

**PREFABRİKE BETON ENDÜSTRİSİNDE
ATIK YÖNETİMİ VE GERİ DÖNÜŞÜM OLANAKLARI**

Selim KOCA

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2010

ANKARA

Selim KOCA tarafından hazırlanan “Prefabrike Beton Endüstrisinde Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Olanakları” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Öğr. Gör. Dr. Fulya A. Özmen
Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet Emin Tuna
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Prof. Dr. Gülseven Ubay Tönük
Şehir ve Bölge Planlama Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Öğr. Gör. Dr. Fulya A. Özmen
Mimarlık Anabilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Tarih: 16/07/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Selim KOCA

**PREFABRİKE BETON ENDÜSTRİSİNDE
ATIK YÖNETİMİ VE GERİ DÖNÜŞÜM OLANAKLARI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Selim KOCA

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2010**

ÖZET

Prefabrike beton endüstrisi, ülkemizde, tarihsel süreç içerisinde gelişim göstererek bir noktaya ulaşmıştır. Ancak sektörün geldiği bu noktanın, toplam inşaat sektörünün içindeki pay açısından dünya ortalamaları ile kıyaslandığında, oldukça geri kaldığı gözlemlenmektedir.

Endüstriyel bir inşaat uygulama şekli olan beton prefabrikasyon, yapı sektörü kadar, sanayi sektörünün de özelliklerini bünyesinde barındırır. Bu özelliği, sektörün gelişim sürecinde kalite kavramı ile dolayısıyla atık yönetimi kavramı ile sürekli ilişkide olmasını sağlamıştır. Diğer bir yandan, dünya çapında gelişen çevreye duyarlı yaklaşımlar, inşaat sektörü çerçevesinde de sürdürülebilirlik kavramı etrafında yer bulmaya başlamış, yapı ve yapı elemanlarının çevreci nitelikte olması, tasarım sürecinin önemli girdilerinden biri olmaya başlamıştır.

Bu nedenlerden ötürü, bu tez prefabrike beton endüstrisinin özellikle geri dönüşüm uygulamaları çerçevesinde sürdürülebilirlik ve kalite kavramları ile ilişkilerini, sektörün ülkemizde gelişimi amacı ile ele almış ve bu hedefe yönelik bulgular elde etmeyi amaçlamıştır. Bu hedef ışığında, öncelikle, beton prefabrikasyon sektörü için kalite kavramı

kapsamında çeşitli atık yönetimi uygulamaları önerilmiş ve bu uygulamaların ortaya çıkarabileceği atık azaltma kazanımlarından bahsedilmiştir. Tezin ilerleyen bölümlerinde, sektörün açığa çıkardığı atıkların geri dönüştürülerek, öncelikle sektör içerisinde olmak üzere geri kazanım olanaklarından bahsedilmiş, daha sonra ise dünya çapında ortaya çıkan atık malzemelerin sektör uygulamaları çerçevesinde hammadde olarak geri kazanım olanakları ve bu şekilde elde edilecek ürünlerin performansları değerlendirilmiştir.

Prefabrike beton endüstrisinde, atık yönetimi ve geri dönüşüm yaklaşımlarının hayata geçmesi, hem sektörün çevre karşısında olan sorumluluklarını yerine getirmesini, hem de ortaya çıkacak yeni yaklaşımlar sayesinde ticari ve yenilikçi kazanımlar elde etmesini sağlayacaktır. Bu durum, Türkiye'deki prefabrike beton endüstrisinin, inşaat sektöründeki payının dünya ortalamaları düzeyine çıkmasının sağlanabilmesine yardımcı olacaktır.

Bilim Kodu : 804.1.102

Anahtar Kelimeler : Prefabrikasyon, atık yönetimi, geri dönüşüm, beton

Sayfa Adedi : 133

Tez Yöneticisi : Öğr. Gör. Dr. Fulya ÖZMEN

**WASTE MANAGEMENT AND RECYCLING OPPORTUNITIES
IN PRECAST CONCRETE INDUSTRY**

(M. Sc. Thesis)

Selim KOCA

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2010

ABSTRACT

In Turkey, precast concrete industry has gained some amount of shares in construction market throughout the history, but this amount is still far from the international shares of the sector.

Precast concrete system, as an industrial construction type, has the characteristics of manufacturing disciplines as much as the construction domains. This feature enabled the industry to be in contact with quality procedures, therefore the waste management notions, within its development. On the other hand, the worldwide developing environmental policies have started to take place at construction sector and preference of sustainable construction methods became an important input for design processes.

In this conceptual framework, this thesis traces the relationship of precast construction industry with sustainability, especially with recycling attitudes and quality notions, for the development of precast industry in Turkey, and planned to reach findings for the mentioned purposes.

According to this aim, firstly, several waste management applications are suggested and the acquisitions gained by these procedures are mentioned. At the further parts of the thesis, the recycling opportunities of the solid wastes which are released by precast concrete industry are clarified, in the aim of recycling them primarily at the resource. Afterwards, the possibilities to recycle the world wide released solid waste materials as a feedstock for precast concrete productions are investigated and the performances of thus manufactured elements are evaluated.

As the waste management and recycling approaches take place in precast concrete applications, the industry will face its responsibility against environmental facts as well as the acquired commercial and progressive acquisitions. These features will be beneficial for the precast concrete sector in Turkey, in order to reach the global shares of the industry.

Science Code : 804.1.102

Key Words : Precast, waste management, recycling, concrete

Number of Pages : 133

Adviser : Ins. Dr. Fulya ÖZMEN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Öğr. Gör. Dr. Fulya ÖZMEN'e, uzun süren yüksek lisans eğitimim süresinde, sonuca ulaşabilmem için beni yüreklendiren dayım Prof. Dr. Aydın DALGIÇ'a ve değerli hocam Prof. Dr. Füsun DEMİREL'e, seminer jürisi ve tez savunma jürisinde çalıőmalarıma katkıda bulunma inceliğini gösteren Prof. Dr. Mehmet Emin TUNA ve Prof. Dr. Gülseven UBAY TÖNÜK'e, tüm eğitim sürecim boyunca verdiği destek ile her zaman hayatımı kolaylaőtıran ve gelmiş olduğum noktada en büyük katkıyı sağlayan babam Hayri KOCA'ya, beni her zaman destekleyen aileme ve özellikle hem sevgisi, sabrı ve manevi desteği, hem de akademik bilgisi ile devamlı yanımda olan eőim Y. Mimar Duygu KOCA'ya ve yürekten teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiii
RESİMLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
1. GİRİŞ	1
2. BETON PREFABRİKASYON VE ATIK YÖNETİMİ	6
2.1. Prefabrikasyon	6
2.1.1. Prefabrikasyon tanımı	6
2.1.2. Prefabrikasyonun tarihçesi.....	7
2.1.3. Prefabrikasyon sınıflandırmaları	8
2.1.4. Beton prefabrikasyon	9
2.1.5. Prefabrike beton imalat sisteminin avantajları	10
2.2. Kalite Bağlamında Atık Yönetimi Uygulamaları.....	12
2.2.1. Kalite tanımı	12
2.2.2. Kalite bağlamında atık yönetimi	13
2.2.3. Kalite yönetimi ile çevre yönetim sistemi ilişkisi	14
2.3. Sürdürülebilirlik Kapsamında Geri Dönüşüm	15
2.3.1. Sürdürülebilirlik tanımı	15

	Sayfa
2.3.2. Geri dönüşüm tanımı	16
2.3.3. Geri dönüşümün önemi.....	17
2.4. Prefabrike Beton Üretim Sisteminin Çevresel Avantajları ve Atık Yönetimi Uygulamaları	18
2.4.1. Prefabrike beton endüstrisinde atık yönetimi uygulamaları	19
2.4.2. Prefabrike beton endüstrisi ile geri dönüşüm kavramı ilişkisi.....	26
2.5. Türkiye'deki Prefabrike Beton Endüstrisinde Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Uygulamaları	30
2.5.1. Türkiye'deki prefabrike beton endüstrisinde atık yönetimi ile ilgili mevcut kanun ve yönetmelikler.....	32
2.5.2. Türkiye'deki prefabrike beton üretici firmalarının atık yönetimi ve geri dönüşüm yaklaşımları.....	33
3. PREFABRİKE BETON ENDÜSTRİSİNDE ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI.....	39
3.1. Beton Prefabrikasyonda Atık Maddeler ve Atık Madde Değerlendirme Sorunları	39
3.1.1. Mamul ürün atıkları	40
3.1.2. Yarı mamul ürün atıkları.....	41
3.1.3. Hammadde ürün atıkları	41
3.2. Atık Maddelerin Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Atık Yönetimi Uygulamaları	42
3.2.1. Prizini almış prefabrike beton atıklarının agrega olarak geri kazanımı	43
3.2.2. Prefabrike beton şerbeti atıklarının geri kazanımı	63
4. BETON PREFABRİKASYONDA HAMMADDE VE HAMMADDE OLARAK GERİ KAZANILABİLEN ATIK UYGULAMALARI	87

Sayfa

4.1. Prefabrike Beton Üretiminde Kullanılan Hammadde Malzemeler	88
4.2. Beton Prefabrikasyonda Hammadde Olarak Kullanılabilen Geri Dönüştürülmüş Malzemeler ve Kullanım Yöntemleri	88
4.2.1. Atık cam ürünlerinin prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı	89
4.2.2. Katı yakıt atıklarının prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı	96
4.2.3. Atık cam ürünleri ve katı yakıt atıklarının prefabrike beton endüstrisinde bir arada kullanılması yolu ile geri kazanımı	111
4.2.4. Plastik esaslı atıkların prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı	115
5. SONUÇ	123
KAYNAKLAR	128
ÖZGEÇMİŞ	133

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge		Sayfa
Çizelge 2.1.	Malzeme kazanımı ve açığa çıkan atık özeti - BISON durum çalışması	31
Çizelge 3.1.	AD ve AK sınıflandırması	67
Çizelge 3.2.	Fibra-filter sistemi, beton şerbeti atıkları arıtma deney sonuçları	85
Çizelge 4.1.	Karışım tasarımları ve dayanım değerleri özeti	99
Çizelge 4.2.	Geri kazanılmış bağlayıcı kullanılan beton 1 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına oranları	100
Çizelge 4.3.	Hazırlanan 12 küçük numunenin karışım oranları	105
Çizelge 4.4.	Kapsamlı testlere tabi tutulan beton karışımları	108

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Şekil 3.1.	Beton atıkların, beton içeriğinde kullanımı için agrega olarak geri kazanımı – Basit yöntem	47
Şekil 3.2.	Beton atıkların, beton içeriğinde kullanımı için agrega olarak geri kazanımı – Kompleks yöntem	49
Şekil 3.3.	Çimento esaslı harçların deney süresi - basınç dayanımı grafiği	61
Şekil 3.4.	Çimento esaslı harçların deney süresi - çekme dayanımı grafiği	62
Şekil 3.5.	Tipik çökeltme prosesi	70
Şekil 3.6.	Tipik döner vakum filtresi sistemi	71
Şekil 3.7.	Tipik santrifüj sistemi	72
Şekil 3.8.	Fibra-filtre, filtreleme ve boşaltma modları	84
Şekil 4.1.	Değişen miktarlardaki uçucu kül için çevresel performans değerleri	103
Şekil 4.2.	Değişen miktarlardaki uçucu kül için ekonomik performans değerleri	103
Şekil 4.3.	12 küçük numune - basınç dayanımı deney sonuçları	106
Şekil 4.4.	Kapsamlı testlere tabi tutulan 7 tip beton karışımının basınç dayanımı değerleri	109
Şekil 4.5.	TT döşeme plağı numunesi basınç dayanımı deney sonuçları	111

