiştir.

Caf (2012) yaptığı çalışmada çimento dozajını 350 kg/m^3 ve su/çimento oranını 0,46 olarak sabit tutup ürettiği farklı lif oranlarına sahip polipropilen ve çelik lif katkılı betonların basınç dayanımlarını, eğilme dayanımlarını ve darbe dayanımlarını gözlemleyerek normal betonların dayanımları ile karşılaştırmıştır. Polipropilen lif oranlarını 300 g/m^3 , 600 g/m^3 , 900 g/m^3 ve 1200 g/m^3 , çelik lif oranlarını ise hacimce %0,5, %1,0, %1,5 ve %2,0 olarak belirlemiştir. Yaptığı çalışmalar sonucunda, polipropilen lif kullanımının basınç ve eğilme dayanımlarını çok fazla etkilemediği, darbe dayanımını ise 900 g/m^3 'e kadar olumlu etkilediği, bu miktarı aştığında ise darbe dayanımında düşüşler olduğunu gözlemlemiştir. Bu düşüslere lif miktarının artması ile birlikte meydana gelen çatlak oluşumunun sebebiyet verdiğini tespit etmiştir. Bununla birlikte, kullanılan çelik lif miktarının artması ile betonların basınç, eğilme ve darbe dayanımları artmıştır. %1,0 oranında lif kullanımı basınç dayanımı üzerinde en olumlu sonucu verirken, %2,0 oranında çelik lif kullanımı ise eğilme ve darbe dayanımları üzerinde en olumlu sonuçları vermiştir.

Yazıcı vd (2012) çalışmalarında darbe yüklemelerine maruz kalmış çelik lif katkılı betonların darbe dayanımlarını ve mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Bu kapsamda ürettikleri betonlarda farklı narinlik oranlarına sahip çelik lifleri farklı miktarlarda kullanmışlardır. Hacimce %0,5, %1,0 ve %1,5 oranlarında kullandıkları 30 mm, 60 mm uzunluklardaki çelik liflerin narinlik oranları sırasıyla 45, 65 ve 80'dir. Ayrıca ürettikleri betonlarda maksimum agrega tane çapını 15 mm olarak ve su/çimento oranını ise 0,36 olarak belirlemişlerdir. 28 günlük numuneler üzerinde yaptıkları deneyler

neticesinde, basınç ve darbe dayanımları göz önüne alındığında narinlik oranı 65 olan lif tipi en iyi sonucu verirken, yarmada çekme dayanımında ise 80 narinlik oranına sahip lif tipi en iyi performansı göstermiştir. Darbe dayanımında her üç narinlik oranına sahip çelik lifler dikkate alındığında hacimce %1,5 oranında çelik lif katkılı betonlar en yüksek sonuçları vermiştir.

Nia *et al.* (2012) tarafından yapılan çalışmada, klasik beton ve lifli betonların mekanik özellikleri ve darbe dayanım dirençleri hem deneysel olarak hem de nümerik olarak araştırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda üretilen tüm betonlarda su/çimento oranları 0,46 ve 0,36 olarak, maksimum agrega tane çapı ise 19 mm olarak belirlenmiştir. Üretilen lifli betonlarda 12 mm uzunluğunda polipropilen lifler hacimce %0,0, %0,2, %0,3 ve %0,5 oranlarında, 60 mm uzunluğunda ve 80 narinlik oranına sahip çengelli çelik lifler ise hacimce %0,0, %0,5 ve %1,0 oranlarında kullanılmıştır. 7, 28 ve 91 günler sonunda yapılan deneyler doğrultusunda elde edilen sonuçlara göre klasik betona lif katılmasıyla betonların basınç dayanımlarında, yarmada çekme dayanımlarında ve darbe dayanımlarında artışlar meydana gelmiştir. Bununla birlikte çelik lifler, polipropilen liflere kıyasla darbe dayanım performansında daha etkili olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca elde edilen deneysel sonuçlar ile nümerik model sonuçları paralellik göstermiştir. Bu paralellik doğrultusunda, kullanılmış olan nümerik metot ile deneysel sonuçların kabul edilebilecek doğrulukta kestirilebileceği ve kullanılabileceği savunulmuştur.

Panda and Bal (2013) tarafından yapılan çalışmada, geleneksel beton ile kendiliğinden yerleşen betonların mekanik özellikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca kendiliğinde yerleşen betonların işlenebilirliğine ve mekanik özelliklerine GKA kullanımının etkisi incelenmiştir. Bu amaçla su/çimento oranı 0,47 olarak sabit tutulmuş olup, iri agrega yerine %10, %20, %30 ve %40 oranlarında GKA kullanılmıştır. 7, 28 ve 90 gün sonunda yapılan deneyler doğrultusunda, kendiliğinden yerleşen betonların basınç, yarmada çekme ve eğilme dayanımları normal betonlara göre daha düşük çıkmıştır. GKA kullanımı ise işlenebilirliği ve mekanik dayanımları olumsuz etkilemiştir. GKA oranının artışı ile birlikte kendiliğinden yerleşen betonların basınç, yarmada çekme ve

eğilme dayanımlarında azalmalar olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca %30 GKA oranının optimum değer olarak kabul edilebileceği savunulmuştur.

Soe *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada, iki farklı lif çeşidi farklı oranlarda kullanılarak üretilen betonların darbe dayanımları hem birbirleri ile hem de normal betonlar ile karşılaştırılmıştır. Bu kapsamda üretilen betonlarda su / çimento oranı 0,56 olarak belirlenmiştir. Lif olarak 8 mm uzunluğunda polivinil alkol lifler ile 12 mm uzunluğunda ve 80 narinlik oranına sahip çelik lifler tercih edilmiştir. Hibrit lif katkı betonlar iki farklı oranlar kullanılarak üretilmişlerdir. İlk olarak %1,50 çelik lif ile %0,50 polivinil alkol lif kullanılmış, diğerinde ise %1,75 çelik lif ve %0,58 polivinil alkol lif kullanılmıştır. 28 günlük numuneler üzerinde yapılan darbe deneyleri sonucunda, %1,75 çelik lif ve %0,58 polivinil alkol lif katkı betonların darbe dirençleri, diğer hibrit lif katkı betonlara ve normal betonlara göre daha yüksek performans göstermiştir.

Mefteh *et al.* (2013) tarafından yapılan çalışmada, ilk olarak GKA'ların yoğunluk, aşınma kaybı ve su emme kapasiteleri gibi fiziksel özellikleri tespit edilmiştir. Daha sonra GKA'lı taze betonların çökme değerleri belirlenmiştir. Ayrıca GKA'nın, sertleşmiş betonların basınç ve yarmada çekme dayanımlarına olan etkileri incelenmiştir. Bu kapsamda iri agrega yerine %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında GKA kullanılmış olup, su/çimento oranı 0,54 olarak sabit tutulmuştur. Maksimum agrega tane çapı ise 20 mm'dir. Elde edilen sonuçlara göre, GKA'ların yoğunlukları normal agregalara oranla daha düşük, aşınma kaybı ve su emme kapasiteleri ise normal agregalara göre oldukça yüksek çıkmıştır. GKA oranı artışı ile birlikte işlenebilirliğin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca 28 gün sonunda yapılan basınç ve eğilme deneyleri neticesinde, GKA kullanımının betonların mekanik özelliklerini düşürdüğü gözlemlenmiş olup, %20 ile %40 arasında GKA'nın kullanılabilceği belirtilmiştir.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Doğal agrega

Bu çalışmada, kalker esaslı doğal iri agrega ve dere kumundan ince agrega temin edilmiştir. Temin edilen bu malzeme yaklaşık olarak 1,0 m³ olup, agrega özellikleri belirlenmiştir.

3.1.2. Geri kazanılmış agrega (GKA)

Normal agregaların dışında, bu çalışmada kullanılan diğer agrega çeşidi, inşaat moloz atıklarından elde edilen GKA'lar ise İSTAÇ (İstanbul Büyükşehir Belediyesi Çevre Koruma ve Atık Maddeleri Değerlendirme A.Ş.) geri kazanım tesisinden temin edilmiş olup özellikleri belirlenmiştir.

3.1.3. Karışım suyu

Çalışmada karışım suyu olarak asit reaksiyonu göstermeyen, organik madde ve kimyasal atıkları içermeyen ve içilebilir niteliğe sahip olan Atatürk Üniversitesi içme suyu şebekesinden kullanılmıştır.

3.1.4. Çimento

Bu çalışmada kullanılmış olan CEM I 42.5 R çimentosu, Aşkale Çimento Fabrikası'nda üretilmiş olup, TS EN 197-1 (Anonim 2012) standardına uygundur. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.1'de ve çimentonun kimyasal analizi ise Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Çimentonun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	
İncelik 45µm Elek Üstü (%)	8,98
Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,14
Özgül Yüzey (cm ² /g)	3807
Priz Başı (Saat - Dakika)	2 sa - 21 dk
Priz Sonu (Saat - Dakika)	2 sa - 55 dk
Hacim Genleşmesi (mm)	1
Basınç Dayanımı (28 Günlük)	57,2
Su İhtiyacı (%)	28,6

Çizelge 3.2. Çimentonun kimyasal analizi

Çimentonun Kimyasal Analizi (%-Ağırlıkça)	
SiO ₂	18,73
Al ₂ O ₃	4,56
Fe ₂ O ₃	3,07
CaO	63,91
MgO	2,08
SO ₃	2,90
Kızdırma Kaybı	3,36
K ₂ O	0,62
Na ₂ O	0,29
Na ₂ O; Na ₂ O + 0,658 x K ₂ O	0,70
Cl	0,02
Ölçülemeyen	0,46
Toplam	100
CaO (Serbest Kireç)	0,56
Çözünmeyen Kalıntı	0,85

3.1.5. Silis dumanı

Bu araştırmada, imento ağırlıkça %5,0 oranında imento yerine kullanılacak olan silis dumanı, Antalya ETİ Elektrometalurji A.Ő. İŐletmesi'nden alınmıştır. Kullanılan silis dumanının kimyasal özellikleri izelge 3.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.3. Silis dumanının kimyasal zellikleri

Kimyasal Analiz Sonuçları (%-Ağırlıkça)	
Cr ₂ O ₃	0,37
SiO ₂	91,92
Fe ₂ O ₃	0,20
Al ₂ O ₃	0,42
CaO	2,06
MgO	3,69
C	0,21
S	0,07
Ateş Kaybı	-

3.1.6. Süper akışkanlaştırıcı (SA)

Bu alıŐmada, SA olarak BASF firmasının üretmiş olduğu GLENİUM C 303 malzemesi kullanılmıştır. Karışıma imento ağırlığının %2,0'si oranında katılan bu malzemeye ait teknik özellikler izelge 3.4'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.4. SA'nın teknik zellikleri

Malzemenin Yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Renk	Açık YeŐil
Yoğunluk	1,023 - 1,063 kg/lt
Klor İçeriği (%)	< 0,1
Alkali İçeriği (%)	< 3

3.1.7. Polipropilen lif

Bu çalışmada kullanılan ve Şekil 3.1'de gösterilmekte olan 9 mm uzunluğa sahip polipropilen lifler DRACO firmasından temin edilmiş olup, teknik özellikleri Çizelge 3.5'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Polipropilen lif

Çizelge 3.5. Polipropilen liflerin teknik özellikleri

Özgül Ağırlık	0,90 gr / cm ³
Çekme Dayanımı	600 - 750 N / mm ²
Elastisite	3,8 kN / mm ²
Esneklik	% 10 - 14
Erime Noktası	180°C - 230°C
Alkali Dayanımı	% 100
Klor Dayanımı	% 100
Su Tutma	% 0,01
Renk	Gri

3.1.8. Çelik lif

Bu çalışmada, BEKAERT firmasından temin edilen 3D 65/35 BG tipinde, Şekil 3.2’de gösterilmekte olan iki ucu kancalı çelik lifler kullanılmıştır. Kullanılan çelik lifler ile ilgili teknik özellikler Çizelge 3.6’da gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Çelik lif

Çizelge 3.6. Çelik liflerin teknik özellikleri

Özgül Ağırlık	7,80 gr / cm ³
Çekme Dayanımı	1338 - 1352 N / mm ²
Young Modülü	210 kN / mm ²
Uzunluk	35 mm
Çap	0,55 mm
Narinlik Oranı	65

3.2. Yöntem

Bu bölümde agrega deneyleri, taze beton deneyleri ve sertleşmiş beton deneylerinin yapılış yöntemleri açıklanacaktır.