RESİMLERİN LİSTESİ

Şekil		Sayfa
Resim 3.1.	Pülverizatör eklentili ekskavatör tarafından betonarme blokların parçalanması	50
Resim 3.2.	Çeneli konkasör	51
Resim 3.3.	Titreşimli elek	52
Resim 3.4.	Bantlı konveyör	53
Resim 3.5.	Prekast boşluklu döşeme paneli, soğutucu olarak su kullanılarak boyutlandırma işlemi	64
Resim 3.6.	Bibko – Clarification System	81
Resim 3.7.	RWS Concrete Washer	82
Resim 3.8.	Bibko – Clarificationmachine	82
Resim 3.9.	Fibra-filter filtreleme sistemi ve paralel bağlanmış ikili arıtma sistemi	84
Resim 4.1.	Boşluklu cam küreler	94
Resim 4.2.	Yüksek düzeyde bağlayıcı ve %60 oranında uçucu kül içeren beton kullanılarak üretilen prekast menhol	109
Resim 4.3.	Yüksek düzeyde bağlayıcı ve %60 oranında uçucu kül içeren beton kullanılarak üretilen prekast TT döşeme plağı	110

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

£

İngiliz Sterlini

cfm

Cubic Feet per Minute

mmol/l

Millimoles per Liter

NTU

Nephelometric Turbidity Units

rpm

Revolutions per Minute

Kısaltmalar

Açıklama

ACI

American Concrete Institute

AD

Prefabrike boşluklu döşemelerin kesimi işlemi sonucunda açığa çıkan atık beton şerbeti

AK

Prefabrikasyon sektöründe kullanılan beton kovalarının yıkanması sonucunda açığa çıkan atık beton şerbeti

Ar-ge

Araştırma geliştirme

ASR

Alkali Silika Reaksiyonu

ASTM

American Society for Testing and Materials

BEES

The Building for Environmental and Economic Sustainability

BISON

Bison Concrete Products Limited

BS

British Standards

CLSM	Controlled Low Strength Materials
EN	European Norms
EAY	Entegre Atık Yönetimi
HVFA	High Volume Fly Ash
PET	Polietilen tereftalat
SISCOR	Spherical Industrial Solutions Corporation
TT	Twin-tee
USEPA	United States Environmental Protection Agency
WRAP	Waste Reduction Action Programme

1. GİRİŞ

Sanayileşme ve teknolojinin en üst düzeye geldiği günümüz koşullarında, bu iki olgunun daha önce öngörülemeyen, hesaplanamayan yansımaları Dünya üzerine olumsuz etki göstermeye başlamıştır. Söz konusu gelişmeler sonucunda çevre üzerinde meydana gelen yan etkiler, yeryüzünün geleceğine karşı göz ardı edilemez bir tehdit ortaya çıkarmıştır. Bu tehdit karşısında insanlık, yaşadığı çevreye karşı otomatik bir duyarlılık geliştirmiş ve çeşitli çevre koruma çalışmalarını uygulamaya koymuştur.

Teknolojik gelişim, etkilerini yapı sektöründe de göstermiş, bu gelişim ve değişimlerin hem olumlu hem de olumsuz etkilerinden, -diğer sektörler gibi- payını almıştır. Birçok yeni sanayi ürünü yapı malzemesi binaların bünyesinde yer almaya başlamış, geleneksel yapı malzemelerine göre, sunduğu üstün ve farklı özellikleri ile inşaat sektör sorumluları tarafından tercih edilip kullanılmaya başlanmıştır. Ancak ortaya çıkan bu yeni yapı malzemelerinin de, tüm yeni endüstri ürünleri gibi, üretim ve uygulama aşamalarında doğaya zararlı yönleri ortaya çıkmıştır. Tüm endüstriyel sektörlerde görüldüğü gibi, yapı sektöründe de ortaya çıkan çevreye zararlı uygulamalar karşısında toplum, yoğun olarak *sürdürülebilirlik* tanımı çerçevesinde çevre koruma çalışmalarını hayata geçirmiştir.

Yapı sektörünün gelişen, değişen sanayi ve teknoloji ile şekillenmesi özellikle Endüstri Devrimi sonrası hem yeni yapı malzemelerinin hem de yeni yapım teknolojilerinin gelişerek seri üretim sistemini yaygınlaştırmaya başlamıştır. Endüstriyel Devrim sonrası Le Corbusier, Walter Gropius, Auguste Perret gibi mimarlar tarafından prefabrikasyon denemeleri yapılmış olsa da bu sistemin yaygınlaşması İkinci Dünya Savaşı sonrasına denk gelir [Tokman ve Eryılmaz, 2004]. Türkiye’de ise Endüstri Devrimi’nin etkilerinin ortaya çıkması dünyadaki kadar hızlı olmamış, beton ve çimento üretimi dünyadaki üretim sürecinin son safhalarına yetişebilmiştir. Her ne kadar Cumhuriyetin ilk

yıllarında prefabrike beton bina örneklerine rastlanmış olsa da, prefabrikasyon teknolojisinin kullanıldığı ilk resmi yapılar 1960'lı yılların başlarında inşa edilmiştir (1961 yılında 225 adet okul binası, 1962 yılında 500 adet lojman) [Baytin ve Tokman, 1981]. 1960'ların sonlarına doğru prefabrikasyon uygulamaları yapı sektöründe, özellikle büyük ölçekli sanayi yapılarında kullanılmaya başlamıştır. Ancak, günümüz koşullarında prefabrike üretim sistemi gelişen yeni teknolojik uygulamalara ayak uydurarak, dünya ile aynı ilerleme ivmesini yakalayamamıştır. Yapılmış uluslararası ve ulusal araştırmalar, Türkiye'de prefabrike sistem ile üretilmiş yapıların, tüm inşaatlara oranının, dünyadaki değerlere göre, çok geride olduğunu göstermektedir. Türkiye Prefabrik Birliği tarafından yayımlanan, Prefabrikasyon dergisinin 2005 yılı sektörel raporuna göre; Avrupa Birliği ülkeleri içerisinde prefabrike beton yapı üretiminin toplam yapı üretimi içerisinde sahip olduğu pay %25-30 aralığındadır. Aynı oran Kuzey Avrupa ülkelerinde %40-50 gibi yüksek değerlere ulaşmaktadır. Avrupa Birliği aday ülkesi olan Türkiye'de ise bu oran %5-6 mertebelerindedir ki, bu değer Avrupa ortalamalarına göre de çok düşüktür [Polat ve Damcı, 2007]. Bu sonuçlar, Uluslararası Para Fonu tarafından gelişmekte olan ülkeler arasında listelenen ülkemizde [International Monetary Fund, 2009], prefabrikasyon üretim sisteminin zaman içerisinde gelişimini sürdürerek daha fazla tercih edileceği kanısını uyandırmaktadır. Bu noktada, prefabrike beton üretim sisteminin, toplam inşaat uygulamaları içerisinde aldığı uluslararası pay; sistemin en az diğer inşaat uygulamaları kadar fazla avantaja sahip bir yöntem olduğunu ve bu nedenle de tercih edildiğini göz önüne çıkarır. Betonarme, yapı malzemesi olarak, doğal içeriği ve üretim aşamaları göz önüne alındığında, diğer önemli strüktürel yapı malzemesi olan çeliğe göre, içeriği daha karmaşık ve geri dönüştürme konusunda daha fazla imkana sahip bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkmaktadır. Prefabrikasyon sektöründe devam eden ve süregelmesi beklenen gelişimler ile betonun daha çevreci bir yapı malzemesi olması olgusu; bu çalışmada *geri dönüşüm*

kavramının beton prefabrikasyon sektörü sınırları içerisinde araştırılması tercihinde önemli rol oynamıştır.

Prefabrike beton endüstrisi, ülkemizde, tarihsel süreç içerisinde dünya ortalamalarına yakın gelişim göstererek bir noktaya gelmiş, ancak bu gelişim bir süre sonra duraklayarak, günümüzde yatay bir seyre bürünmüştür. Bugün koşullarında sektörün geldiği noktanın, inşaat sektörünün içinde elde ettiği pay açısından dünya ortalamaları ile kıyaslandığında, oldukça geri kaldığı gözlemlenmektedir. Bu durumun, ekonomik, coğrafi ve beşeri nedenlerinin yanı sıra, en büyük nedeni ülkemiz sektör sorumluları tarafından araştırma ve geliştirme çalışmalarına yeterince değer verilmemesi olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum, ülkemizde, prefabrike beton endüstrisinin uzun süredir yatay bir gelişim göstermesinin en büyük nedeni olmakta ve sektörün dünya ortalamalarına erişmesi hususunda engel teşkil etmektedir.

Tüm bu kavramsal çerçeve içinde, bu araştırmanın öncelikli amacı prefabrike beton endüstrisi kapsamında yapılan uluslararası atık yönetimi ve atık geri kazanımı çalışmalarının tanımlanması ve bu doğrultuda elde edilen bulguların ülkemizdeki prefabrike beton endüstrisi uygulamalarında kullanımı için bir kaynak kitap oluşturmaktır. Ulusal kaynaklar bazında yapılan literatür taramasında konu ile ilgili ülkemizde yapılan akademik çalışmaların azlığı dikkat çekicidir. Aynı zamanda ülkemizde devlet ya da özel sektör yolu ile gerçekleşen beton prefabrikasyon atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları da küçük ölçekli birkaç uygulama haricinde yok denecek kadar azdır. Bu noktada, bu çalışmanın tanımlayacağı uygulamalar ve bu uygulamaların Türkiye'deki prefabrike beton endüstrisine uyarlanması hem gelecek bilimsel çalışmalara bir taban oluşturmak, hem de sektörün büyümesine yardımcı olmak için önemlidir.

Başka bir deyişle bu çalışma, yapı sektöründe endüstriyel bir üretim şekli olan prefabrike beton üretim sisteminin, çevreye olan olumsuz etkilerini

minimize eden atık yönetimi uygulamaları önermek ve geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı yolu ile günümüz koşullarında beton prefabrikasyon sektöründe, özellikle de ülkemizde, yeterince ele alınmamış olan çevre duyarlılığına, sağlanacak ekonomik avantajlar ve malzeme kullanımında çeşitlilik gibi unsurlar sunarak farkındalık geliştirmek ve bu avantajların sektör yararına kullanılmasını teşvik etmektir.