3.2.1. Normal agrega deneyleri

Deneylerde kullanılan agregalardan deney numunesi hazırlanması kapsamında, öncelikle bütünüün özelliğini temsil edecek şekilde örnekler alınarak iyice karıştırıldıktan sonra bu malzeme, TS 706 EN 12620+A1 (Anonim 2009)'de belirtilen ve Şekil 3.3'de gösterilen, çeyrekleme yöntemi uygulanarak istenilen miktara indirgenmiştir.



Şekil 3.3. Çeyrekleme metodu ile numune alınması

Elek analizi deneyinde Şekil 3.4'de gösterilen, TS ISO 3310-1 (Anonim 2009)'e uygun 0,25 mm, 0,50 mm, 1,00 mm, 2,00 mm, 4,00 mm, 8 mm ve 16 mm göz açıklığı olan kare delikli elekler kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Elekler ve elek analizi deney aleti

En az boşluklu karışımı elde etmek amacı ile agregaların TS EN 933–1 (Anonim 2012)'de tarif edildiği şekilde elek analizi yapılmış ve granülometri eğrisi belirlenmiştir. Agregalara ait elek analizi deney sonuçları ve granülometri eğrisi Araştırma Bulguları bölümünde verilmiştir. İri ve ince agregaların tane yoğunlukları ile su emme değerleri TS EN 1097–6 (Anonim 2013)'da ve yüzey nemi değerleri ise TS 3523 (Anonim 1980)'de tarif edildiği şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda her bir agrega grubunun M_0 , M_1 , M_2 , M_3 ve M_4 kütleleri belirlenmiş olup hesaplamalar bu değerler doğrultusunda yapılmıştır. Elde edilen değerler Araştırma Bulguları kısmında verilmiştir. Yukarıda bahsi geçen değerler aşağıdaki formüller kullanılarak hesaplanmaktadır:

$$\text{Görünür Özgül Ağırlık : } \rho_a = \rho_w \frac{M_4}{M_4 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Kuru Özgül Ağırlık : } \rho_{rd} = \rho_w \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık : } \rho_{ssd} = \rho_w \frac{M_1}{M_1 - (M_2 - M_3)}$$

$$\text{Su Emme Oranı : } WA_{24} = \frac{100 \times (M_1 - M_4)}{M_4}$$

$$\text{Yüzey Nemi Oranı : } N (\%) = \frac{100 \times (M_0 - M_1)}{M_1}$$

M_0 : Agreganın ilk andaki kütlesi,

M_1 : Doygun ve havada yüzeyi kurutulmuş agreganın kütlesi,

M_2 : Doygun agregayı ihtiva eden kabın sudaki görünür kütlesi,

M_3 : Boş kabın sudaki görünür kütlesi,

M_4 : Etüvde kurutulmuş agreganın kütlesi.

3.2.2. Geri kazanılmış agrega (GKA) deneyleri

Bölüm 3.2.1’de normal agregalar için kullanılan deney yöntemleri aynı şekilde GKA’lar için de uygulanmış olup sonuçları Araştırma Bulguları kısmında verilmiştir.

3.2.3. Numune üretimi ve kodlaması

Beton üretiminde kullanılacak olan malzemelerin çeşidine ve kullanım oranlarına göre numune grupları belirlenmiştir. Aşağıda deneysel çalışmalarda kullanılan parametrelerden ve seçilme nedenlerinden bahsedilmiştir.

- Geri kazanılmış agrega kullanımı oranları; %0, %30 ve %50

%0 (Kontrol grubu; GKA’nın kullanılmadığı grup),

%30 (Literatürden hareketle basınç, eğilme ve darbe dayanımları için optimum iri agrega yerine kullanılan GKA oranı),

%50 (Lif kullanımıyla literatürde verilen optimum GKA oranını (%30) arttırabilmek amacı ile seçilmiştir).

- Polipropilen lif kullanımı; %0,1

%0,1 (Literatürden hareketle betonlarda oluşabilecek mikro çatlakları önlemek ve betonların mekanik dayanımlarına katkıda bulunmak amacı ile seçilmiştir).

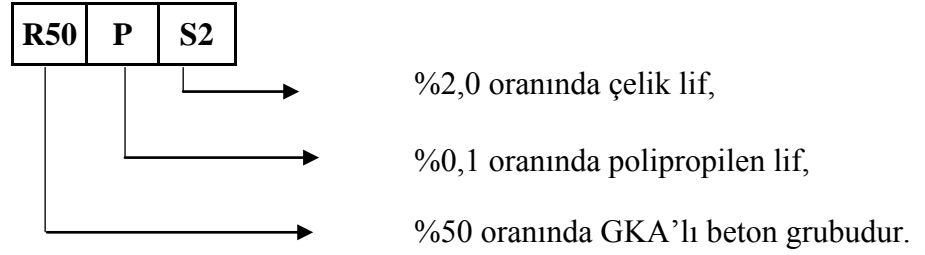
- Çelik lif kullanımı; %1,0 ve %2,0

%1,0 (Önceki çalışmalardan hareketle betonların basınç dayanımını arttıran hacimce çelik lif oranı),

%2,0 (Eğilme ve darbe dayanımları dikkate alınarak incelenen literatür kapsamında hacimce çelik lif oranı seçilmiştir).

- Ayrıca literatürden hareketle belirlenen çelik lif ve polipropilen lif optimum oranları karma olarak da kullanılmıştır.

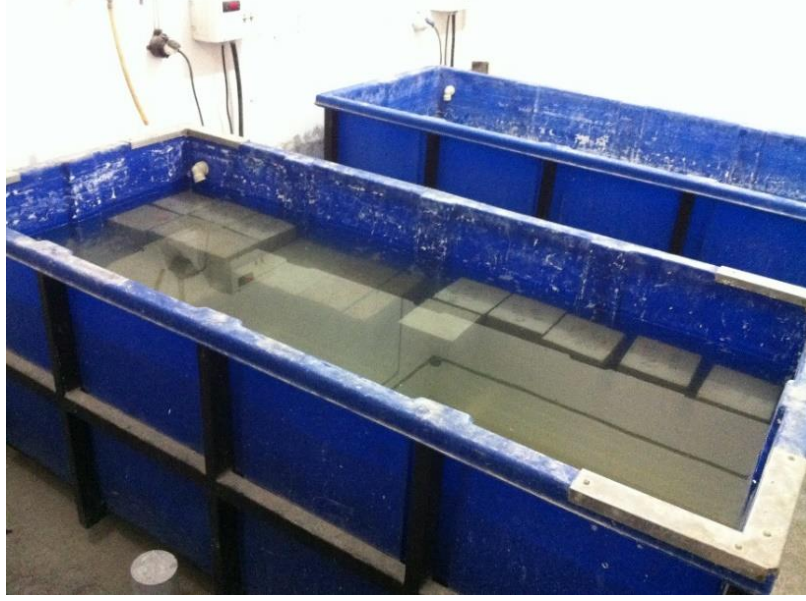
Yukarıda bahsedilen tüm parametreler dikkate alınarak üretilen 18 farklı beton grubu hem deneysel çalışma sırasında hem de elde edilen sonuçları açıklama ve yorumlama sırasında daha kolay ve anlaşılır olması için farklı kodlamalar kullanılmıştır. Normal agregalı beton grubu için (N), GKA için (R), polipropilen lif için (P), %1,0 çelik lif için (S1) ve %2,0 çelik lif için (S2) kodlamaları kullanılmıştır. Örnek olarak R50PS2 açılımı Şekil 3.5’de gösterilmektedir.



Şekil 3.5. R50PS2 açılımı

3.2.4. Numunelerin kuru

Üretilen bütün numuneler, üretimden itibaren 24 saat sonra kalıplardan çıkartılmış ve deneylerin yapılacağı 7. ve 28. güne kadar Şekil 3.6’de gösterilen, $23\pm^{\circ}\text{C}$ sıcaklığa sahip kirece doymun su kuru havuzunda kuru edilmiştir.



Şekil 3.6. Su k r  havuzu

3.2.5. Beton karışım hesapları

Bu çalışmada, üretilen betonlarda farklı oranlarda geri kazanılmış agregata, polipropilen lif ve elik lif kullanılmıştır. Üretilen her beton grubuna, mekanik dayanımları arttırmak amacı ile %5 oranında silis dumanı ilave edilmiştir. Çimento dozajı literatürde normal dayanımlı betonlarda çoğunlukla kullanılan 350 kg/m^3 olarak belirlenmiş olup, su/bağlayıcı oranı 0,50 olarak sabit tutulmuştur. Tüm bu parametreler dikkate alınarak üretilen 18 farklı beton grubuna ait beton karışım miktarları izelge 3.7'de gösterilmektedir.

3.2.6. Taze beton deneyleri

GKA'ların ve liflerin, betonların çökme ve birim ağrılıklarına olan etkilerini gözlemlemek amacı ile üretilen betonlarda taze haldeyken çökme ve birim ağrılık deneyleri uygulanmıştır.

3.2.6.a. Çökme (slump) deneyi

Beton karma işleminde sonra taze beton üzerinde çökme deneyleri TS EN 12350-2 (Anonim 2010)'de tarif edilen ve Şekil 3.7'de gösterilen çökme hunisi metodu ile yapılmıştır. Bu metoda uygun olarak çökme hunisinin içerisi ıslak bir bez yardımıyla silinmiş, düz su emmeyen bir yüzey üzerine yerleştirilmiştir. Beton ökme hunisine üç tabaka halinde yerleştirilmiştir. Her tabaka yerleştirildikten sonra şişleme çubuğu yardımıyla şişlenmiştir ve huninin üst yüzeyi temizlenmiştir. Daha sonra huni yavaşça düşey doğrultuda yukarı doğru çekilerek alınmış ve yanına ters çevrilerek konulmuştur. Huninin üst yüzeyi ile betonun üst yüzeyi arasındaki mesafe okunarak betonun çökme değeri belirlenmiştir. Her grup için belirlenen çökme değerleri Araştırma Bulguları kısmında gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. 1000 dm³ için beton karışım oranları

MALZEME	N	NP	NS1	NS2	NPS1	NPS2	R30	R30P	R30S1	R30S2	R30PS1	R30PS2	R50	R50P	R50S1	R50S2	R50PS1	R50PS2
Çimento (kg)	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5	332,5
Silis Dumanı (kg)	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5	17,5
Su (kg)	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175	175
Süper Akışkanlaştırıcı (kg)	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5
8-16 mm Doğal Agregası (kg)	686,6	686,6	686,6	686,6	686,6	686,6	480,7	480,7	480,7	480,7	480,7	480,7	343,3	343,3	343,3	343,3	343,3	343,3
4-8 Doğal Agregası (kg)	283,1	283,1	283,1	283,1	283,1	283,1	198,2	198,2	198,2	198,2	198,2	198,2	141,6	141,6	141,6	141,6	141,6	141,6
8-16 mm GKA (kg)	-	-	-	-	-	-	174,8	174,8	174,8	174,8	174,8	174,8	291,3	291,3	291,3	291,3	291,3	291,3
4-8 mm GKA (kg)	-	-	-	-	-	-	70,9	70,9	70,9	70,9	70,9	70,9	118,2	118,2	118,2	118,2	118,2	118,2
2-4 mm Kum (kg)	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3	244,3
0-2 mm Kum (kg)	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2	531,2
Polipropilen Lif (kg)	-	0,9	-	-	0,9	0,9	-	0,9	-	-	0,9	0,9	-	0,9	-	-	0,9	0,9
Çelik Lif (kg)	-	-	78	156	78	156	-	-	78	156	78	156	-	-	78	156	78	156



Şekil 3.7. Çökme hunisi ve deneyi

3.2.6.b. Birim ağırlık deneyi

TS EN 12350-6 (Anonim 2010)'da tarif edilen taze beton birim ağırlığı hesaplanırken Şekil 3.8'de gösterilen ve hacmi belirli olan bir kap içerisine beton konularak iyice sıkıştırılmış ve tartılmıştır. Kabın darası bu ağırlıktan düşülerek betonun ağırlığı belirlenmiştir. Belirlenen ağırlık kabın hacmine bölünerek birim ağırlık değeri hesaplanmıştır. Her grup için hesaplanan birim ağırlık değerleri Araştırma Bulguları kısmında gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Birim ağırlık deney aleti

3.2.7. Sertleşmiş beton deneyleri

Geri kazanılmış agregaların ve lif kullanımının basınç, eğilme ve darbe dayanımlarına olan etkilerini incelemek amacı ile üretilen ve deneyin yapılacağı güne kadar kür edilen betonlar üzerinde basınç, eğilme ve darbe deneyleri uygulanmıştır.