Çalışma çerçevesinde öncelikli olarak, beton prefabrikasyon sektörü ile atık yönetimi kavramının ilişkileri incelenecek, bu ilişkiler sonucunda sektörün mevcut avantajları yeniden gözden geçirilecektir. Daha sonra, beton prefabrikasyon sanayisi içerisinde gereksinim duyulan hammadde ve açığa çıkan tüm atık maddelerin geri dönüşüm olanakları analiz edilecek, mevcut hammadde malzemeler yerine geri kazanılmış hammadde malzeme kullanımı ve ortaya çıkan atık malzemelerin yeniden kullanım imkanları irdelenecektir. Geri dönüştürülmüş hammadde malzeme kullanımının, ekolojik avantajları dışında, beton prefabrikasyon endüstrisinde standart imalatların dışında kalan, yenilikçi yapı elemanı üretimi olanakları araştırılacaktır. Atık maddenin yeniden kullanılması konusu ise, öncelikle atığın beton prefabrikasyon üretim sahası dışarısına çıkmadan, tesis içerisinde geri dönüşümü hedefi ile incelenecektir. Bu şekilde, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarının, hem çevresel faydaları hem de ekonomik katkıları tetkik edilecek, sektöre katkıları araştırılacaktır.

Bu çalışmanın hazırlanmasında öncelikle sorunlu alanların ve konu başlıklarının tanımlanması için kaynak taraması yapılacaktır. Aynı yöntem, konu ile ilgili hazırlanan uluslararası öneriler, yaklaşımlar ve çalışmaların incelenmesi konusunda kullanılacaktır. Ülkemizde konu ile ilgili yapılan araştırmaların azlığı nedeni ile literatür taramaları yoğun olarak yurtdışı kaynaklı yayınlara yönlendirilecektir. Kaynak taramasının ardından, ortaya çıkan atık yönetimi ve geri kazanım olanakları sınıflandırılacak ve sınıflandırma sonucunda belirlenecek ana başlıklar altında sunulacaktır. Tüm

bu yöntemler ile elde edilen bulgular, tezin amacı doğrultusunda mimarlık ve yapı disiplinleri çerçevesinde değerlendirilecektir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, teze yön veren üç ana kavram ana hatları ile anlatılacak ve birbirleri ile ilişkilerine değinilecektir. Bu kavramlar sırası ile *Beton Prefabrikasyon, Atık Yönetimi ve Sürdürülebilirlik Kapsamında Geri Dönüşümdür*. Özellikle beton prefabrikasyon endüstrisindeki atık yönetimi olanak ve uygulama önerilerine ve prefabrike beton endüstrisinin geri dönüşüm uygulamaları ile ilişkilerine bu bölümde yer verilecektir.

Tezin üçüncü bölümü genel olarak beton prefabrikasyon sektörü tarafından açığa çıkan atıklar üzerine kurulmuştur. Bu bölümde sektör atıkları sınıflandırılarak anlatılacak ve bu atıkların, öncelikle beton prefabrikasyon sektörü içinde geri dönüşümü üzerinde olmak üzere, tüm olası geri dönüşüm yöntemleri özetlenecektir.

Bu çalışmanın dördüncü bölümünde ise, beton prefabrikasyon sektörüne hammadde oluşturabilecek geri kazanılmış katı atık malzeme araştırmaları sunulacaktır. Bu malzemelerin kullanımı yolu ile elde edilecek yenilikçi prefabrike yapı elemanlarının özellikleri ve performans değerleri irdelenecek ve söz konusu uygulamalar, standart imalat yöntemleri ile kıyaslanacaktır.

Tezin beşinci bölümü sonuç bölümü olup, bu bölümde çalışma kapsamında elde edilen genel sonuçlar özetlenecektir. Tez araştırmaları sonucunda ortaya çıkan ve tezin geneli içerisinde yer bulmayan genel sonuçlar, tez çalışma konusu ile ilgili gelecekte yapılacak akademik ve endüstriyel uygulamalara yönelik öneriler bu bölümde sonuçlandırılacaktır. Ayrıca tezin genel yapılanması ve belirli bir sektör temelinde sınırlandırılarak hazırlanmış bir akademik çalışmanın ortaya çıkarabileceği olumlu sonuçlardan da bu bölümde bahsedilecektir.

2. BETON PREFABRİKASYON VE ATIK YÖNETİMİ

Bu çalışmanın amacı, giriş bölümünde de bahsedildiği gibi, beton prefabrikasyon sisteminde, çevreye duyarlı yaklaşımların araştırılması ve ortaya çıkacak kalite kavramı kapsamındaki atık yönetimi ve imalat yönetimi ile elde edilecek geri kazanım uygulamalarının, beton prefabrikasyon endüstrisinin gelişimi için derlenmesidir. Bu bölümde, bahsi geçen amaç çerçevesinde, tez konusunun ana hattı olan beton prefabrikasyon, kalite, atık yönetimi, sürdürülebilirlik ve geri dönüşüm kavramları tanımlanacak ve bu kavramların birbirleri ile ilişkileri irdelenecektir.

2.1. Prefabrikasyon

2.1.1. Prefabrikasyon tanımı

Şantiye dışındaki inşaat aktiviteleri; imalatın, ürünün kullanılacak olduğu saha dışında üretilmesi yöntemi ile meydana çıkar. Bu tip üretim yapan tesislerin kurulması ve montaj imkanlarının gelişmesi sonucunda, konvansiyonel üretim yöntemlerine kıyasla, birçok avantajı olan bir inşaat sistemi ortaya çıkmıştır. Bu sistem, “prefabrikasyon” ya da “prekast üretim sistemi” olarak adlandırılmıştır [Mtech Consult Limited, 2008].

1947 yılında Fransa’da *Union Syndicale de la Prefabrication*’un kuruluşu sırasında prefabrikasyon şöyle tanımlanmıştır [Hasol, 1967]:

“Kullanma amacına göre dayanım, görünüm, ikamete uygunluk, konfor, süre ve en az bakım yönlerinden olağan koşullara yeterli şekilde yanıt verebilecek tutarlı bir yapım sistemi meydana getirmek üzere, elemanlarının çoğunluğu atölyede modern endüstriyel yöntemlerin duyarlılığı ile ve seri halinde imal edilmiş olan yapı çeşidi prefabrikasyon olarak kabul edilir.”

Doğan Hasol ise prefabrikasyonu kısaca:

“Şantiye çalışmalarının imkan ölçüsünde fabrika çalışması şekline getirilmesi ve yapı elemanlarının bir araya getirilmesi suretiyle inşaat”

olarak tanımlar [Hasol, 1967].

Tüm bu tanımlamaların yanı sıra prefabrikasyonu, yapıyı oluşturan ana elemanların (kolon, kiriş, duvar, döşeme vs.) fabrikada üretildikten sonra, şantiyeye taşınıp bir araya getirilmesini içeren bir yapım tekniği olarak da tanımlayabiliriz [Aydemir, 2005].

2.1.2. Prefabrikasyonun tarihçesi

Prefabrike üretim yöntemleri, döşeme panelleri imalatından yüksek katlı bina inşaatlarına kadar çok geniş bir aralıkta, gerek sistem kurulumu, gerekse sadece sistemin bir parçasının tedarikine yönelik olarak yüz yılı aşkın bir süredir kullanılmaktadır. Modern İnşaat Yöntemleri (*Modern Methods of Construction – MMC*) arasında gösterilen prefabrikasyon sisteminin önemi 90’lı yılların ortasına doğru daha fazla algılanmaya başlanmıştır. Bu gelişmeler, en fazla mesken inşaatı üzerine çalışan şirketlerin, hafif inşaat sistemleri ile şantiye dışındaki imalat yöntemlerini bir araya getirme çalışmaları ile ortaya çıkmıştır [Mtech Consult Limited, 2008].

Eski çağlarda kilin kalıplara dökülerek tuğla şeklinde kullanılması ve 1849 yılında Monier tarafından üretilen betonarme çiçek saksıları prefabrikasyonun en ilkel şeklidir. Standardizasyon ve seri üretimin ilk ve en önemli örneği 1850’de Londra’da kurulmuş olan *Crystal Palace* binasıdır. 1891 yılında Fransa Biarritz’de bir yapıda prefabrike betonarme kirişler kullanılmış, 1900 yılında ise Amerika’da prefabrike betonarme çatı plakları ilk kez uygulanmıştır. New Village Amerika’da 1909’da bir endüstri binasının bütün bileşenleri, şantiyede prekast elemanlar ile gerçekleştirilmiştir. 1930’lu yıllara gelindiğinde Almanya’da öngerilmeli prefabrike çatı plakları ve kirişler üretilmiş, Moskova’da ise prefabrike bileşenli konut üretimi

gerçekleştirilmiştir. Prefabrikasyon, İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra ortaya çıkan konut sorununun çözümüne yardımcı olmak üzere Fransa, Hollanda, Danimarka gibi Avrupa ülkelerinde ve Rusya'da hızla gelişmiş, standartlaşma sayesinde de konut sorunu kolaylıkla aşılmıştır [Aydemir, 2005].

Prefabrikasyonun ülkemizdeki tarihi gelişimi ise Endüstri Devrimi'nin Osmanlı İmparatorluğuna olan yansımalarının etkisi ile uluslar arası uygulamalara göre oldukça geç ortaya çıkmıştır. İmparatorluk yönetimi, Endüstri Devrimi sonucunda yaşanan gelişmeleri benimsemekte başarılı olamamış; bu nedenle de çimentonun ülkemize üretimi ve yaygınlaşması geç kalmıştır. Anadolu'daki ilk betonarme uygulamalar 1915 – 1920 yılları arasında inşa edilmiştir. Çimento ve betonun yapı üretiminde benimsenmesindeki gecikmeye bağlı olarak ülkemizde beton prefabrikasyonun teknolojisinin kullanılması da geç kalmıştır. Türkiye'deki ilk beton prefabrikasyon uygulamaları konusunda elimizde fazla bir belge bulunmamakla birlikte, 1937 yılında Sedat Süverir'in "Küçük Yozgat Nitro Gliserinli Barut Fabrikası"nın çatısında kullandığı elemanlar ve 1940'lı yıllarda çeşitli direk ve boru uygulamaları, ülkemizdeki ilk beton prefabrikasyon örnekleri olarak kabul edilirler. Türkiye'de resmi olarak kayıtlı ilk prefabrike beton inşaat uygulamaları ise; 1961 yılında, 10 farklı il sınırları içerisinde inşa edilen toplam 225 adet ilkokul binası ile 1962 yılında üretilen ve halen kullanılmakta olan Ereğli Demir ve Çelik Fabrikası lojmanlarıdır [Tokman ve Eryılmaz, 2004].

2.1.3. Prefabrikasyon sınıflandırmaları

Prefabrike yapı elemanları, kullanılan yapı malzemesine göre temel olarak dörde ayrılır. Bu yapı malzemeleri:

1. Betonarme
2. Çelik

3. Ahşap
4. Karma yapı malzemesi kullanılan sistemlerdir.

Yapı bütünü oluşumuna strüktürel sistem ışığında bakıldığında ise prefabrike sistemler;

1. Çubuk – Çubuk elemanlar ile oluşturulmuş sistemler
2. Çubuk – Panel elemanlar ile oluşturulmuş sistemler
3. Panel – Panel elemanlar ile oluşturulmuş sistemler
4. Hücre elemanlar ile oluşturulmuş sistemler

olarak sınıflandırılabilir.