3.2.7.a. Basınç dayanımı tayini

Basınç deneyleri, 150x150x150 mm'lik küp numuneler üzerinde, 7. ve 28. günlerde yapılmıştır. Yapılan bütün basınç deneyleri, sabit yükleme hızı altında gerçekleştirilmiştir. TS EN 12390-3/AC (Anonim 2012)'ye göre 0,2 MPa/s ile 1,0 MPa/s arasında olması gereken yükleme hızı bu çalışmada 0,4 MPa/s olarak sabit tutulmuştur. Basınç dayanımı deneyinde, Şekil 3.9'de gösterilen 300 ton kapasiteye sahip ELE marka AUTOTEST 3000 hidrolik pres kullanılmış olup, elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları kısmında verilmiştir.



Şekil 3.9. Basınç deneyi aleti

3.2.7.b. Eğilme dayanımı tayini

Eğilme deneyleri, 70x70x280 mm'lik kiriş numuneler üzerinde 28. günde yapılmıştır. Yapılan eğilme deneylerinde, lifli ve lifsiz betonlar sırasıyla TS 10515 (Anonim 1992) ve TS EN 12390-5 (Anonim 2010)'e göre açıklığın orta noktasından 10 kgf/cm².dak hızla yüklenmiştir. Betonların eğilme dayanımlarının belirlenmesinde Şekil 3.10'de verilmiş olan ELE markasına ait düzenek kullanılmış olup, aşağıda verilen eşitlik yardımıyla hesaplanan sonuçlar Araştırma Bulguları Bölümü'nde gösterilmektedir.

$$F = \frac{3PL}{2bd^2}$$

F: Eğilme Dayanımı, MPa,

P: Yük, N,

L: Mesnetler Arası Açıklık, mm,

b ve d: Numunenin Enkesit Uzunlukları, mm.



Şekil 3.10. Eğilme deneyi aleti

3.2.7.c. Darbe dayanımı tayini

Darbe deneyleri 150x300 mm'lik silindir numuneler üzerinde 28. günde yapılmıştır. ACI 544 standartlarına uygun üretilen 150x300 mm'lik silindir numuneler kesilerek 150x64 mm'lik disk numuneler haline getirilmiştir. Üretilen bu betonların darbe dayanım dirençlerini hesaplayabilmek için yine ACI 544 (Anonymous 1999) standartlarında tarif edilen ve Şekil 3.11'de verilen ağırlık düşürme test cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz, 64 mm çapında çelik bilyenin, 64x150 mm boyutlarındaki disk numunenin üzerine, 4,45 kg ağırlığındaki yükün, 457 mm yükseklikten çelik bilye üzerine düşürülerek çalışmaktadır. Yapılan deneyler doğrultusunda, aşağıda verilen bağıntılar yardımıyla hesaplanarak elde edilen sonuçlar Araştırma Bulguları Bölümü'nde gösterilmektedir.



Şekil 3.11. Darbe deney aleti

$$H = \frac{gt^2}{2} \quad V = gt \quad m = \frac{W}{g}$$

$$U = \frac{m V^2}{2} \quad \text{Darbe Dayanımı} = n \times U$$

U = Bir vuruşta meydana gelen enerji, kNmm

W = Darbe deneyinde kullanılan tokmak ağırlığı, kg,

m = Darbe deneyinde kullanılan tokmak kütlesi, N,

H = Darbe deneyinde tokmađın dűřme yüksekliđi, mm,

t = Darbe deneyinde kullanılan tokmađın dűřme süresi, sn,

g = Yerçekimi ivmesi, mm/sn²,

V = Darbe deneyinde kullanılan tokmağın vuruş anındaki hızı, mm/sn,

n = Vuruş sayısı, ad.

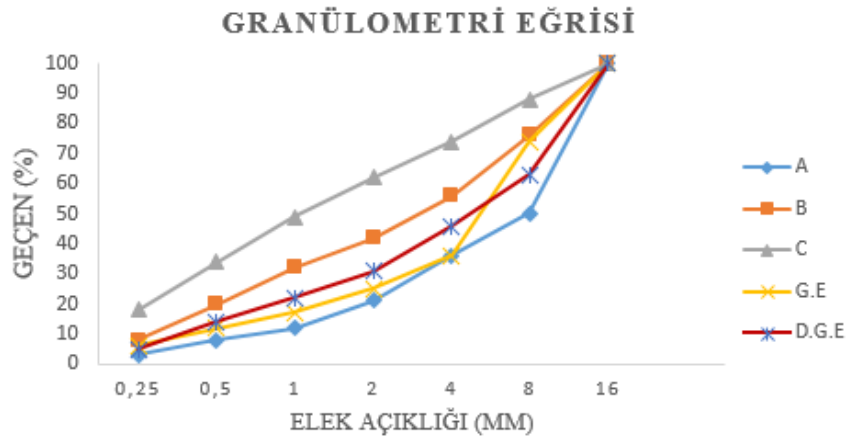
4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Agrega Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirmesi

Yapılan elek analizi deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar Çizelge 4.1’de, düzenlenmiş granülometri eğrisi ise Şekil 4.1’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Elek analizi

ELEK ÇAPI (MM)	A16 EĞRİSİ (%)	DOĞAL EĞRİ (%)	DÜZENLENMİŞ EĞRİ (%)	B16 EĞRİSİ (%)	C16 EĞRİSİ (%)
0,25	3	6	5,5	8	18
0,50	8	12	14	20	34
1,00	12	17	22	32	49
2,00	21	25	31,5	42	62
4,00	36	36	46	56	74
8,00	50	74	63	76	88
16,00	100	100	100	100	100



Şekil 4.1. Granülometri eğrisi

Bu çalışmada kullanılan ve maksimum tane çapı 16 mm olan doğal agregaların elek analizi deneyi yapılarak, granülometri eğrisi belirlenmiştir. Ancak bulunan değerlerin standart değerleri aşmaması için deneysel çalışma boyunca tek tip granülometri eğrisi kullanılmıştır. Bundan dolayı agregalar karışıma, doğal halleri ile değil, belli oranlarda tane sınıflarına ayrılmış olarak katılmışlardır. Çalışmada iri agrega %54 ve ince agrega ise %46 oranlarında alınarak karışımın granülometri eğrisinin maksimum agrega tane çapı 16 mm için verilen standart eğrilerde Çizelge 4.1. ve Şekil 4.1’de gösterildiği gibi uygun bölgeye düşmesi sağlanmıştır. Çalışmada kullanılan doğal iri agrega (NA), doğal ince agrega (NK) ve GKA üzerinde yapılan özgül ağırlık, su emme oranı ve yüzey nemi deney sonuçları Çizelge 4.2’de gösterilmektedir.

Çizelge 4.2. Özgül ağırlık, su emme oranı ve yüzey nemi deney sonuçları

Malzeme		Kuru Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Doygun Kuru Yüzey Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Görünen Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Su Emme (%)	Yüzey Nemi Oranı (%)
İri agrega	8-16 NA	2,59	2,64	2,67	1,95	-0.45
	4-8 NA	2,50	2,54	2,63	1,51	-0.25
İri agrega	8-16 GKA	2,10	2,24	2,39	6,64	-5.47
	4-8 GKA	1,96	2,12	2,29	8,19	-4.21
İnce agrega	2-4 NK	2,39	2,45	2,51	2,39	-0.30
	0-2 NK	2,40	2,45	2,51	2,09	-0.20

Çizelge 4.2’de verilen değerler incelendiğinde, GKA yoğunluklarının NA’ya göre yaklaşık %16 oranında daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bu durum GKA’ların sahip olduğu yüksek porozitedendir (Topçu and Şengel 2003; Etxeberria *et al.* 2007; Wagih *et al.* 2012; Matias *et al.* 2013). Ayrıca Çizelge 4.2’de gösterilmekte olan su emme oranları ve yüzey nemi değerleri dikkate alındığında ise GKA su emme oranlarının ve yüzey neminin NA’ya göre çok daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Bu durum GKA

üzerine yapışmış halde bulunan çimento hamurunun porozitesinden kaynaklanmıştır (Topçu and Şengel 2003; Rao *et al.* 2007; Tam *et al.* 2007).

4.2. Taze Beton Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirmesi

4.2.1. Çökme (Slump) ve birim ağırlık deneyleri sonuçları ve değerlendirilmesi

18 farklı beton grubuna ait karışımlar hazırlanıp betonlar üretildikten sonra kalıplara yerleştirilmeden yapılan çökme deneyi ve birim ağırlık tayini sonuçları Çizelge 4.3'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.3. Çökme (slump) deneyi ve birim ağırlık deneyi sonuçları

Numune grupları	Çökme değerleri (mm)	Normal betona göre değişim(%)	Birim ağırlık (kg/m ³)	Normal betona göre değişim(%)
N	115	---	2405	---
NP	120	4	2408	0
NS1	50	-57	2456	2
NS2	20	-83	2478	3
NPS1	60	-48	2457	2
NPS2	20	-83	2482	3
R30	100	-13	2219	-8
R30P	110	-4	2216	-8
R30S1	45	-61	2261	-6
R30S2	0	-100	2270	-6
R30PS1	50	-57	2264	-6
R30PS2	0	-100	2274	-5
R50	70	-39	2182	-9
R50P	70	-39	2174	-10
R50S1	30	-74	2238	-7
R50S2	0	-100	2248	-7
R50PS1	30	-74	2235	-7
R50PS2	0	-100	2249	-6

GKA kullanımının etkisi

Çizelge 4.3’de verilmekte olan değerler incelendiğinde, %30 oranında GKA kullanımı çökme değerlerini normal betona göre %13 oranında düşürürken, %50 GKA kullanımı ise %39 oranında düşürmüştür. GKA kullanılması, sahip oldukları yüksek su emme kapasitelerinden dolayı, betonların işlenebilirliğinin azalmasına sebep olmakta ve GKA kullanım oranının artışı işlenebilirliği azaltmaktadır (Emam Ali and Al-Tersawy 2012; Hoffman *et al.* 2012; Jimenez *et al.* 2012; Ismail and Ramli 2013; Matias *et al.* 2013; Mefteh *et al.* 2013; Lima *et al.* 2013)

Normal agregalara göre daha düşük yoğunluğa sahip GKA kullanımı, betonların birim ağırlıklarının da düşük olmasına neden olmaktadır (Debieb *et al.* 2010; Xiao *et al.* 2011; Kwan *et al.* 2011; Erdal 2011; Martinez *et al.* 2013). Çizelge 4.3’de gösterilmekte olan birim ağırlık değerleri incelendiğinde GKA kullanım oranının artışı ile doğru orantılı olarak betonların birim ağırlıklarında %8-9 oranlarında düşüşler gözlemlenmiştir.