2.1.4. Beton prefabrikasyon

Prekast beton elemanlar, köprü ve stadyum gibi büyük ölçekli inşaatlardan, mütevazı boyuttaki konut inşaatlarına kadar; strüktürel, dekoratif ve altyapı elemanları olarak tüm dünyada yoğun olarak uygulanmaktadır. Beton prefabrikasyon sistemi, Dünya çapında en yoğun olarak kullanılan prefabrike üretim tekniğidir. Prefabrike beton üretim tesisleri yıllık 35 000 000 ton yapı elemanı üretirler. Bu ürünler daha çok aşağıda listelenen fonksiyonlara sahip bina inşaatlarında kullanılırlar [Mtech Consult Limited, 2008]:

- Konut inşaatları (özellikle döşeme plakları)
- Stadyum inşaatları
- Sanat yapıları (yollar, demiryolları, köprüler, atık su sistemleri)
- Yüksek katlı yapılar
- Hastane inşaatları
- Ticari ve endüstriyel tesis inşaatları

Diğer prefabrike üretim yöntemlerinin aksine, prefabrike beton imalat sistemi özel olarak tasarlanmış standart kalıpların kullanımına dayanmaktadır. Standardizasyonun önemi; boşluklu döşeme panellerinde olduğu gibi değişik kesitlerdeki elemanların projeye göre kesilerek boyutlandırılması ya da köprü kirişi gibi elemanlarda olduğu gibi, hazır standart kalıplarda kapak boyutlarını ayarlanması gibi yöntemler ile aynı kalıp kullanılarak farklı projeler için imalat yapma imkanı olarak ortaya çıkar. Standardizasyonun ve eleman tekrarının artması, kalıp ve işçilik maliyetlerinin azalması yolu ile proje maliyetinin düşmesini sağlar.

2.1.5. Prefabrike beton imalat sisteminin avantajları

Diğer prefabrikasyon yöntemleri gibi, beton prefabrikasyonu da; daha verimli inşaat süreci, geliştirilmiş inşaat iş programı, daha iyi maliyet kontrolü ve daha kaliteli ürün imalatı gibi avantajların ortaya çıkmasını sağlar. Ayrıca, üretim prosesinin yapısı nedeni ile beton prefabrikasyon sistemi, malzeme sarfiyat miktarının düşürülmesi ve şantiye sahasındaki atık miktarının azalması gibi avantajlar sunar.

Prefabrike beton imalat sisteminin temel avantajları aşağıda özetlenmiştir [Bakır, 1990, Küçüker, 2006, Mtech Consult Limited, 2008]:

1. Standart ve tekrarlanan elemanların kullanım olanakları ile endüstriyelleşme sağlanmaktadır.
2. Prefabrike üretim sisteminde malzemedен ve enerjiden tasarruf sağlanmakta ve imal edilen yapının daha hızlı bir sürede işletmeye açılmasına imkan sağlanmaktadır.
3. Yapının inşa sürecinde, coğrafi ve topografik şartlar, konvansiyonel yöntemlere göre daha az etkilidir. Mevsim şartlarından etkilenmeden imalat ve montaj yapılabildiği için inşaat süresi çok kısadır.

4. Tecrübeli çalışanların işgücü ve teknolojik ekipmanların kullanılması ve seri üretim uygulamalarının avantajları sayesinde üretim süresi azaltılmaktadır.
5. İstenildiği takdirde desenli ve işlemeli yüzeyler, düzgün yüzeyler gibi kısa sürede ve ekonomik olarak imal edilebilmektedir.
6. Prefabrikasyon, şantiyede klasik yöntemlerle iş yapmaya nazaran daha fazla kalite şartlarını sağlamayı garanti eden bir düzendir. Prefabrike elemanlar sıkı bir kalite kontrolünden geçirilebilmekte, olabilecek hatalar en aza indirilebilmektedir.
7. Sanayi tesislerinin kalite prosedürleri sayesinde, kullanılan temel hammaddeler, çeşitli kalite testlerinden geçirilir. Bu şekilde dayanımı yüksek çelik ve çimento kullanımı sağlanır ve yüksek dayanımlı betonarme elemanlar oluşturulabilir.
8. Kalite kontrol prosedürleri sayesinde konvansiyonel yöntemlere göre daha kaliteli sonuç ürün elde edilir.
9. Üretimin yanı sıra stoklama, nakliye ve montaj sırasında da kaliteye yönelik gerekli testler uygulanmaktadır.
10. Gerektiğinde öngörilmeli elemanların kullanılabilmesi sayesinde geniş açıklıkların ekonomik, esnek ve verimli olarak geçilmesine olanak sağlamaktadır.
11. Birleşim bölgelerinde gerekli olmaları halinde çelik birleşim elemanları kullanılabilmekte ve bunlar fabrika ortamında elemanlara kolayca ve istenildiği gibi tespit edilebilmektedir.
12. Şantiye sahasına yapılacak malzeme nakliyesi miktarı, dolayısı ile de trafik ve trafik yükü denetimini azalır.
13. Kısa montaj süresi vardır.
14. Şantiyede ihtiyaç duyulabilecek üretim alanının azalmasını sağlanmaktadır.
15. Şantiye yönetimi üzerindeki yük hafifleyerek, şantiye organizasyonunun kolaylaşmasını sağlanmaktadır.

16. Konvansiyonel inşaat uygulamalarında ihtiyaç duyulan iskele ve kalıp sistemlerini ortadan kaldırılabilmektedir.
17. Konvansiyonel şantiye imalatları sırasında ortaya çıkabilecek iş güvenliği sorunları minimize edilir.
18. Montajdan sonra yapı ömrü boyunca bakım ve onarım gereksinimleri azdır.

2.2. Kalite Bağlamında Atık Yönetimi Uygulamaları

2.2.1. Kalite tanımı

TS EN ISO 9001 kalite yönetim sistemi dokümanında kalite tanımı:

“Kalite, bir ürün veya hizmetin belirlenen veya olabilecek ihtiyaçları karşılama kabiliyetine dayanan özelliklerinin toplamıdır. Yapısal özellikler takımının şartları yerine getirme derecesi.”

olarak yapılmıştır. Aynı dokümanda bahsedilen ve Juran tarafından yapılan basit tanıma göre kalite, kullanıma uygunluk, Crosby tarafından yapılan basit tanıma göre ise kalite, şartlara uygunluk, olarak tanımlanmıştır [Türk Standartları Enstitüsü, 2010].

Garvin stratejik analiz için çerçeve görevi görececek kalitenin sekiz önemli boyutunu ya da kategorisini aşağıdaki başlıklar üzerinden önerir [Garvin, 1996]:

- Performans
- Özellikler
- Güvenilirlik
- Uygunluk
- Dayanıklılık
- Servis imkanları

- Estetik
- Algılanan kalite

2.2.2. Kalite bağlamında atık yönetimi

20. yüzyılın ortalarına kadar nüfus yoğunluğunun az, atıkların bertaraf edilmesi için ihtiyaç duyulan alanın yeterince fazla olması nedeni ile katı atıklar ciddi sorunlar yaratmamıştır. Bu dönemde birçok bulaşıcı hastalığın kontrolünde, katı atıkların sağlıklı bir şekilde toplanması ve bertaraf edilmesinin önemi fark edilmemiştir [Kamil B. Varınca, 2010]. Ancak günümüzde, özellikle büyük şehirlerde, nüfus yoğunluğunun, dolayısı ile de atık yoğunluğunun artması ve atık boşaltma sahalarının azalması; çevresel, toplumsal ve ekonomik problemlerin baş göstermesine neden olmuştur. Bu nedenle de, söz konusu atıkların kontrolü ihtiyacı ortaya çıkmıştır.

Atık yönetimi terimi, son yıllarda oldukça sık kullanılan ancak tanımı yeterince yapılmamış bir yönetim şeklidir. Atık oluşumunu azaltarak atık kaynaklarının dikkatli bir şekilde yönetimini sağlamak etkin bir atık yönetiminin başlıca amacı olmalıdır. Her ne kadar atık miktarının azaltılması faydalı bir atık yönetimi sisteminin önemli aşamalarından birini oluştursa da, bu atıkların ele alınması mutlaka atık yönetiminin dikkat edilmesi gereken önemli bir parçasıdır. Atık yönetimi olgusunda amaç, bu atıkların çevresel ve ekonomik yüklerinin minimize edildiği bir sistem içinde yönetimi olmalıdır [Kayıhan, 2006]. Atık yönetimi sistemi, atıkların nihai bertarafının çevreye bıraktığı zararı en aza indirmek için en son teknik bilgileri kullanır.

Entegre atık yönetimi (EAY), atık yönetimini bir bütün olarak ele almakta ve bu bütünün amaç ve hedeflerini belirlemektedir. EAY, bu açıdan atık yönetiminin amacını hem çevresel hem de ekonomik açıdan sürdürülebilirliğin sağlanması olarak tanımlamaktadır [Kayıhan, 2006]. EAY, belli bir atık yönetimi hedefine yönelik olarak gerekli uygun yöntem, teknoloji

ve yönetim programlarının seçilmesi ve bunun üretim sürecine adapte edilerek uygulanması olarak da tanımlanabilir. EAY aynı zamanda ilgili yasal mevzuatta öngörülen hususların sağlanmasının da kapsar [Kamil B. Varınca, 2010].

Günümüzde EAY için başlıca altı esas stratejinin uygulanması öngörülmektedir. Bunlar aşağıdaki başlıklarda sıralanmışlardır.

- Atık önleme
- Atık azaltma
- Yeniden kullanım
- Geri dönüşüm
- Enerji geri kazanma
- Bertaraf

2.2.3. Kalite yönetimi ile çevre yönetim sistemi ilişkisi

Kalite yönetimi; hammadde aşamasından başlayarak, işletmeye girdi sağlayan yan sanayileri, müşteri şikayetleri ve satış sonrası hizmetleri de içine alarak sıfır hataya ulaşmayı hedefleyen bir süreçtir [Çetin ve ark., 2001].

Kalite yönetimi, alt başlıklar halinde incelendiğinde; sürdürülebilir kalkınma için, etkin bir çevre yönetiminin gerekli olduğu üzerinde durmaktadır. Çevre ahlakı, toplam kalite yönetiminin temel boyutlarından birini oluşturmaktadır [Aktan, 2003].

Çevre yönetimi ise, hammadde tüketiminden başlayarak, üretimde çıkan atıkların kontrolüne ve bu amaçla tedarikçilerin ve taşeronların eğitilmesine kadar yönetim sürecini bütünsel bir şekilde yönetmeye odaklanır.

Kalite değer yaratmak için gereken bir koşuldur. Kalite üzerinde yapılan iyileştirme çalışmalarının amacı da değer yaratmak olmalıdır. Çevresel bütünlük kaliteye yönelik en önemli değerlerden biridir. Bu nedenle ürün, hizmet ve süreçlerin çevreye verdikleri zarar, onların düşük kaliteli olarak değerlendirilmesine neden olur. Çevresel bütünlüğü koruma düşüncesi çevresel kalite anlayışını ortaya çıkarmıştır. Çevresel kalite, hem yeni ürün ve süreçlerin tasarlanmasında, hem de mevcut üretim sürecinin iyileştirilmesinde temel alınması gereken bir anlayıştır.