Polipropilen lif kullanımının etkisi

Çizelge 4.3’deki değerler neticesinde, polipropilen lif kullanımı normal betonların ve R30P grubunun çökme miktarlarını çok az miktarda arttırmış olup R50P grubunda ise herhangi bir etkisi olmamıştır. Bu durum polipropilen lif kullanımının işlenebilirlik üzerinde dikkate değer bir değişiklik oluşturmadığını göstermektedir (Badr *et al.* 2006; Nili *et al.* 2010; Caf 2012). Ayrıca çok düşük birim ağırlığa sahip polipropilen lif katkısının çok az miktarda kullanılması, hem normal betonların hem de GKA’lı betonların birim ağırlıklarına herhangi bir etkisi olmamıştır.

Çelik lif kullanımının etkisi

Normal betonlarda %1 çelik lif kullanımı çökme miktarını %57 oranında düşürürken, %2 çelik lif kullanımı ise %83 oranında düşürmüştür. Belirtilen oranlar için taze betonlarda çelik lif kullanım oranının artışı ile birlikte işlenebilirlik azalmaktadır.

Ayrıca elde edilen diğler bir sonuç ise lifli betonların birim ağırlıkları normal betonlara göre daha fazla olmaktadır. Bu durum elik liflerin çok yüksek yoğunluğa ($7,80\text{g/cm}^3$) sahip olmalarından kaynaklanmaktadır (Song and Hwang 2004; Zeynal 2008; Baran vd 2012; Caf 2012; Khaloo *et al.* 2014).

Normal betonlarda işlenebilirliğe olumsuz etki eden elik lifler, GKA kullanılarak üretilen betonların işlenebilirliğini de olumsuz etkilemiştir. %1 elik lif kullanımı betonların okme değerlerini, R30S1 ve R50S1 beton gruplarında yaklaşık %55-57 oranlarında azaltmıştır. %2 oranında elik lifli GKA'lı betonlarda ise okme değerleri sıfırdır. Bu sonuç, işlenebilirliği olumsuz etkileyen GKA ve elik lifin bir arada kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Karma lif kullanımının etkisi

Karma lif kullanılarak üretilen betonların okme miktarları, normal betonlara kıyasla daha düşük iken birim ağırlıkları daha yüksektir (Wang *et al.* 1996; Nia *et al.* 2012). Polipropilen lif kullanımının işlenebilirliğe ve birim ağırlığa etkisi olmamakla birlikte bu durum elik lif oranının artışından kaynaklanmaktadır. Benzer durum karma lifli GKA'lı betonlarda da gözlemlenmiştir.

4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri Sonuçları ve Değerlendirmesi

4.3.1. Basınç dayanımı deneyi sonuçları ve değerlendirmesi

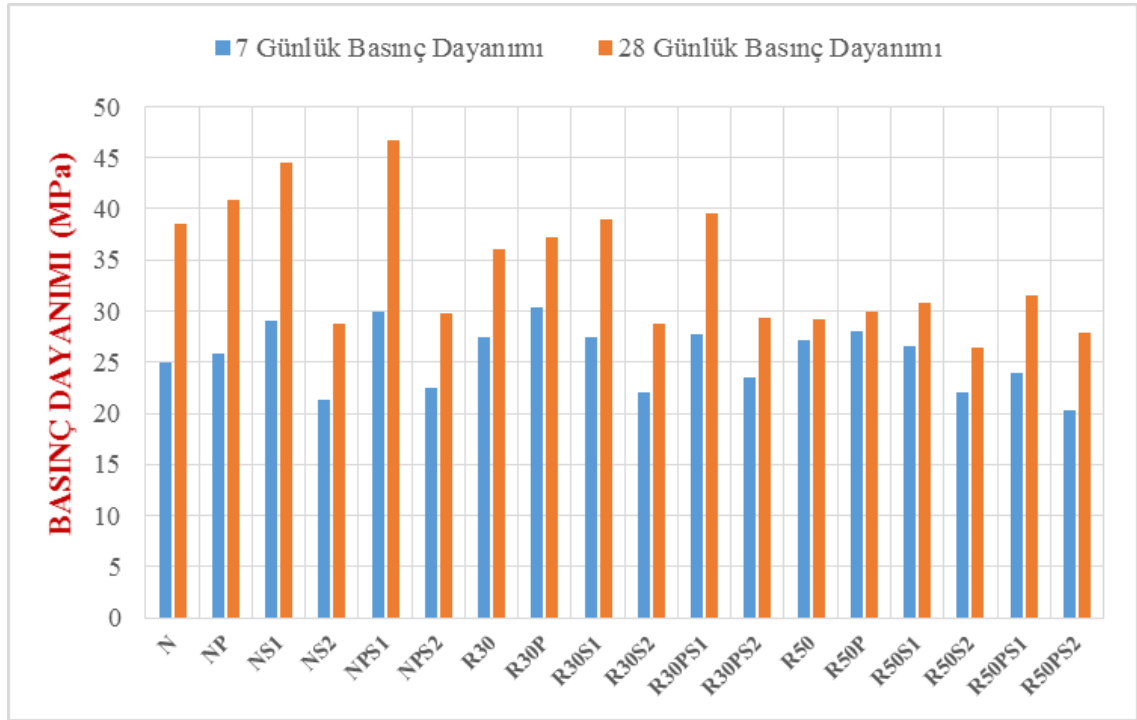
GKA, elik, polipropilen ve karma lif katkılı betonlar üzerinde yapılan 7 ve 28 günlük basınç dayanımı deneyleri sonuçları izelge 4.4'te ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.4. Basınç dayanımı deneyi sonuçları

Numune grupları	7 günlük basınç dayanımı	Normal betona göre değişim(%)	28 günlük basınç dayanımı	Normal betona göre değişim(%)
N	25,0	---	38,6	---
NP	25,8	3	40,9	6
NS1	29,0	16	44,5	15
NS2	21,3	-15	28,8	-25
NPS1	29,9	19	46,7	21
NPS2	22,5	-10	29,8	-23
R30	27,5	10	36,0	-7
R30P	30,4	22	37,2	-4
R30S1	27,5	10	39,0	1
R30S2	22,1	-11	28,8	-25
R30PS1	27,7	11	39,6	3
R30PS2	23,5	-6	29,3	-24
R50	27,2	9	29,2	-24
R50P	28,0	12	29,9	-23
R50S1	26,6	7	30,8	-20
R50S2	22,0	-12	26,5	-31
R50PS1	23,9	-4	31,6	-18
R50PS2	20,3	-19	27,9	-28

GKA kullanımının etkisi

7 günlük basınç dayanımı değerleri incelendiğinde, normal betonlara göre R30 grubu %10, R50 grubu ise %9 daha fazla basınç dayanımı göstermiştir. Genel olarak GKA kullanımı betonların 7 günlük basınç dayanımını arttırmıştır. Bu durum GKA'nın normal agregaya göre pürüzlü dokusunun dolayısıyla artan temas yüzey alanının çimento hamuru ile daha iyi aderansının bir sonucudur (Rao *et al.* 2011).



Şekil 4.2. Basınç dayanımı deneyleri sonuçlarının grafiksel gösterimi

7 günlük değerlerin aksine GKA kullanımı betonların 28 günlük basınç dayanımları üzerinde olumsuz etki oluşturmuştur. R30 beton grubunun 28 günlük basınç dayanımları normal betonlara göre %7 daha düşük çıkarken, R50 beton grubunun ise %24 daha düşük çıkmıştır. Basınç dayanımında meydana gelen bu düşüş; GKA'lı betonların normal betonlardaki agrega-çimento hamuru arayüzeyine ek olarak ikinci bir GKA-çimento hamuru arayüzeyinin varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durumun GKA'nın taşıyıcı betonlarda %30 oranına kadar kullanılabilir olduğu, %30'dan sonra kullanılmaması gerektiğini göstermektedir (Topçu and Günçan 1995; Poon *et al.* 2002; Xiao *et al.* 2004; Evangelista and Brito 2007; Etxeberria *et al.* 2007; Mefteh *et al.* 2013).

Polipropilen lif kullanımının etkisi

Polipropilen lif kullanımı, hem normal betonların (Song *et al.* 2005; Badr *et al.* 2006; Nili *et al.* 2010) hem de GKA'lı betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları üzerinde olumlu etki göstermiş olup 7 günlük dayanımlarda daha fazla olan bu artış, GKA

kullanımının betonun 7 günlük basınç dayanımına olan olumlu etkisine ilaveten polipropilen liflerin de işlenebilirliği arttırması nedeniyledir. Buna göre polipropilen liflerin kullanımı ile GKA'lı betonların basınç dayanımları az da olsa iyileştirilmiş fakat bu iyileştirme önemli ölçüde değildir.

Çelik lif kullanımının etkisi

Çizelge 4.4'de gösterilmekte olan değerler neticesinde, %1,0 oranında çelik lif katkısı betonların 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını normal betonlara göre sırasıyla %16 ve %15 oranlarında arttırırken, %2,0 oranında çelik lif kullanımı ise sırasıyla %15 ve %25 oranlarında azaltmıştır. Bu düşüşün, lif kullanımının ara yüzü arttırmasından ve işlenebilirliği olumsuz etkilemesinden kaynaklandığı tespit edilmiştir (Eren ve Çelik 1997; Song and Hwang 2004; Caf 2012).

Çelik lifin GKA'lı betonlardaki etkisi, normal betonlardakine benzerlik göstermektedir. %1,0 çelik lif katkısı R30S1 ve R50S1 beton gruplarının 28 günlük basınç dayanımlarında artış sağlarken, %2,0 çelik lif katkısı ise olumsuz etki göstermiştir. R30S1 grubunun basınç dayanımı normal betona göre %1 oranında daha yüksek, R50S1 grubunun ise %20 oranında daha düşük çıkmıştır. R30S1 grubunda GKA'nın olumsuz etkisinin çelik lif kullanımı ile giderilerek normal beton dayanımına ulaşıldığı, hatta 7 günlük basınç dayanımı değerlerinin normal beton dayanımını %10 oranında arttığı tespit edilmiştir. Bu değerler lifsiz betonlarda olduğu gibi lifli betonlarda da ideal GKA oranının %30'u geçmemesi gerektiği sonucunu desteklemektedir.

Karma lif kullanımının etkisi

Çizelge 4.4'de gösterilmekte olan sonuçlar doğrultusunda liflerin tekli kullanımlarına göre PS1 grupları hem normal betonlarda hem de GKA'lı betonlarda 28 günlük basınç dayanımlarını olumlu yönde etkilemiştir. Normal betonlarda %21 artış oranı ile maksimum sonucu NPS1 grubu betonlar verirken, GKA'lı betonlarda ise maksimum

sonucu normal betona oranla %3 daha iyi performans gösteren R30PS1 grubu betonlar vermiştir.

4.3.2. Eğilme Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirmesi

GKA, çelik, polipropilen ve karma lif katkılı betonlar üzerinde yapılan 28 günlük eğilme dayanımı deneyleri sonuçları Çizelge 4.5’de ve Şekil 4.3’de gösterilmektedir.