Tüm bu ihtiyaçlar ışığında *Toplam Çevresel Kalite Yönetimi* başlığı altında bir kavram ortaya konmuştur. Bu kavram, firma içerisindeki tüm fonksiyonların ve seviyelerin katılımı yoluyla, proseslerin ve ürünlerin çevre ile ilgili kalitesinin sürekli iyileştirilmesi olarak tanımlanmaktadır [Çorlu, 2006].

2.3. Sürdürülebilirlik Kapsamında Geri Dönüşüm

2.3.1. Sürdürülebilirlik tanımı

World Commission on Environment and Development sürdürülebilirliği “bu günün gereksinimlerinin, gelecek nesillerin kendi gereksinimlerini giderme yetisini tehlikeye atmadan karşılama becerisi” olarak tanımlamıştır.

Sürdürülebilirlik yaklaşımının temel amacı çevrenin bozulma sürecini durdurmak ve geri çevirmek için gerekli önlemlerin neler olduğunun ortaya konması ve her alandaki insan eylemlerinin bu amaç doğrultusunda yeniden düzenlenmesidir. Sürdürülebilirlik kavramı, yaşamın her alanına etki eden çok kapsamlı ve bütüne yönelik bir yaklaşım olarak; siyasal, kültürel ve toplumsal hareketler ile karşılıklı etkileşim içinde, gelişmeye ve değişmeye devam etmektedir.

Yapı sektörü, ilk önceleri çevresel anlamda, özellikle enerji bağlamında sınırlı kaynaklarla nasıl yaşayabileceğini arayan enerji tasarrufu ve güneş mimarisi konuları ile uğraşmıştır. Gelişen sürdürülebilirlik anlayışı ile birlikte yapı üretimi ve kullanımı sürecinin çevre üzerindeki olumsuz etkilerinin nasıl azaltılabileceği konularını tartışan yapı sektöründe, son on yıldır, yapı malzemesi, bileşenleri, yapım teknolojileri ve enerji tabanlı tasarım yaklaşımları tartışılmaktadır [Sakinç, 2006]. Bu yaklaşımlar neticesinde elde edilmesi planlanan sürdürülebilir yapı, yapay ve doğal çevre üzerinde en az olumsuz etkiye sahip, kendisi ve yakın çevresi açısından ekonomik, sosyal ve çevresel etkinliği yüksek olan ve yapı üretimi sürecini geniş kapsamlı bir bütünsellik içinde değerlendiren uygulama olarak da tanımlanabilir [Agenda, 1999].

2.3.2. Geri dönüşüm tanımı

Geri dönüşüm, terim olarak, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli yöntemleri ile hammadde olarak tekrar imalat süreçlerine kazandırılmasıdır. Tüketilen maddelerin yeniden geri dönüşüm halkası içine katılabilmesi ile öncelikle hammadde ihtiyacı azalır. Böylece insan nüfusunun artışı ile paralel olarak artan tüketimin doğal dengeyi bozması ve bu şekilde doğaya verilen zarar engellenmiş olur. Bununla birlikte yeniden dönüştürülebilir maddelerin tekrar hammadde olarak kullanılması büyük miktarda enerji tasarrufunu mümkün kılar.

Uzun vadeli geri dönüşüm, yeniden kullanım ve yenileme stratejileri, ekonomi ve işsizlikle mücadele, alanların faydalı kullanımı, enerji kullanımı ve hava - su kirliliği ile mücadele açısından olumlu sonuçlar vermektedir [Chitra, 2005].

2.3.3. Geri dönüşümün önemi

National Council on Public Works Improvement 1988 yılında yayınladığı raporunda, katı atık krizini, ciddi iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç duyan bir sorun olarak nitelendirmiştir. Bu sorun hem çevresel hem de ekonomik açıdan önem arz etmektedir. Katı atıkların depolandığı atık sahaları, özellikle büyük şehirlerde tükenmekte olup, atık elden çıkarma işlemi de bu nedenle yüksek maliyetli bir uygulama halini almıştır [Rebeiz ve ark., 1991]. Bu olumsuz tablo, geri dönüşüm uygulamalarının günümüzde önem arz etmesinin en büyük nedenidir. Geri dönüşümün hayata geçmesi sayesinde ortaya çıkacak önemli kazanımlar aşağıda özetlenmiştir [Coşkun, 2007]:

1. Geri dönüşüm doğal kaynaklarımızın korunmasını sağlar. Doğal kaynaklarımız dünya nüfusunun artması ve küreselleşen ekonomik düzen nedeni ile tüketim alışkanlıklarının değişmesi sonucunda her geçen gün azalmaktadır. Bu nedenle malzeme tüketimini azaltmak ve değerlendirilebilir nitelikli atıkları geri dönüştürmek sureti ile doğal kaynakların korunması zorunludur. Geri dönüşüm hem doğal kaynaklarımızın korunması ve hem de verimli kullanılması için son derece önemli bir işlemdir.
2. Geri dönüşüm uygulamaları sayesinde enerji tasarrufu sağlanır. Geri dönüşüm, mamul malzeme ya da hammadde malzeme üretiminde, endüstriyel işlem sayısını azaltmak suretiyle enerji tasarrufu sağlanmasına önemli katkıda bulunur. Örneğin; metal içecek kutularının, geri kazanım prosesinde toplanan atık metaller direkt olarak eritilerek yeni ürün haline dönüştürülür. Bu şekilde içecek kutusu imalatı için gerekli metallerin üretimi için kullanılan maden cevherindeki enerji sarfiyatı, bu cevherin saflaştırılma işlemlerinde gereksinim duyulan enerji olmadan üretim gerçekleştirilebilmektedir. Bu şekilde bir alüminyum kutunun geri dönüşümü sonucunda elde edilen enerji tasarrufu %96 oranındadır. Benzer şekilde katı atıklar arasından ayrıştırılan kağıdın geri

kazanımı için gerekli olan enerji normal kağıt endüstrisi için gerekli olanın %50'si kadardır. Bahsi geçen katı atıklar gibi, cam ve plastik atıkların da geri dönüşümünden önemli oranda enerji tasarrufu sağlanabilir.

3. Geri dönüşüm artık miktarının azalmasına yardımcı olur. Geri dönüşüm uygulaması sayesinde çöp alanlarına giden nitelsiz atık miktarında azalma sağlanır ve bu şekilde söz konusu atıkların taşınması ve depolanması için daha az miktarda alan ve daha az miktarda enerji kullanılmış olur.
4. Geri dönüşüm geleceğe ve ekonomiye yatırım demektir. Geri dönüşüm uzun vadede çok verimli bir ekonomik yatırımdır. Hammaddenin azalması ve doğal kaynakların hızla tüketilmesi sonucunda, günümüzde çoklukla bulunan kaynaklar ortadan kalkacaktır. Bu nedenle bahsi geçen doğal kaynaklar daha da değerlendirilecek, dolayısı ile fiyatları artacaktır. Bu nedenle ortaya çıkacak ekonomik problemler, geri kazanım uygulamaları sonucunda doğal kaynakların korunması yolu ile engellenebilir ve gelecek kuşakların doğal kaynaklardan daha fazla yararlanma olanağı sağlanabilir.

2.4. Prefabrike Beton Üretim Sisteminin Çevresel Avantajları ve Atık Yönetimi Uygulamaları

Şantiye sahası dışında gerçekleştirilen imalat yöntemleri, inşaat sektöründe giderek daha fazla talep gören bir konuma gelmektedir. Bu imalat yöntemi; yüksek inşaat kalitesi, maliyet kontrolü, kısa imalat süreci gibi avantajlarının yanı sıra, sistemin doğası gereği çevre duyarlı bir yöntemdir. Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi, beton prefabrikasyon sisteminin en önemli avantajlarından biri, endüstriyel bir yapı sistemi olması nedeni ile kalite prosedürlerine göre imalat yapma alışkanlıklarına sahip olması ve böylece atık yönetimi uygulamalarını da bünyesinde barındırmasıdır. Bu avantajının yanı sıra, prefabrike beton üretim prosesinin özellikleri sayesinde geri

kazanılmış malzemeyi hammadde olarak kullanmaya ya da atıklarını geri kazanmaya uygun özellikler gösterir.

2.4.1. Prefabrike beton endüstrisinde atık yönetimi uygulamaları

Beton prefabrikasyon yöntemi ile üretilen strüktürel ve dekoratif elemanlar, demiryolu traverslerinden, köprü inşaatı elemanlarına; konut projelerinden, stadyum inşaatlarına kadar birçok alanda yoğun kullanım olanaklarına sahiptir.

Scott T. Shepherd konvansiyonel bir inşaatla açığa çıkan katı atıkların bertaraf yöntemleri ile ilgili yazdığı makalede prefabrike sistem ve atık salınımı arasındaki ilişkiyi şu şekilde kurar [Shepherd, 2006]:

“İnşaat artığını değerlendirmenin en iyi yolu daha az inşaat malzemesi kullanmaktır. Panel şeklinde yapı elemanları, strüktürel yalıtımlı paneller ve modüler sistemler, prefabrike oldukları için şantiyede daha az atık salınımını sağlarlar.”

Bu yaklaşım, konvansiyonel sistem inşaat uygulaması yapılan şantiyenin, atık yönetimi uygulamalarında avantajlı bir seçim oluştururken, prefabrike üretim sistemlerinin çevre politikalarının üzerine ekstra bir yük oluşturmaktadır. Bu nedenle prefabrikasyon üretimlerinde göz önüne alınan atık yönetimi uygulamaları, Shepherd'ın yaklaşımını kullanan inşaat disiplinlerinin de dolaylı olarak, *daha az katı atık açığa çıkarma* yöntemlerinden biri olarak ele alınabilecektir.

Prefabrike üretim sisteminin, doğası gereği, şantiye sahasındaki atık miktarının azaltılmasına katkıda bulunduğu bir gerçektir. İngiltere'de kurulan Waste Reduction Action Programme (WRAP) İngiltere'de devlet eli ile kurulmuş bir çevre koruma programıdır. WRAP kapsamında İngiltere'de yapılan araştırmalar, prekast beton ürün kullanımının, konvansiyonel

yöntemlerle yapılan inşaatlara göre, şantiye sahasındaki atık miktarını %50 oranına kadar azalttığı sonucunu vermektedir.

Prekast betonun ve prefabrike inşaat metotlarının özellikleri, çoğu zaman üreticilere standardizasyon imkanı verir ve bu sayede daha önce hazırlanmış özel kalıplar sayesinde, sadece kalıplara bakım yaparak, sonsuz sayıda yapı elemanı üretimi olanağı ortaya çıkarır. Bunun yanı sıra prefabrike üretim süreci, şantiye sahasında gereksinim duyulacak iskele, kalıp ve kalıp destek sistemleri ihtiyacını ortadan kaldırarak, bu yöntemlerin kullanımı sonucunda ortaya çıkabilecek atıkların, zaman kaybının, sağlık ve güvenlik sorunlarının meydana gelmesine engel olur.