GKA kullanımının etkisi

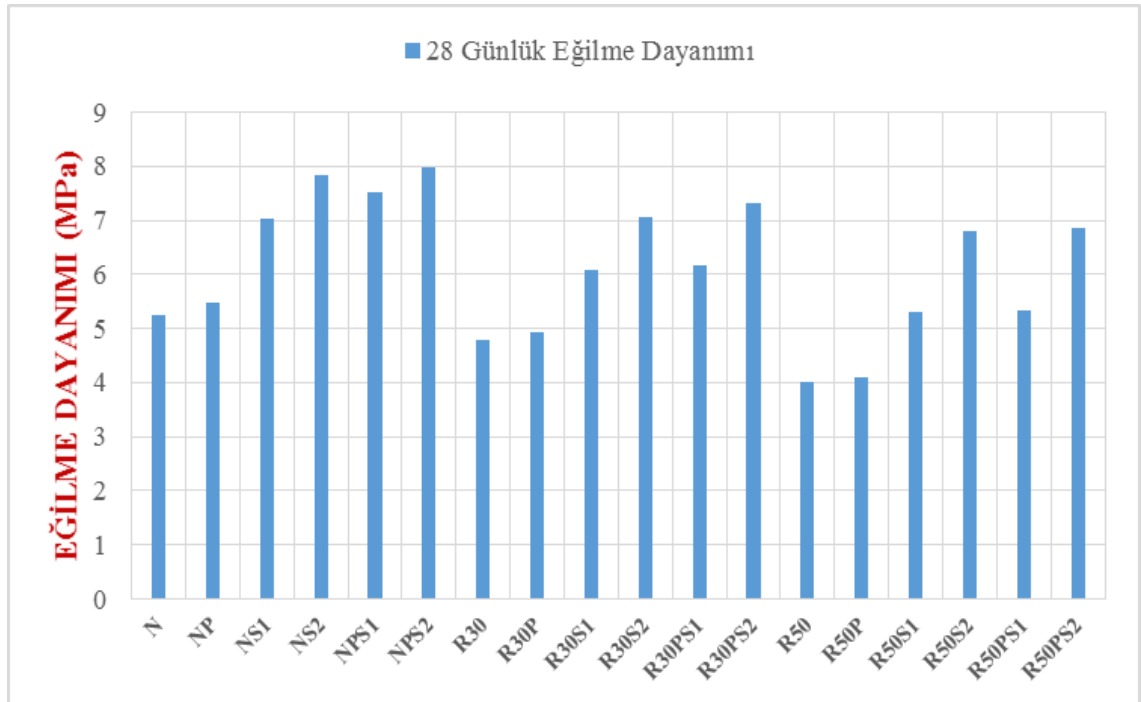
Çizelge 4.5’da gösterilmekte olan değerler incelendiğinde, GKA kullanımı betonların eğilme dayanımlarını olumsuz yönde etkilemiştir. GKA kullanım oranı arttıkça, betonların eğilme dayanımları azalmıştır. %30 GKA kullanılarak üretilen betonların eğilme dayanımları, normal betonlara göre %9 oranında, %50 GKA’lı betonların ise %24 oranında daha düşük çıkmıştır. Bu durumun GKA üzerinde yapışmış halde bulunan çimento hamurunun sebep olduğu çimento ve GKA arasındaki ikinci bir ara yüzün varlığından kaynaklandığı düşünülmektedir (Xiao *et al.* 2011; Jimenez *et al.* 2012; Emam Ali and Al-Tersawy 2012; Panda and Bal 2013).

Çizelge 4.5. Eğilme dayanımı deneyi sonuçları

Numune grupları	Eğilme dayanımı	Normal betona göre değişim(%)
N	5,24	---
NP	5,49	5
NS1	7,02	34
NS2	7,83	49
NPS1	7,51	24
NPS2	7,98	52
R30	4,79	-9
R30P	4,93	-6

Çizelge 4.2. (devam)

R30S1	6,07	16
R30S2	7,05	35
R30PS1	6,18	18
R30PS2	7,32	40
R50	4,00	-24
R50P	4,10	-22
R50S1	5,29	1
R50S2	6,81	30
R50PS1	5,33	2
R50PS2	6,85	31



Şekil 4.3. Eğilme dayanımı deneyleri sonuçlarının grafiksel gösterimi

Polipropilen lif kullanımının etkisi

Çizelge 4.5’de verilmekte olan değerler incelendiğinde sadece %0,1 oranında polipropilen lif katkısı hem normal betonların hem de GKA’lı betonların eğilme dayanımlarını arttırmıştır. Bu oran normal betonlarda %5, GKA’lı betonlarda ise %2-3 arasındadır. Normal betonlarda belirlenen polipropilen lif etkisi, Alhozaimy *et al.* (1996), Manolis *et al.* (1997), Nili *et al.* (2010), Mazaheripour *et al.* (2011) yaptıkları çalışmalarda elde ettikleri sonuçlar ile uyumluluk göstermektedir. Ayrıca polipropilen lif kullanarak GKA’dan dolayı düşük çıkan eğilme dayanımları az miktarda olsa iyileştirilmiştir.

Çelik lif kullanımının etkisi

Çelik lif kullanım oranı artışı ile birlikte betonların eğilme dayanımları artmıştır. (Chenkui and Guafon 1995; Eren ve Çelik 1997; Abdul-Ahad and Aziz 1999; Zeynal 2008; Caf 2012; Pajak and Ponikiewski 2013; Ma *et al.* 2013; Khaloo *et al.* 2014). Bu çalışmadaki artış miktarı %1 çelik lifli betonlarda %34 iken, %2 çelik lifli betonlarda ise %52 olarak belirlenmiştir

GKA’lı betonlardaki durum incelenecek olursa; %30 GKA’lı betonların eğilme dayanımları üzerinde %1 çelik lif katkısı lifsize göre %29 oranında artış sağlarken, %2 çelik lif katkısı %53 oranında artış sağlamıştır. %50 GKA’lı betonların eğilme dayanımları üzerinde ise %1 çelik lif katkısı lifsize göre %33 oranında artış sağlarken, %2 çelik lif katkısı %70 oranında artış sağlamıştır. Buradan hareketle düşük dayanıma sahip olan GKA’lı betonlarda çelik lif katkısı ile normal betonlardan daha yüksek eğilme dayanımına sahip betonlar üretilebilir. Bu oranlar R30S1 için %18, R30S2 için %40, R50S1 için %1 ve R50S2 için %31’dir.

Karma lif kullanımının etkisi

Karma lif kullanımı basınç dayanımında olduğu gibi eğilme dayanımında da liflerin ayrı ayrı kullanımına göre hem normal betonlarda hem de GKA'lı betonlarda daha iyi katkı sağlamıştır. NPS1 beton grubu eğilme dayanımı normal betona göre %24 oranında, NPS2 beton grubu ise %52 oranında daha yüksektir.

R30 beton grubuna göre; R30PS1 beton grubu eğilme dayanımı %18, R30PS2 beton grubu ise %40 oranında daha yüksektir. R50 beton grubuna göre ise; R50PS1 beton grubu eğilme dayanımı %2, R50PS2 beton grubu ise %31 oranında daha yüksektir. Elde edilen eğilme dayanım sonuçlarına göre karma lif kullanımı, tüm GKA'lı beton gruplarına nazaran olumlu katkı sağlamıştır.

4.3.3. Darbe Dayanımı Deneyi Sonuçları ve Değerlendirmesi

GKA, çelik lif, polipropilen lif ve karma lif katkılı betonlar üzerinde yapılan darbe dayanımı deneyi sonuçları Çizelge 4.6'da ve Şekil 4.4'de gösterilmektedir.

GKA kullanımının etkisi

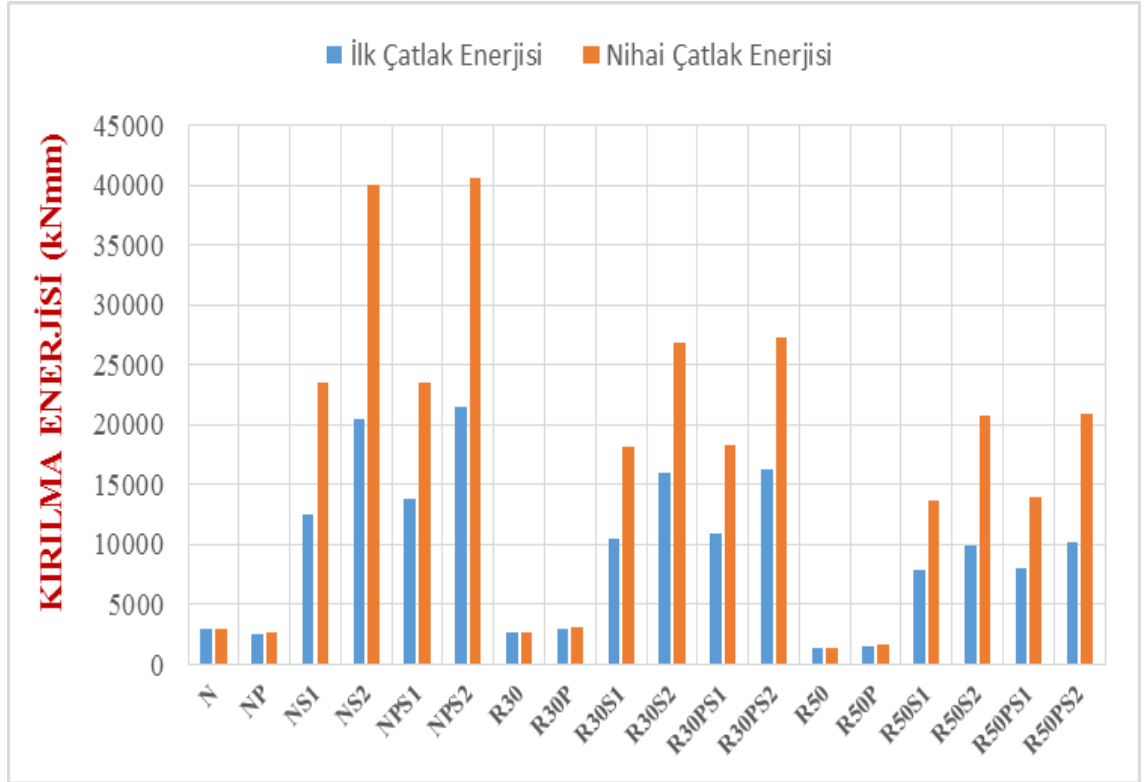
Çizelge 4.6'da gösterilmekte olan değerler incelendiğinde, %30 oranında GKA kullanılarak üretilen betonların gözle görülebilir ilk çatlak ve nihai çatlak enerjileri normal betonlara göre sırasıyla %8 ve %9 daha düşük çıkmıştır. %50 oranında GKA kullanılarak üretilen betonların hem gözle görülebilir ilk çatlak enerjileri hem de nihai çatlak enerjileri normal betonlara göre %52 oranında daha düşük çıkmıştır. GKA kullanımı betonların darbe dayanımlarını olumsuz etkilemiştir. GKA kullanım oranı arttıkça, betonların darbe dayanımları azalmıştır. Bu durum, 28 günlük basınç ve eğilme dayanımları sonuçları ile paralellik göstermektedir. Bunun sebebi çimento ve GKA arasındaki aderansın çimento ile agrega arasındaki aderansın daha zayıf olmasıdır (Rao *et al.* 2011; Erdem *et al.* 2011).

Çizelge 4.6. Darbe dayanımı deneyi sonuçları

Numune grupları	Gözle görülebilir ilk çatlak	İlk çatlak enerjisi (kNmm)	Normal betona göre değişim(%)	Nihai çatlak	Nihai çatlak enerjisi (kNmm)	Normal betona göre değişim(%)
N	142	2889	---	145	2950	---
NP	146	2563	3	151	2665	4
NS1	617	12553	335	1140	23498	686
NS2	1004	20426	607	1967	40019	1257
NPS1	676	13753	376	1155	23498	697
NPS2	1057	21505	644	1994	40568	1275
R30	131	2665,2	-8	132	2686	-9
R30P	142	2889	0	149	3031	3
R30S1	517	10518	264	889	18087	513
R30S2	788	16032	455	1321	26876	811
R30PS1	536	10905	277	899	18290	520
R30PS2	797	16215	461	1342	27303	826
R50	68	1383	-52	69	1404	-52
R50P	74	1506	-48	79	1607	-46
R50S1	386	7853	172	675	13733	366
R50S2	487	9908	243	1017	20699	601
R50PS1	394	8016	177	688	13997	374
R50PS2	498	10132	251	1031	20976	611

Polipropilen lif kullanımının etkisi

Çizelge 4.6'dan görüldüğü üzere, %0,1 oranında polipropilen lif katkısı hem normal betonların hem de GKA'lı betonların darbe dayanımlarını az miktarda olsa arttırmıştır. Normal betonların darbe dayanımı sonuçları Mindess *et al.* (1986), Mindess and Vondran (1988), Mindess and Yan (1993), Wang *et al.* (1996), Toutanji *et al.* (1998), Badr *et al.* (2005), Nili and Afroughsabet (2010), Caf (2012) tarafından yapılan çalışmalar neticesinde elde ettikleri sonuçlar ile uyumluluk göstermektedir. Artış miktarları normal betonlarda %3-4, GKA'lı betonlarda %8-14 oranlarındadır.



Şekil 4.4. Darbe dayanımı deneyleri sonuçlarının grafiksel gösterimi

Çelik lif kullanımının etkisi

Çelik lifler sahip oldukları yüksek enerji yutma kapasitelerinden dolayı betonların darbe dayanımlarını çok fazla miktarda arttırmış olup çelik lif kullanım oranı arttıkça, darbe dayanımları artmıştır (Mindess and Yan 1993; Wang *et al.* 1996; Nataraja *et al.* 1999; Marar *et al.* 2001; Song *et al.* 2004; Nataraja *et al.* 2005; Mohammadi *et al.* 2008; Yazıcı ve Sezer 2008; Zeynal 2008; Nili and Afroughsabet 2010; Caf 2012; Yazıcı vd 2012). Bu çalışmada, normal betonlarda %1 oranında çelik lif kullanımı ilk çatlak dayanımını 4,5 kat (%450) arttırırken, nihai çatlak dayanımını yaklaşık 8 kat arttırmıştır. %2 oranında çelik lif kullanımı ise ilk çatlak dayanımını 7 kat arttırırken, nihai çatlak dayanımını ise 13,5 kat arttırmıştır.

Çelik lif katkısı normal betonlarda olduğu gibi GKA'lı betonların da darbe dayanımlarını arttırmıştır. %1 çelik lif kullanımı %30 GKA'lı betonların, normal betonlara oranla ilk çatlak dayanımlarını 3,5 kat arttırırken, nihai çatlak dayanımlarını 6

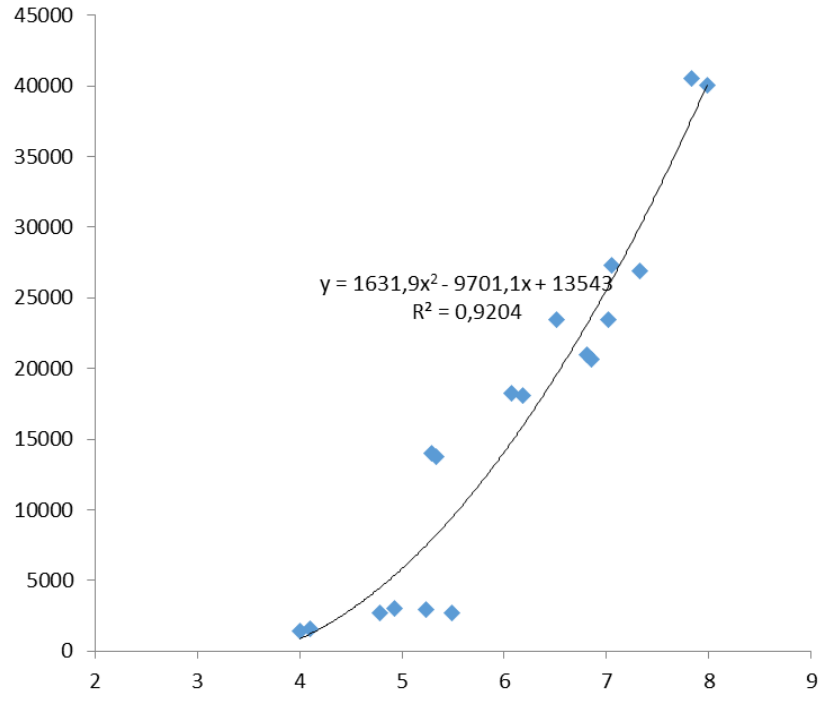
kat arttırmıştır. %50 GKA'lı betonların, normal betonlara oranla ilk çatlak dayanımlarını 3 kat arttırırken, nihai çatlak dayanımlarını 4,5 kat arttırmıştır. %2 çelik lif kullanımı ise %30 GKA'lı betonların, normal betonlara oranla ilk çatlak dayanımlarını 5,5 kat arttırırken, nihai çatlak dayanımlarını 9 kat arttırmıştır. %50 GKA'lı betonların, normal betonlara oranla ilk çatlak dayanımlarını 3 kat arttırırken, nihai çatlak dayanımlarını 7 kat arttırmıştır.

Karma lif kullanımının etkisi

Karma lif kullanımı basınç ve eğilme dayanımında olduğu gibi darbe dayanımında da diğer tüm beton gruplarına göre daha iyi katkı sağlamıştır. NPS1 beton grubu ilk ve nihai çatlak dayanımı normal betona göre sırasıyla 5 ve 8 kat, NPS2 beton grubunda ise 7 ve 14 kat oranında daha yüksektir. R30PS1 beton grubu ilk ve nihai çatlak dayanımı sırasıyla 4 ve 6 kat, R30PS2 beton grubu ise 6 ve 9 kat oranında daha yüksektir. R50PS1 beton grubu ilk ve nihai çatlak dayanımı sırasıyla 3 ve 5 kat, R50PS2 beton grubu ise 3,5 ve 7 kat oranında daha yüksektir. Elde edilen sonuçlar neticesinde GKA'lı betonlarda eğilme dayanımında olduğu gibi darbe dayanımında da en iyi sonucu R30PS2 beton grubu vermiştir.

Eğilme dayanımı ile darbe dayanımı arasındaki ilişki

Darbe dayanımı deneyleri ile eğilme dayanımı deneyleri neticesinde elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde Şekil 4.5'de grafik elde edilmektedir. Bu grafikte belirtilen eğilim çizgisine ve korelasyon katsayısı dikkate alındığında darbe dayanımı ile eğilme dayanımı arasında bir ilişki olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 4.5. Darbe dayanımı ve eğilme dayanımı arasındaki ilişki

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Teknolojik gelişmelerin hızı ve değişen yaşam standartları ile birlikte hızla artan nüfus, atık hacminin artmasına ve atık içeriğinin çeşitlenmesine sebep olmaktadır. Günümüzde oranları ülkelere ve şehirlere göre değişmekle birlikte İYA, katı atıklar içerisinde büyük bir paya sahiptir. Kullanım ömrünü çeşitli nedenlerle tamamlamış olan yapılardan ortaya çıkan ve geri kazanılabilir nitelikte olan atıkların yeniden kullanımı çevresel ve ekonomik açıdan irdelendiğinde çok büyük önem taşımaktadır. Ülkemizde atıkların kullanımı, etkin ve sürdürülebilir atık yönetim sisteminin oluşturulmasına dikkat çeken bu çalışmanın konu ile ilgili yapılacak çalışmalara ışık tutması beklenmektedir.

Beton bileşenleri içerisinde büyük paya sahip doğal kaynak olan agregaların geri kazanılarak beton üretiminde, hem maksimum düzeyde tekrar kullanılabilirliğinin araştırıldığı hem de mekanik etkiler karşısında normal betonlara göre daha zayıf performans gösteren GKA'lı betonlara farklı oranlarda lifler eklenerek mekanik özelliklerinde iyileştirilmenin araştırıldığı bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

1. Yapılan agrega deneyleri neticesinde, sahip olduğu yüksek poroziteden dolayı GKA yoğunluklarının doğal agregaların yoğunluklarına oranla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca üzerine yapışmış halde bulunan çimento hamurunun boşluklu yapısından kaynaklı olarak GKA'ların su emme ve yüzey nemi değerleri doğal agregalara oranla çok daha yüksek sonuçlar vermektedir. Özellikleri, normal agregaya göre ve kendi içerisinde de farklılık gösteren GKA'ların özelliklerinin saptanması bu tip agreganın kullanıldığı çalışmalar için büyük önem arz etmektedir.

2. GKA'ların elde edildiği atık betonların dayanım sınıfları belirlenerek bu dayanım sınıflarına göre agregaların ayrı ayrı istiflendiği daha gelişmiş tesislere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu tasnif hem GKA özelliklerinin hem de bu GKA ile üretilen beton

özelliklerinin ölçümünde daha hassas ve net sonuçların elde edilmesine yardımcı olacaktır.

3. Beton gruplarındaki çökme değerleri dikkate alındığında, GKA oranının artışı ile birlikte azalan çökme değerleri işlenebilirlik açısından GKA optimum kullanım oranını sınırlayan bir faktör olmaktadır. Konu ile ilgili yapılacak sonraki çalışmalarda sabit işlenebilirlik esas alınarak üretilen GKA'lı betonların mekanik özellikleri incelenebilir.

4. GKA üzerinde oldukça bilimsel çalışma yapılmasına rağmen, lifler ile birlikte kullanımı üzerinde çok fazla çalışma bulunmamakta ve bu konu üzerinde farklı parametreler kullanılarak, betonların çeşitli mekanik ve durabilite özellikleri incelenmelidir.

5. GKA kullanılarak üretilen betonlarda lif kullanımının işlenebilirliğe etkisine baktığımızda; seçilen oranda kullanılan polipropilen lif katkısının çok az miktarda da olsa işlenebilirliği olumlu yönde etkilediği görülürken yine seçilen oranlarda çelik lif kullanımının ise olumsuz etki gösterdiği belirlenmiştir. Ayrıca karma lif katkılı beton grupları en olumsuz sonucu vermiş olup, karma lifli GKA'lı betonların çökme değerlerinin sıfır çıktığı tespit edilmiştir. Yine sabit işlenebilirlik esas alınarak üretilen GKA'lı lifli betonların mekanik özellikleri daha sonra yapılacak araştırmalarda incelenerek literatürdeki eksiklikler giderilmeye çalışılmalıdır.

6. Üretilen beton gruplarının taze beton birim ağırlıkları incelendiğinde, doğal agregalara göre daha düşük yoğunluğa sahip GKA'ların kullanım oranının artışı ile birlikte yoğunluklarda azalmalar gözlemlenmiştir. Polipropilen lif kullanımı bütün betonların birim ağırlıklarında kayda değer bir fark oluşturmamış çelik lif ve karma lif kullanımı ise kullanım oranı artışına paralel şekilde hem normal betonların hem de GKA'lı betonların birim ağırlıklarını artırmıştır.

7. Basınç dayanımı deneyleri sonucunda, GKA kullanımı betonların 7 günlük dayanımlarını arttırmış ancak 28 günlük dayanımlarını azaltmıştır. %30 oranında GKA'lı betonların basınç dayanımı ile normal betonların basınç dayanımı arasında çok fazla fark olmadığı ve taşıyıcı betonlarda kullanılabileceğini göstermektedir. Bu değerlerin beton dayanım sınıflarına göre farklılık gösterebileceği düşünülmekte ve bundan sonra yapılacak çalışmalarda sabit bir beton dayanım sınıfı (normal dayanımlı, yüksek dayanımlı beton, vb) için optimum GKA oranının belirlenmesinin önemli olduğu düşünülmektedir.

8. Hem normal betonlarda hem de GKA'lı betonlarda polipropilen lif katkısı 7 ve 28 günlük betonların basınç dayanımlarını az miktarda arttırmıştır. %1,0 oranında çelik lif ve karma lif kullanımı betonların basınç dayanımını arttırırken, %2,0 oranında çelik lif kullanımı ise işlenebilirliği olumsuz etkilediğinden dolayı basınç dayanımlarını düşürmüştür.

9. Üretilen betonların eğilme deneyleri sonucunda, GKA kullanım oranının artışı ile birlikte betonların eğilme dayanımları düşmüştür. Normal ve GKA'lı betonlarda polipropilen lif ve çelik lif kullanımı betonların eğilme dayanımlarını arttırmıştır. Özellikle seçilen oranlarda çelik lif kullanım oranı artışı ile beraber betonların eğilme dayanımları da artmıştır. Eğilme yükleri karşısında en iyi performansı ise karma lif katkılı betonlar vermiştir.