Prefabrike beton imalat tekniği, dış çevrenin iklimsel doğa etkilerinden zarar görmemesi, beton santrali ile üretim alanı arasında mesafe olmaması gibi özellikleri sayesinde; şantiyede yapılacak imalatlar ile kıyaslandığında, ortaya çıkacak kayıp ve atık malzeme miktarının önemli ölçüde azalmasını sağlar. İnşaata ait elemanların büyük kısmı, şantiye sahası dışındaki bir üretim tesisinde yapılmasına rağmen, bir takım imalatların da şantiyede yapılması gerekmektedir. Bu uygulamalar; temel imalatları (bazı durumlarda prefabrike olarak da üretilebilir), prefabrike elemanların vinç ile yerlerine yerleştirilmesi, elemanların birbirlerine yük aktarabilecek şekilde bağlanabilmesi için çelik bağlantılarının ve özel harçlar ile boşluk dolgularının yapılması ile sınırlıdır. Şantiyede yapılan imalatların bu denli düşük olması sayesinde, şantiye sahasında açığa çıkan atık miktarı, konvansiyonel inşaat yöntemleri ile kıyaslandığında önemli ölçüde düşük değerler vermektedir.

Prefabrike beton üretim sistemi, basit ve zaman içinde olgunlaşmış bir üretim yöntemidir. Bu durum, firmaların araştırma geliştirme (ar-ge) çalışma ve bütçelerinin atık yönetimi ve sürdürülebilir yaklaşımlar üzerine daha fazla yoğunlaştırmasına imkan sağlamaktadır.

Prefabrike beton imalat sistemi, demir donatıların ön gerilmeli olarak da tasarlanmasına müsaade eder ve bu şekilde üretilen prefabrike beton elemanlarda kullanılacak demir donatı miktarı azalır. Bu uygulama hammadde kullanımının minimize edilmesine yönelik bir atık yönetimi uygulaması olarak değerlendirilebilir.

WRAP kapsamında, *Bison Concrete Products Limited* (BISON) isimli, ileri teknoloji kullanan prefabrike beton üretim tesisi üzerinde yapılan durum çalışması, şantiye dışında yapılan üretim uygulamalarının çevresel ve atık yönetimi açısından ortaya sunduğu avantajları detaylı olarak ortaya çıkarmıştır.

Örneğin, üretilen boşluklu döşeme panellerinde, konvansiyonel yöntemlerle imal edilen döşeme plaklarına göre daha az beton ve daha az çelik kullanıldığı hesaplanmıştır. Aynı açıklık ve yük değerlerine göre yapılmış döşeme tasarımına göre, 8 m³ beton kullanılarak konvansiyonel inşaat sistemi ile 63 m² döşeme imalatı yapılabilirken, aynı miktarda beton ile prefabrike boşluklu döşeme elemanlarından 808 m² üretilmektedir. Bu şekilde malzeme miktarı kullanımı üzerinden elde edilen tasarrufun yanı sıra, prefabrike boşluklu döşeme sistemi; imalat ve montajı daha basit, konvansiyonel inşaat uygulamalarında şantiyede kullanılması gereken pahalı, zaman ve iş gücü kaybına yol açacak döşeme kalıplarını ortadan kaldıran ve atık salınımını neredeyse sıfıra düşüren bir sistemdir.

BISON firması, sürdürülebilirlik konusundaki kararlı yaklaşımı doğrultusunda, harcadığı su, malzeme ve enerji kaynakları üzerindeki olumsuz etkilerini minimize edebilmek için, tasarım ve üretim proseslerini yeniden değerlendirme kararı almıştır. Bu düşünce ışığında, 50 000 000 £ değerinde 3 yıllık bir yatırım programını uygulamaya koymuş ve tüm üretim tesislerinde, açığa çıkardığı suyun çoğunu yeniden kullanabildiği ve yine açığa çıkardığı atığı geri dönüştürebildiği yeni bir üretim teknolojisini hayata geçirmiştir. Hem

verimliliğini arttıran, hem de üretim maliyetlerini düşüren, atık yönetimi ve kaynak kullanımı üzerine yapılan ar-ge çalışmaları, çeşitli başlıklar altında aşağıda özetlenmiştir [Mtech Consult Limited, 2008]:

Tasarım ve Hesap Aşamaları

Kullanılan tam otomatik entegre üretim sistemi sayesinde, satışı yapılmış olan projenin tasarımının müşteri tarafından onaylanmasını takiben, yapı elemanlarına ait uygulama projeleri, üretim sistemini kontrol eden bilgisayarlara yüklenir. Atık yönetimi prosedürleri kapsamında, proje ile ilgili uygulamalarında çıktı sayısının mümkün olduğunca minimumda tutulması hedeflenmektedir. Bu yaklaşım ışığında, tüm bilgisayarlar merkezi bir sunucuya bağlanmış ve bu şekilde gerekli üretim çizim ve emirlerin, basılı bir kopyaya ihtiyaç duyulmaksızın çevrimiçi olarak üretim hattındaki makinelere aktarılması sağlanmıştır. Yakın zamanda devreye alınacak 3 boyutlu bilgisayar destekli tasarım sistemi, mühendisler tarafından tasarlanan elemanın, boyut ve özelliklerini proje ve üretim hattının standartlarına bağlı olarak kendiliğinden kontrol edecek ve proje ve imalat hataları nedeni ile ortaya çıkan hatalı ürünlerin meydana gelmesini engelleyecektir. Bu şekilde büyük miktarda prefabrike beton elemanın hurdaya çıkması, yeniden projelendirme yapılması ve yeniden üretim yapılması sonucunda ortaya çıkacak ek malzeme sarfiyatı, atık mamul madde salınımı ve ek işgücü ihtiyacı ortadan kalkacaktır.

Hayata geçirilen tam otomatik üretim sistemi, her bir boşluklu döşeme elemanının üzerine, el tipi basit bir okuyucu tarafından tanımlanabilen, bir veri aktarıcı kimlik çipi yerleşimini kapsamında bulundurmaktadır. Rezervasyon amaçlı kesimler, bu çiplerin kesim makinesi tarafından okunması yöntemi ile otomatik olarak yapılmaktadır. Sonuç ürün üzerinde, montaj sonrası, gerekli modifikasyonların yapılabilmesi için, aynı veri aktarım yöntemi müşteri tarafından da kullanılabilir nitelikte tasarlanmıştır.

Bu tip yaklaşımlar, gelişen teknolojinin, atık yönetimi prosedürlerine katkı verme potansiyeli üzerine önemli bir örnek oluştururlar. Tasarım aşamalarında göz önüne alınacak bir takım diğer yaklaşımlar da prefabrike beton üretiminde atık azaltılmasına katkıda bulunabilir. Örneğin, demir donatı imalatlarının da üretim tesislerinde yapıldığı prefabrike üretim uygulamalarında demir donatı atığının ortaya çıkması kaçınılmazdır. Bu atık miktarını minimize etmenin tasarım ve planlama aşamasındaki önemli bir yöntemi, inşaat demir, etriye ve çiroz uzunluklarının, inşaat demir çubuklarının standart uzunluklarına göre projelendirilmesi veya projede ihtiyaç duyulan boyutlara göre hazırlanmış olarak satın alınmasıdır.

Tedarik Ağının Üretim Sürecine Faydaları

Atık yönetimi ile ilgili ar-ge çalışmaları çerçevesinde; tedarikçiler ile yapılan görüşmeler neticesinde, satın alınan hammadde malzemenin kalite ve sürdürülebilirlik özellikleri açısından uygunluğunun sağlanmış olmasının yanı sıra, üretim sahasına tam gerektiği zamanda ve malzeme üzerinde ek bir müdahale ve ayarlama vs. gereksinimi olmayacak biçimde teslim edilmesi sağlanmıştır. Hammadde malzeme üzerinde, imalat öncesi yapılacak ayarlama veya müdahale yolu ile ortaya çıkacak atık ve fire malzeme miktarı, satın alma prosedürleri üzerinde yapılan değişiklikler sayesinde minimize edilmiştir.

Tamamı ile sürdürülebilir yaklaşımları ışığında kurulan yeni üretim tesisinde fabrika, ambar, stadyum vb. projeler için de prekast elemanlar üretilmektedir. Burada yapılan üretim esnasında atık yönetimi uygulamaları üzerinde önemle durulmaktadır. Prefabrike betonarme ürünlerin demir donatısı, belirlenmiş bir tedarikçiden, hazır bir şekilde satın alınmakta ve iskelet üzerinde hiç bir modifikasyon ihtiyacı olmadan kalıpların içerisine yerleştirilebilmektedir. Bu prosedür sayesinde, üretim sürecinde demir işçiliği nedeni ile ortaya çıkabilecek atık miktarı sıfıra indirgenebilmiştir.

Üretim Tesisinin Montaj Aşamalarını Göz Önünde Alarak Çalışması

Fabrikada imal edilen tüm elemanlar, şantiye alanında basit ve güvenli bir biçimde monte edilebilecek şekilde tasarlanmaktadır. Şantiye göz önüne alınarak yapılan tasarımlar neticesinde, montaj süresi kısalır, montaj için ihtiyaç duyulan güvenlik ekipmanı miktarı azalır ve hata, kaza nedeni ile ortaya çıkabilecek atık miktarı minimize edilir.

Bu tip yöntemler sayesinde, prefabrike beton üretim sistemi kullanılarak yapılan inşaatlarda, şantiyede ortaya çıkan atık salınımı miktarının, konvansiyonel inşaat sistemlerine göre %20 ile %50 arasında aşağı düşürülebildiği hesaplanmıştır [Hartley ve Blagden, 2007].

Prefabrike beton elemanlar için nakliye öncesi paketleme ihtiyacı bulunmamaktadır ve nakliyesi ahşap kamalar dışında hiçbir yan ürüne ihtiyaç duymaksızın, kolayca yapılabilir. Bu şekilde, montaj aşamasında, şantiye sahasında bir miktar montaj kaması ve bir miktar *grout harcı* dışında hiçbir atık ortaya çıkmaz. Montaj esnasında da atık yönetimi temelli uygulama yapılması neticesinde, montaj kamaları nakliye araçlarına geri yüklenerek fabrika sahasına gönderilmesi sayesinde yeniden kullanılabilir ya da montaj harcı atığı azaltılabilir.

Boşluklu döşeme üretim hattına entegre edilen yeni bir sistem sayesinde, her boşluklu döşeme için kendine özgü özel bir kanca sistemi tasarlanıp yerleştirilmeye başlanmıştır. Bu kanca sistemi, üretim sahasında ve montaj aşamasında boşluklu döşemelerin taşınmasını kolaylaştırmakta ve montaj aşamasında söz konusu döşemelerin teraziye alınmasına gerek duyulmadan yerine monte edilebilmesini sağlamaktadır. Bu kanca tasarımı; montaj aşamasında prefabrikasyon sistemine ait geleneksel montaj yöntemleri ile yapılacak montajlar sonucunda ortaya çıkabilecek ürün hasarlarını yok etmektedir.