10. Darbe dayanımı deneyleri sonucunda, seçilen oranlar için GKA kullanım oranının artışı ile birlikte betonların ilk çatlak ve nihai çatlak enerjileri düşmüştür. Normal ve polipropilen lif katkılı betonlara göre çelik lifin kullanıldığı betonların çatlak enerjileri yüksek değerler alırken çelik lif kullanım oranı artışı ile beraber betonların ilk ve nihai çatlak dayanımları da artmıştır. Darbe yükleri karşısında en iyi performansı ise eğilme dayanımına benzer bir şekilde karma lif katkılı betonlar vermiştir.

11. Çalışmayla bulunan sonuçlara ek olarak ileride yapılacak çalışmalarda GKA'lı ve lifli betonların mekanik özelliklerine ilaveten durabilite özellikleri ve içyapıları da

detaylı olarak incelenmeli ve sonuçlar enstrümental analiz teknikleri ile desteklenmelidir.

12. Çevresel ve ekonomik etkiler dikkate alındığında ilerleyen zamanlarda kullanımı zorunlu olabilecek GKA'nın temini, kullanımının yaygınlaşması ve ülke ekonomisine sağlayacağı katkıların daha da artması beklenmektedir. Buna ilaveten yapılan bu çalışmalar ile ülke genelinde agrega kazanımı ve beton geri dönüşümü için tesis sayılarının artacağı ve bu sayede atık değerlendirme konusunda büyük ilerleme sağlanacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abdul-Ahad, R., B. and Aziz., O., Q., 1999. Flexural strenght of reinforced concrete T-beams with steel fibers. *Cement and Concrete Composites*, 21:263 – 268.
- Akçalı, Ü., 2005. 2012 Yılı İnşaat Birim Fiyat Analizleri. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Alhozaimy, A., M., Soroushian, P. and Mirza, F., 1996. Mechanical properties of polypropylene fiber reinforced concrete and the effects of puzzolanic materials. *Cement and Concrete Composites*, 18:85 – 92.
- Ali, E. E. and Al-Tersawy, A. H., 2012. Recycled glass as a partial replacement of fine aggregate in self compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 35:785 – 791.
- Anonim, 1980. TS 3523. Beton Agregalarının Yüzey Nemi Oranının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 1992. TS 10515. Beton – Çelik Tel Takviyeli – Eğilme Mukavemeti Deney Metodu. TSE, Ankara.
- Anonim, 2004. Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete, (25406).
- Anonim, 2005. Katı Atıkların Kontrolü Yönetmeliği. T.C. Resmi Gazete, (25777).
- Anonim, 2009. TS 706 EN 12620 + A1. Beton Agregaları. TSE, Ankara.
- Anonim, 2009. TS ISO 3310 – 1. Deney Eleklere – Teknik Özellikler ve Deneyler – Bölüm 1: Metal Tel Örgülü Deney Eleklere. TSE, Ankara.
- Anonim, 2010. TS EN 12350-2. Beton – Taze Beton Deneyleri – Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi. TSE, Ankara.
- Anonim, 2010. TS EN 12350-6. Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk. TSE, Ankara.
- Anonim, 2010. TS EN 12390 – 5. Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 2012. TS EN 12390 – 3/AC. Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri – Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonim, 2012. TS EN 197 – 1. Çimento – Bölüm: Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri. TSE, Ankara.
- Anonim, 2012. TS EN 933 – 1. Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm – 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini – Eleme Metodu. TSE, Ankara.
- Anonim, 2013. 2012 Yılı Hazır Beton Sektörü İstatistikleri. <http://www.thbb.org/Files/File/statistics/istatistik2013.pdf>
- Anonim, 2013. TS EN 1097 – 6. Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini. TSE, Ankara.
- Anonymous, 1999. ACI 544. Measurement of Properties of Fiber Reinforced Concrete. USA.
- Anonymous, 2008. ASTM C33. Standart Specification for Concrete Aggregates. USA.
- Arıoğlu, E., Köylüoğlu, Ö.S. ve Arıoğlu, N., 1996. Dünyadaki geri kazanılmış agrega üretim ve politikalarının gözden geçirilmesi ve ülkemiz açısından irdelenmesi. 1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, s.33-52.

- Arslan, A. ve Aydın, A., C., 1999. Lifli betonların genel özellikleri. Hazır Beton, Kasım-Aralık.
- Aslani, F. and Nejadi, A., 2013. Self-compacting concrete incorporating steel and polypropylene fibers: Compressive and tensile strengths, moduli of elasticity and rupture, compressive stress-strain curve and energy dissipated undercompression. *Composites: Part B*, 53:121 – 133.
- Ateş, A., İ., 2008. Çelik Lif Donatılı Betonlar. Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- Badr, A., Ashour, A. F. and Platten, A. K., 2005. Statistical variations in impact resistance of polypropylene fibre reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 32:1907 – 1920.
- Banthia, N. and Gupta, R. 2006. Influence of polypropylene fiber geometry on plastic shrinkage cracking in concrete. *Cement and Concrete Research*, 36:1263 – 1267.
- Banthia, N., Yan, C. and Sakai, K. 1998. Impact resistance of fiber reinforced concrete at subnormal temperatures. *Cement and Concrete Composites*, 20:393 – 404.
- Baran, E., Akis, T. and Yesilmen, S., 2012. Pull-out behaviour of prestressing stands in steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 28:362 – 371.
- Başar, B., 2007. Türkiye’de Yapısal Katı Atıkların Yeniden Değerlendirilmesine Yönelik Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, T.C. Gebze Yüksek Teknoloji Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- Bentur, A. and Mindess, S., 1990. Fiber reinforced cementitious on durability of concrete barking. Elsevier Applied Science.
- Boğazkesen, K., K., 2011. PVA Lif Donatılı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Özelliklerinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Butler, L., West, J. S. and Tighe, S. L., 2013. Effect of recycled concrete coarse aggregate from multiple sources on the hardened properties of concrete with equivalent compressive strength. *Construction and Building Materials*, 47:1292 – 1301.
- Caf, M., 2012. Polipropilen ve Çelik Lifli Betonların Darbe Dayanımı. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Chenkui, H. and Guafon, Z., 1995. Properties of steel fibre reinforced concrete containing larger coarse aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 17:199 – 206.
- Choi, S., Y., Park, J., S. and Jung, W., T., 2011. A study on the shrinkage control of fiber reinforced concrete pavement. *Procedia Engineering*, 14:2815 – 2822.
- Corinaldesi, V. and Moricani, G., 2009. Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23:2869 – 2876.
- Çelik, B., 2007. Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures. Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- Debieb, F., Courard, L., Kenai, S. and Degeimbre, R., 2010. Mechanical and durability properties of concrete using contaminated recycled aggregates. *Cement & Concrete Composites*, 32:421 – 426.
- Demir, İ., 2010. İnşaat yıkıntı atıklarının beton üretiminde kullanımı ve beton özelliklerine etkisi. *AKÜ Fen Bilimleri Dergisi*, 02:105-114.

- Erdal, B., 2011. Geri Kazanılmış Agrega İle Üretilen Polipropilen Lif Katkılı Betonların Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdem, S., Dawson, A., R. and Thom, N., H., 2011. Microstructure linked strenght properties and impact response of conventional and recycled concrete reinforced with steel and synthetic macro fibers. *Construction and Building Materials*, 25:4025 – 4036.
- Eren, Ö. and Çelik, T., 1997. Effect of silica fume and steel fibers on some properties of high strenght concrete. *Construction end Building Materials*, 11:373 – 382.
- Etxeberria, M., Vazquez, E., Mari, A. and Barra, M., 2007. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cement and Concrete Research*, 37:735 – 742.
- Evangelista, L. and Brito, J. D., 2007. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. *Cement & Concrete Composites*, 29:397 – 401.
- Fonseca, N., Brito, J. D. and Evangelista, L., 2011. The influence of curing conditions on the mechanical performance of concrete made with recycled concrete waste. *Cement & Concrete Composites*, 33:637 – 643.
- Fonteboa, B. G. and Abella, F. M., 2007. Concretes with aggregates from demolition waste and silica fume. *Meterials and mechanical properties. Building and Enviroment*, 43:429 – 437.
- Gao, J., Sun, W. and Morino, K., 1997. Mechanical properties of steel fiber-reinforced, high-strenght, lightweight concrete. *Cement and Concrete Composites*, 19:307 – 313.
- Gençel, O., 2006. Farklı Çelik Lif Tipi ve Miktarının Beton Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimeri Enstitüsü, Afyon.
- Gokce, A., Nagataki, S., Saeki, T. and Hisada, M., 2003. Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate: the role of air content in demolished concrete. *Cement and Concrete Research*, 34:799 – 806.
- Hamir, R., Ridzuan, A. R. M., Diah, A. B. M. and Kamarulzaman, K. B., 2001. The influence of recycled aggregate on the early compressive strength and drying shrinkage concrete. *Structural Engineering, Mechanics and Computation*.
- Hoffmann, C., Schubert, S., Leemann, A. and Motavalli, M., 2012. Recycled concrete and mixed rubble as aggregates: influence of variations in composition on the concrete properties and their use as structural material. *Construction and Building Materials*, 35:701 – 709.
- Hsie, M., Tu, C. and Song, P., S., 2008. Mechanical properties of polypropylene hybrid fiber reinforced concrete. *Materials Science and Engineering A*, 494:153 – 157.
- Ismail, S. and Ramli, M., 2013. Engineerring properties of treated recycled concrete aggregate (RCA) for structural applications. *Construction and Building Materials*, 44:464 – 476.
- Jimenez, J. R., Ayuso, J., Lopez, M., Fernandez, J. M. and Brito, J. D., 2012. Use of fine recycled aggregates from ceramic waste in masonry mortar manufacturing. *Construction and Building Materials*, 40:679 – 690.

- Khalaf, F. M. and Devenny, A. S., 2004. Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete: review. *ASCE Journal of Meterials In Civil Engineering*, 16:331-340.
- Khaliq, W. and Kodur, V., 2011. Thermal and mechanical properties of fiber reinforced high performance self-consolidating concrete at elevated temperatures. *Cement and Concrete Research*. 41:1112 – 1122.
- Khaloo, A., Raisi, E., M., Hosseini, P. and Tahsiri, H., 2014. Mechanical performance of self compacting concrete reinforced with steel fibers. 51:179 – 186.
- Kılıç, İ., 2006. Geri Dönüştürülmüş Atık Betonların Bazı Fiziksel ve Mekanik Özelliklerinin Katkı Kullanımı İle İyileştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kılıç, N., 2012. Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı. İzmir Ticaret Odası, Arge & Bülten.
- Köken, A., Köroğlu, M. A. ve Yonar, F., 2008. Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği. *Selçuk Üniversitesi Teknik Online Dergi*, Konya.
- Köksal, F., Yiğit, İ., Yerlikaya, M. and Şahini Y., 2006. Silis dumanı ve çelik tel kullanımının yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerine etkisi. <http://www.imo.org.tr/resimler/ekutuphane/pdf/10687.pdf>
- Köse, H. Ö., Ayaz, S. ve Köroğlu, B., 2007. Türkiye’de Atık Yönetimi. Ulusal Düzenlemeler ve Uygulama Sonuçlarının Değerlendirilmesi Performans Denetim Raporu, T.C. Sayıştay Başkanlığı.
- Kwan, W. H., Ramli, M., Kam, K. J. and Sulieman, M. Z., 2011. Influence of the amount of recycled coarse aggregate in concrete design and durability properties. *Construction and Building Materials*, 26:565 – 573.
- Lima, C., Caggiano, A., Faella, C., Martinelli, E., Pepe, M. and Realfonzo, R., 2013. Physical properties and mechanical behaviour of concrete made with recycled aggregates and fly ash. *Construction and Building Materials*, 47:547 – 559.
- Limbachiya, M., Meddah, M. S. and Ouchagour, Y., 2011. Use of the recycled concrete aggregate in fly-ash concrete. *Construction and Building Materials*, 27:439 – 449.
- Lovato, S. P., Possan, E., Molin, D. C. C. D., Masuero, A. B. and Riberio, J. L. D., 2011. Modeling of mechanical properties and durability of recycled aggregate concretes. *Construction and Building Materials*, 26:437 – 447.
- Ma, H., L., Cui, C., Li, X. and Hu, S., L., 2013. Study on mechanical properties of steel fiber reinforced autoclaved lightweight shell aggregate concrete. *Meterials and Design*, 52:565 – 571.
- Manolis, G., D., Gareis, P., J., Tsonos, A., D. and Neal, J., A., 1997. Dynamic properties of polypropylene fiber reinforced concrete slabs. *Cement and Concrete Composites*, 19:341 – 349.
- Marar, K., Eren, Ö. and Çelik, T., 2001. Relationship between impact energy and compression toughness energy of high-strenght fiber-reinforced concrete. *Materials Letters*, 47:297 – 304.
- Marinkovic, S., Radonjanin, V., Malesev, M., and Ignjatovic, I., 2010. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Management*, 30:2255-2264.

- Martinez, I., Etxeberria, M., Pavon, E. and Diaz, N., 2013. A comparative analysis of the properties of recycled and natural aggregate in masonry mortars. *Construction and Building Materials*, 49:384 – 392.
- Matias, D., Brito, J. D., Rosa, A. and Pedro, D., 2013. Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates – influence of the use of superplasticizers. *Construction and Building Materials*, 44:101 – 109.
- Mazaheripour, H., Ghanbarpour, S., Mirmoradi, S., H. and Hosseinpour, I., 2011. The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, 25:351 – 358.
- Medina, C., Rojas, M. I. S. D. and Frias, M., 2012. Freeze-thaw durability properties of concrete using contaminated recycled aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 40:151 – 160.
- Mefteh, H., Kebaili, O., Oucief, H., Berredjem, L. and Arabi, N., 2013. Influence of moisture conditioning of recycled aggregates on the properties of fresh and hardened concrete. *Journal of Cleaner Production*, 54:282 – 288.
- Mindess, S. and Vondran, G., 1988. Properties of concrete reinforced with fibrillated polypropylene fibres under impact loading. *Cement and Concrete Research*, 18:109 – 115.
- Mindess, S. and Yan, C., 1993. Perforation of plain and fibre reinforced concretes subjected to low velocity impact loading. *Cement and Concrete Research*, 23:83 – 92.
- Mindess, S., Banthia, N. and Bentur, A., 1986. The response of reinforced concrete beams with a fibre concrete matrix to impact loading. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 8:165 – 170.
- Mohammadi, Y., Azad, R. C., Singh, S. P. and Kaushik, S. K., 2008. Impact resistance of steel fibrous concrete containing fibres of mixed aspect ratio. *Construction and Building Materials*, 23:183 – 189.
- Nataraja, M. C., Dhang, N. and Gupta, A. P., 1999. Statistical variations in impact resistance of steel fiber reinforced concrete subjected to drop weight test. *Cement and Concrete Research*, 29:989 – 995.
- Nataraja, M., C., Nagaraj, T., S. and Basavaraja, S., B., 2005. Reproportioning of steel fibre reinforced concrete mixes and their impact resistance. *Cement and Concrete Research*, 35:2350 – 2359.
- Nia, A. A., Hedeyatian, M., Nili, M. and Afroughsabet, V., 2012. An experimental and numerical study on how steel and polypropylene fibers affect the impact resistance in fiber reinforced concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 46:62 – 73.
- Nili, M. and Afroughsabet V., 2010. The effects of silica fume and polypropylene fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *Construction and Building Materials*, 24:927 – 933.
- Nili, M. and Afroughsabet, V., 2010. Combined effect of silica fume and steel fibers on the impact resistance and mechanical properties of concrete. *International Journal of Impact Engineering*, 37:879 – 886.
- Oikonomou, N.D., 2005. Recycled concrete aggregates. *Cement and Concrete Composites*, 27:315-318.

- Ölmez, E. ve Yıldız, Ş., 2008. İnşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi ve planlanan İstanbul modeli. Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sempozyumu.
- Öztürk, M., 2005. İnşaat Atıkları Yönetimi. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Padmini, A. K., Ramamurthy, K. and Mathews, M. S., 2008. Influence of parent on the properties of recycled aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 23:829 – 836.
- Pajak, M. and Ponikiewski, T., 2013. Flexural behaviour of self compacting concrete reinforced with different types of steel fibers. *Construction and Building Materials*, 47:397 – 408.
- Panda, K. C. and Bal, P. K., 2013. Properties of self compacting concrete using recycled coarse aggregate. *Procedia Engineering*, 51:159 – 164.
- Pelisser, F., Neto, A., B., S., Rovere, H., L. and Pinto, R., C., A., 2010. Effect of the addition of synthetic fibers to concrete thin slabs on plastic shrinkage cracking. *Construction and Building Materials*, 24:2171 – 2176.
- Petkovic, G., Mehus, J. and Myren, S. A., 2003. Recycled concrete aggregate durability aspects. Norway.
- Pizzol, V., D., Mendes, L., M., Frezzatti, L., Savastano, H. and Tonoli, G., H., D., 2014. Effect of accelerated carbonation on the microstructure and physical properties of hybrid fiber-cement composites. *Minerals Engineering*, 59:101 – 106.
- Poon, C. S., Kou, S. C. and Lam, L., 2002. Use of recycled aggregates in molded concrete bricks and blocks. *Construction and Building Materials*, 16:281 – 289.
- Poon, C. S., Shui, Z. H. and Lam, L., 2002. Strength of concretes prepared with natural and recycled aggregates at different moisture conditions. *Advanced in Building Technology*, Volume: 2
- Rahal, K., 2005. Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. *Building and Environment*, 42:407 – 415.
- Ramakrishna, G. and Sundararajan, T., 2005. “Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study. *Cement and Concrete Composites*, 27:547 – 553.
- Rao, A., Jha, K. N. and Misra, S., 2007. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources Conservation & Recycling*, 50:71 – 81.
- Rao, M., C., Bhattacharyya, S., K. and Barai, S., V., 2011. Behaviour of recycled aggregate concrete under drop weight impact load. *Construction and Building Materials*, 25:69 – 80.
- Richardson, A., Coventry, K. and Bacon, J., 2010. Freeze/thaw durability of concrete with recycled demolition aggregate compared to virgin aggregate concrete. *Journal of Cleaner Production*, 19:272 – 277.
- Soe, K., T., Zhang, Y., X. and Zhang, L., C., 2013. Impact resistance of hybrid fiber engineered cementitious composite panels. *Composite Structures*, 104:320 – 330.
- Song, P. S., Wu, J. C., Hwang, S. and Sheu, B. C., 2004. Assessment of statistical variations in impact resistance of high strength concrete and high strength steel fiber reinforced concrete. *Cement and Concrete Research*, 35:393 – 399.
- Song, P., S. and Hwang, S., 2004. Mechanical properties of high strength steel fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 18:669 – 673.

- Song, P., S., Hwang, S. and Sheu, B., C., 2005. Strength properties of nylon and polypropylene fiber reinforced concretes. *Cement and Concrete Research*, 35:1546 – 1550.
- Swamy, R., N. and Jojagha, A. H., 1982. Impact resistance of steel fibre reinforced lightweight concrete. *The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 4:209 – 220.
- Şimşek, O., Durmuş, G. ve Dayı, M., 2008. Geri dönüşümlü iri agregaların beton özelliklerine etkisi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakülte Dergisi*, 24:183 – 189.
- Şimşek, S., 1997. Lifli Beton Üzerine Bir Çalışma. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Tam, V. W. Y., Wang, K. and Tam, C. M., 2007. Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 152:703 – 714.
- Tıraş, H., H. 2012. Sürdürülebilir kalkınma ve çevre: teorik bir inceleme. Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- Topçu, İ. B. and Günçan, N. F., 1995. Using waste concrete as aggregate. *Cement And Concrete Research*, 25:1385 – 1390.
- Topçu, İ. B. and Şengel, S., 2003. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, 34:1307 – 1312.
- Toutanji, H., McNeil, S. and Bayasi, Z. 1998. Chloride permeability and impact resistance of polypropylene fiber reinforced silica fume concrete. *Cement and Concrete Research*, 28:961 – 968.
- Tüfekçi, M. M., 2011. Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uğurlu, A., 1999. Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLZ – 878, Ankara.
- Vieira, J. P. B., Correia, J. R. and Brito, J. D., 2011. Post-fire residual mechanical properties of concrete made with recycled concrete coarse aggregates. *Cement and Concrete Research*, 41:53 – 541.
- Wagih, A. M., El-Karmoty, H. Z., Ebid, M. and Okba, S. H., 2012. Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete. *Housing and Building National Research Center Journal*, 9:193 – 200.
- Wang, H., T. and Wang, L., C., 2013. Experimental study on static and dynamic mechanical properties of steel fiber reinforced lightweight aggregate concrete. *Construction and Building Materials*, 38:1146 – 1151.
- Wang, N., Mindess, S. and Ko, K., 1996. Fibre reinforced concrete beams under impact loading. *Cement and Concrete Research*, 26:363 – 376.
- Watanabe, K., Bangi, M., R. and Horiguchi, T., 2013. The effects of testing conditions (hot and residual) on fracture toughness of fiber reinforced high-strength concrete subjected to hightemperatures. *Cement and Concrete Research*. 51:6 – 13.
- Wilson, P., 1997. *The History of Recycling*. California Resources Agency, Department of Conservation.

- Xiao, J., Li, J. and Zhang, C., 2004. Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading. *Cement and Concrete Research*, 35:1187 – 1194.
- Xiao, Z., Ling, T. C., Kou, A. C., Wang, Q. and Poon, C. S., 2011. Use of wates derived from earthquakes for the production of concrete masonry partition wall blocks. *Waste Management*, 31:1859 – 1866.
- Xu, B., Toutanji, H., A. and Gilbert, J., 2011. Impact resistance of polyvinyl alcohol fiber reinforced high performance organic aggregate cementitious material. *Cement and Concrete Research*, 40:347 – 351.
- Yazıcı, Ş. ve Sezer, G. İ., 2008. Çelik Lifli Betonların Darbe Direncine Agrega Maksimum Boyutunun Etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14:237 – 245.
- Yazıcı, Ş., Arel, H. Ş. and Tabak, V., 2013. The effects of impact loading on the mechanical properties of the SFRCs. *Construction and Building Materials*, 41:68 – 72.
- Yıldırım, S., T. ve Ekinci, C., E., (2006). Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma Çözülme Etkilerinin Araştırılması. *Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilim Dergisi*, 18:359 – 366.
- Yıldız, S., (1998). Lifli Beton Boruların Dayanıklılık, Kırılma Performansı ve Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Doktora Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Yoo, D., Y., Shin, H., O., Yang, J., M. and Yoon, Y., S., 2014. Material and bond properties of ultra high performance fiber reinforced concrete with micre steel fibers. *Composites Part B*, 58:122 – 133.
- Zaharieva, R., Bodin, F. B. and Wirquin, E., 2004. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate. *Cement and Concrete Research*, 34:1927 – 1932.
- Zeynal, E., 2008. Çelik Lif ve S/Ç Oranlarının Çelik Lifli Betonların Darbe Mukavemetine ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Zhang, P. and Li, Q., 2013. Effect of polypropylene fiber on durability of concrete composite containing fly ash and silica fume. *Composites Part B: Engineering*, 45:1587 – 1594.
- Zheng, W., Li, H. and Wang, Y., 2013. Compressive and tensile properties of reactive powder concrete with steel fibres at elevated temperatures. *Materials & Design*, 41:403 – 409.

ÖZGEÇMİŞ

Erzurum ilinin Oltu ilçesinde, 1990 yılında doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Bursa'da tamamladı. Lisans öğrenimini ise 2006-2011 yılları arasında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamladı. 2012 yılı güz döneminde Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. Ayrıca Erzurum Teknik Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığı'nda inşaat mühendisi olarak 2011 yılından itibaren çalışmaktadır.