Fabrika içerisinde yürütülen atık yönetimi prosedürlerinin ve araştırmalarının yanı sıra, nakliye ve montaj aşamaları için de atık miktarını minimize etme çalışmaları içerisinde bulunmaktadır. Bu çalışmalar ışığında, üretilen prefabrike elemanlar, stok sahasına montaj sırasına göre dizilmekte ve nakliyeye hazır halde stoklanmaktadır. Bu şekilde nakliye için gerekli toplam zaman ve tırların fabrika içerisinde bekleme süresi kısalmış, hatta bu uygulamalar sayesinde montaj sahasına yapılan sevkiyat sefer adedinin de azaldığı gözlemlenmiştir.

Prekast olarak üretilen boşluklu döşeme panellerinin, uygulama sahasında birbirleri ve döşeme kirişleri ile statik olarak bağlanması ve sürekli bir döşeme plağı oluşturulabilmesi amacı ile panel montajının ardından, üzerlerine statik hesaplarca belirlenecek kalınlıkla *topping betonu* olarak adlandırılan beton dökülmesi gerekmektedir. Bu uygulama, ustalık ve dikkat isteyen bir uygulama olup; uygulamanın doğası gereği boşluklu döşemelerin ve kalıpların arasından beton şerbeti akmasına ve bu nedenle çok miktarda atık beton oluşumuna neden olur. Bu sorun üzerine yapılan çalışmalar neticesinde, boşluklu döşemeler üzerine kolayca monte edilebilen, aralarından beton dökülmesini engelleyecek formda ve tekrar tekrar kullanılabilen ahşap kalıplar geliştirilmiştir. Bu tasarım sayesinde; şantiyedeki montaj zamanının kısalması, iş güvenliğinin artması gibi montaja yönelik iş gücü ve enerji kazanımlarının yanı sıra, kullanılan geçici ahşap kalıplar ve imalat sırasında sızan beton şerbetleri nedeni ile ortaya çıkan atıklar da ortadan kaldırılmıştır.

Tüm Üretim Tesislerinin Koordineli Çalışması

Durum çalışmasına konu olan firmanın, İngiltere'de, her biri birbirine yüksek iletişim teknolojileri ile bağlı 4 adet üretim tesisi bulunmaktadır. Bu durum sayesinde üretim, şantiye sahasına en yakın tesiste gerçekleştirilebilmekte ve bu sayede nakliye mesafelerini kısaltarak, nakliye araçları tarafından açığa

çıkarılan karbondioksit miktarının azalması sağlanabilmektedir. Bunun yanı sıra, üretim tesislerinin her hangi birinde tatbik edilen yeni ve başarılı uygulamalar, tüm üretim tesisleri tarafından faydalı kullanım sağlanabilmesi amacıyla paylaşılabilir.

Raporlama ve Bilgi Paylaşımı

Fabrikaya giriş yapan tüm hammadde malzemeler titizlikle tartılmakta ve kaydı tutulmaktadır. Tam otomatik hale getirilmiş üretim sistemi sayesinde, yönetim birimleri; verimlilik, atık, fire miktarları ve kaynak kullanımı ile ilgili performans bilgilerini saniye saniye kontrol edebilmektedir. Bu şekilde elde edilen bilgiler, önceden belirlenmiş hedefler dışına çıkan atık salınımına yol açan üretim aşamalarının analiz edilip düzeltilebilmesi için kullanılırlar.

Sürekli Geliştirme Çalışmaları

Çevre ile ilgili tüm konular, işgücü üreten personel ile duyarlı bir yaklaşım içerisinde paylaşılmaktadır. Atık miktarının daha da azaltılması için farklı alanlarda yapılabilecek geliştirmeleri irdelemek üzere, düzenli olarak yeni komiteler kurulmakta ve eğitim, araştırma ve geliştirme çalışmaları yürütmektedir.

2.4.2. Prefabrike beton endüstrisi ile geri dönüşüm kavramı ilişkisi

Atık malzemelerin bertarafı üç farklı yöntem ile yapılabilir. Bunlar, atık yakımı, katı atık sahasına boşaltma ve geri dönüşümdür. Prefabrike beton endüstrisinin açığa çıkardığı atıklar, özellikle de beton atıklar atık yakma prosesleri için uygun değildir. Katı atık sahasına boşaltma işlemleri ise, çevre duyarlı bir atık bertaraf yöntemi olarak değerlendirilemez [Waqar, 2008]. Bu yöntem, anlık olarak atık malzemenin ortadan kalkmasını sağlasa da, uzun

vadede bu atıkların çevreye vereceği zarar, atık salınımına neden olan tesisi de etkileyecektir.

Bir yapı malzemesinin, sürdürülebilir özellikte bir inşaat malzemesi olarak değerlendirilebilmesi için, çevresel ve ekonomik özelliklerinin bütünü ile ele alınması gerekmektedir. Bu özellikler arasında; malzemenin çevreye zararlı bileşenler içermemesi, doğada kolay çözülebilmesi, üretiminde düşük enerji kullanımı ve geri dönüşüm olanakları sayılabilir. Sürdürülebilir çerçevede geri dönüştürerek kullanılması tasarlanan inşaat malzemesinin, strüktürel niteliklerinin ve dayanıklılık süreci değerlendirmelerinin yanı sıra, malzemenin kullanılabilir pozisyona gelmesi için gerekli işlemlerin ve bu işlemlerin maliyetlerinin de değerlendirmesi gerekmektedir. Ancak, çevresel amaçla kullanılması planlanan geri kazanılmış yapı malzemesi ile ilgili tüm performans kriterlerinin ortaya çıkarılması için gerekli bilimsel çalışma süreci ve bu sürecin maliyeti, sürdürülebilir nitelikteki geri dönüştürülmüş ürünlerin, ticari olarak uygulamaya geçme aşamasında engel teşkil etmektedir [Reiner ve Rens, 2006]. Bu tip araştırmaların yapılamaması, özellikle ülkemizde, geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı ve bu şekilde elde edilecek çevresel ve ekonomik kazanımların yeterince hayat bulmasını engellemektedir.

Prefabrike beton üretim sistemi birçok özelliği sayesinde, konvansiyonel üretim sistemlerine göre daha az hammadde ürün kullanarak, daha az atık açığa çıkmasını sağlayarak, geri dönüştürülmüş ürün kullanımına imkan vererek ve atıklarının geri dönüştürülebilir nitelikte olması özellikleri sayesinde, genel atık yönetimi mantığı ve uygulamalarına olumlu katkı sağlamaktadır. Bu noktada, prefabrike beton üretim sisteminin geri kazanım özellikleri ile ilgili örnekler ve yaklaşımlar aşağıda özetlenmiştir.

Prefabrike beton imalat çözümleri, ürün içeriğinde geri dönüştürülmüş malzeme barındıran eleman üretimine imkan vermesi nedeni ile üretim

safhasında atık salınımının düşük miktarlarda kalmasını sağlar [Mtech Consult Limited, 2008].

Prefabrikasyon sistemi kapsamındaki geri dönüşüm uygulamalarına cephe panelleri bulunan bir yaklaşım şöyledir [Johnson, 1992]:

“Modüler duvar konstrüksiyonlarının kullanımı ve yeniden kullanımı, bu tip duvar inşaatlarının olumlu yeniden kullanımı sayesinde karlı bir yatırım olarak önem arz eder. Prefabriğe duvar sistemlerinin konvansiyonel duvar imalatı ile kıyaslandığında bir kere yer değiştirebilme özelliği unutulmamalıdır.”

Bu yaklaşım, normal koşullarda kullanım dışı kalması ile atık halini alacak prefabriğe yapı elemanlarının, başka bir inşaatta yeniden kullanılabilmesi için demonte edilmesine ve bu şekilde geri kazanımına referans verir.

Bir üst başlıkta incelenen durum çalışmasında, sürdürülebilir çerçevede planlanan modern bir prefabrikasyon üretim tesisinin, doğal kaynak gereksinimini azalttığını, üretim süreci içerisinde hammadde malzemenin verimli olarak kullanılabilirliğini ve geri dönüştürülebilirliğini ortaya çıkardığını ve atık sahalarına dökülen ya da dolgu olarak kullanılmak durumunda kalınan atık malzeme miktarının %1'in altına indirilebildiğini göstermiştir. Firma tarafından son yıllarda yapılan yatırımlar ve bu sayede elde edilen ekonomik gelişmeler, küçük bir miktar ahşap takoz dışında tüm atıklarını geri dönüştüren ve yeniden kullanan, enerji etkin özellikte yeni bir fabrika kurulmasına yardımcı olmuştur. Bu yeni üretim tesisinde; atıkları kuru ve ıslak olarak sınıflandırabilen ve geri dönüştürebilen bir geri kazanım tesisi kurulmuştur.

Boşluklu döşeme panellerinin üretildiği tam otomatik ve kesintisiz üretim hattı ve bu hatta yapılan eklentiler ile üretim sistemine kazandırılan geri kazanım özellikleri aşağıda özetlenmiştir [Mtech Consult Limited, 2008]:

1. Geri dönüşüm sistemi eklentisi sayesinde, boşluklu döşeme hattında kullanılan beton içeriğindeki, temiz su hattından kullanılan su miktarı sıfıra indirilmiş ve beton içeriğinde sadece su arıtma sistemi sayesinde elde edilen fabrika atık suyu kullanılmıştır. Bu üretim yöntemi sayesinde, üretim verilerine göre haftada ortalama 21 000 litre su tasarrufu sağlanmıştır.
2. Üretim alanı çevresine yerleştirilmiş gider kanalları sayesinde, proses sürecinde kalıp dışarısına akan, dökülen beton toplanarak, içeriğin su ve beton şerbeti olarak ayrıştırılması ve tamamının yeniden kullanımı imkanı elde edilmiştir.
3. Rezervasyon amaçlı kesilmiş döşeme parçaları veya hatalı imalat nedeni ile ortaya çıkan prizini almış katı beton atıkları, tesis kapsamında kurulan kırma tesisine gönderilir. Bu tesiste betonarme atık içerisindeki çelik çubuklar ayrıştırılarak fabrika dışındaki ayrı bir metal geri dönüşümü tesisine gönderilirken, beton parçaları kırılarak ve sınıflandırılarak ya fabrika içerisinde prefabrike beton üretiminde ya da fabrika dışında yol inşaatları veya dolgu işleri için agrega olarak kullanılmaktadır.

Cephe panelleri, boşluklu döşemelere göre işçilik yükü daha fazla olan elemanlardır. Prefabrike cephe paneli üretimi için tasarlanan ve tekrar tekrar kullanılabilen çelik kalıp kapakları sayesinde, plywood ve benzeri, tek kullanımlık ahşap kalıp kullanım gereksinimi ortadan kalkmakta ve bu tip kalıplar nedeni ile ortaya çıkabilecek olası atık oluşumunu engellenmektedir. Ancak yine de cephe panellerindeki pencere boşlukları her mimari projeye göre farklılıklar gösterdiği için, bu değişken boşluklarda plywood malzemenin hazırlanmış boşlukların kullanım zorunluluğu ortadan kalkmamaktadır. Bu atıklar beton tarafından kirletildiği için, geri dönüştürme imkanına da sahip değildirler. Firmanın, 2006 yılı atık değerlendirmesinde 200 ton ahşap kalıp atık salınımı ortaya çıktığı ve bu atığın küçük bir kısmı lokal bir ahşap yakma tesisine verilirken, büyük kısmı hurda olarak atık sahasına döküldüğü raporlanmıştır. Bu atığın ortadan kaldırılabilmesi için, kontrplak kalıplar yerine

geri dönüştürülebilir malzemelerin standart dışı kalıplar için kullanım olanakları ile ilgili araştırmalar devam etmektedir. Bunun dışında cephe paneli üretiminde açığa çıkan bir miktar prizini almış beton atığı da, geri dönüşüm tesislerinde işlem görerek tekrar beton içeriğinde değerlendirilebilmektedir.

Diğer prekast elemanların üretimi sırasında açığa çıkan atıklar da yeniden değerlendirilebilmektedir. Ürünler üzerinde meydana gelen değişiklikler ya da hatalı imalatlar nedeni ile ortaya çıkan prizini almış betonarme atıkları ve boşluklu döşeme panel üretiminde açığa çıkan atıklar gibi kompozit malzemeler geri dönüşüm için öncelikle ayrıştırılmaktadır. İlk olarak bu elemanların içeriğindeki demir ayrılarak, demir geri dönüşümü yapan firmalara gönderilmekte, daha sonra beton atıkları parçalanıp, sınıflandırılarak yol inşaatlarında ya da prefabrik üretim tesisi içerisindeki beton üretimi amacı ile agrega olarak yeniden değerlendirilmektedir.

BISON firması, yaptığı tüm araştırmalar sonucunda hayata geçirdiği atık yönetimi uygulamaları sayesinde, açığa çıkardığı atık miktarını %1 seviyelerine çekmeyi başarmıştır. Firma tarafından açığa çıkarılan, tasarruf edilen ve geri kazanılan atık malzemeler ile ilgili özet Çizelge 2.1'de verilmiştir .

2.5. Türkiye'deki Prefabrike Beton Endüstrisinde Atık Yönetimi ve Geri Dönüşüm Uygulamaları

Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın 56 numaralı maddesinde;

“Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek devletin ve vatandaşların ödevidir.”

hükmü yer almaktadır. Ülkemizde bu hususların yerine getirilmesinin yürütmesini Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı, bünyesinde barındırdığı genel müdürlükler ve şube müdürlükleri vasıtası ile hayata geçirmektedir. Çalışmanın bu aşamasında, prefabrike beton endüstrisi içerisindeki atık yönetimi ile ilgili devlet tarafından yayınlanan kurallar ve bu kuralların uygulama değerlendirmeleri ile Türkiye'deki prekast beton işletmelerinin atık yönetimi çalışmalarına değinilecektir.

Çizelge 2.1. Malzeme kazanımı ve açığa çıkan atık özeti - BISON durum çalışması [Mtech Consult Limited, 2008]

Uygulamalar	Açığa çıkan Atık		Kullanılan Atık			Malzeme Kazanımı (%)
	Tip	%	Yeniden Kullanım	Geri dönüşüm	Atık	
Tasarım						
Optimizasyon	Yok					-%
Gözden geçirme	Yok					
Standart detaylar	Yok					
Üretim						
Tam otomatik boşluklu döşeme üretimi	Beton	2%	100%	0%	0%	-/-
Beton üretimi	Su	ihmal edilebilir	100%	0%	0%	-/-
Cephe panelindeki açıklıklar	Ahşap	1%	0%	0%	100%	-/-
Satınalma						
Önceden hazırlanmış demir donatı	Yok	-/-	-/-	-/-	-/-	Çelik (100%)
Lafarge firmasının çimento silo bilgilerine ulaşımı	Yok	-/-	-/-	-/-	-/-	Firmanın malzeme kaybının ve nakliye sefer sayısının azalması
Atık su toplaması	Yok					1 milyon litre temiz su
Nakliye ve Şantiye						
Yeniden kullanılabilir plastik kapaklar	Yok	-/-	-/-	-/-	-/-	Şantiyede kullanılan geçici ahşap kalıplar (100%)

2.5.1. Türkiye'deki prefabrike beton endüstrisinde atık yönetimi ile ilgili mevcut kanun ve yönetmelikler

Çevre ve Orman Bakanlığı bünyesinde, atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları ile ilgili olarak Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü, Atık Yönetimi Dairesi en etkin rolü oynamaktadır. Konu ile ilgili gerekli kanun, yönetmelik, tebliğ ve genelgeler; bu birim tarafından hazırlanmaktadır. Bakanlık tarafından yürütülen söz konusu çalışmalar değerlendirildiğinde, özellikle son yıllarda bu çalışmaların yoğunlaştığı göze çarpmaktadır. Bunun en temel nedeni, Avrupa Birliği'ne aday ülke konumunda bulunan ülkemizin, birlik kriterlerine uyum çabasıdır ki; bu süreçte "Çevre" ana başlığı, uyulması gereken başlıca kriterlerden biri olarak ortaya çıkmaktadır.

Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından atık yönetimi konusunda yürütülen çalışmalar içerisinde, gelişmiş olarak değerlendirilen ülke uygulamalarının aksine, henüz, sektörel bağlamda hazırlanmış atık yönetimi yönetmelikleri ve komisyon çalışmalarına rastlanmamaktadır. Dolayısı ile beton prefabrikasyon sınırları içerisinde, devlet eli ile hazırlanmış bir yönetmelik, genelge, rapor mevcut değildir. Ancak, konu ile ilgili olabilecek;

1. 18.03.2004 tarihli ve 25406 numaralı Resmi Gazete'de yayınlanan "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği",
2. 31.05.2005 tarihli ve 25831 numaralı Resmi Gazete'de yayınlanan "Toprak Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği",
3. 24.06.2007 tarihli ve 26562 numaralı Resmi Gazete'de yayınlanan "Ambalaj Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği",
4. 12.05.2010 tarihli ve 27579 numaralı Resmi Gazete'de yayınlanan "Tehlikesiz ve İnert Atıkların Geri Kazanımı Tebliği"

5. 08.06.2010 tarihli ve 27605 numaralı Resmi Gazete’de yayınlanan “Toprak Kirliliğinin Kontrolü ve Noktasal Kaynaklı Kirlenmiş Sahalara Dair Yönetmelik”,

doğrudan olmasa da, prefabrike beton endüstrisi çerçevesindeki yapılması gereken atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamalarına dolaylı olarak referans vermektedir. Bahsi geçen yönetmeliklerde göze çarpan önemli bir husus, çevre kirliliğine neden olabilecek hatalı uygulamalar için cezai yaptırımların tanımlanmasına rağmen, sürdürülebilirlik bağlamında yapılması gereken atık yönetimi çalışmaları için her hangi bir özendirici düzenlemeye rastlanmamış olmasıdır. Devlet eliyle düzenlenen tebliğ ve yönetmeliklerde halk ve sektör sorumluları katılımının sağlanması hali hazırda bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır. Ancak bu eksiklik, bir takım özendirici uygulamaların yönetmeliklere adaptasyonu sayesinde daha üst düzeye çıkarılabilir.

2.5.2. Türkiye’deki prefabrike beton üretici firmalarının atık yönetimi ve geri dönüşüm yaklaşımları

Türkiye’nin Avrupa Birliği’ne üyeliği konusunda uyması gereken kriterler arasında “Çevre” konusu da yer almaktadır. Avrupa Birliği tarafından Türkiye için yayınlanan 2009 yılı ilerleme raporunda çevre ana başlığı ile ilgili aşağıdaki değerlendirme alıntıları ilgi çekicidir [Avrupa Birliği Genel Sekreterliği, 2010]:

1. Halkın katılımı ve sınır aşan hususlara ilişkin istişarelere yönelik usuller tam olarak uyumlu hale getirilmemiştir.
2. Çevresel sorumluluk, halkın katılımı ve halkın çevresel bilgiye erişimine ilişkin AB müktesebatının iç hukuka aktarılması konusunda ilerleme kaydedilmemiştir.
3. Atık yönetimi konusunda sınırlı ilerleme kaydedilmiştir.

4. Atıkların düzenli depolanması ve madencilik atıklarına ilişkin direktifler konusunda gelişme kaydedilmemiştir.
5. Su kalitesi konusunda ilerleme kaydedilmemiştir.
6. Doğa koruması konusunda ilerleme kaydedilmemiştir.
7. Endüstriyel kirlenmenin kontrolü ve risk yönetimi konusunda sınırlı ilerleme kaydedilmiştir. Ancak, genel anlamda iç hukuka aktarım seviyesi ve uygulama kapasitesi düşüktür.

Yukarıdaki değerlendirme alıntılarına ek olarak, Avrupa Birliği 2009 yılı Türkiye uyum raporunda “Çevre” ana başlığı üzerinde yapılan sonuç değerlendirme paragrafı ise aşağıdaki gibidir [Avrupa Birliği Genel Sekreterliği, 2010]:

“Türkiye, kimyasallar konusunda ve Kyoto Protokolünü imzalamak suretiyle yatay mevzuat konusunda ilerleme kaydetmiştir. Atıklar, hava kalitesi, endüstriyel kirlilik ve risk yönetimi ve kimyasallar konusunda bazı ilerlemeler kaydedilmiştir. Ancak, genel uyum seviyesi hâlâ yetersizdir. Türkiye, su kalitesi, doğa koruma ve GDO’lar konularında ilerleme kaydetmemiştir. ÇED prosedürlerinin tam olarak oluşturulmaması, ÇED Direktifinin uygulanmasına yönelik ilave iyileştirmeleri engellemektedir.”

Söz konusu raporda göze çarpan en önemli husus, konu ile ilgili devlet tarafından yapılan bir takım düzenlemelere rağmen, alınan önlemlerin gerçek hayatta uygulanması konusunun yetersizliği noktasıdır. Bakanlık tarafından uyum sürecinde yürütülen önemli çalışmalara ve çıkarılan kanunlara rağmen, bu kural ve kanunların hayata geçirilmesi konusunda önemli problemler bulunmaktadır. Bu durumun siyasi, ekonomik ve beşeri sebepleri bulunmakta olup, çözümlenmesi için çok ciddi çalışma ve araştırmaların yürütülmesi gerekliliği göze çarpmaktadır. Çalışmanın ilk bölümünde de belirtildiği gibi, tez konusu ile ilgili ulusal sınırlar içerisinde yapılan ön araştırmalar, konu ile ilgili çalışmaların ülkemiz sınırları içerisinde yetersiz olduğunu ortaya çıkarmış ve bu husus tezin yapılmasını etkileyen bir girdi haline gelmiştir.

Bu çerçeve içerisinde, ülkemizdeki prefabrike beton üreticilerinin atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları ile ilgili sürdürmekte oldukları çalışmaları değerlendirebilmek için, 26 adet Türkiye Prefabrik Birliği üye kuruluşu ile e-posta gönderilmesi yolu ile irtibata geçilmiş ve uygulamakta oldukları atık yönetimi yaklaşımları ile ilgili bilgi talep edilmiştir. Ancak sadece 3 firma konu ile ilgili talebi yanıtlamıştır. Bu durum üzerine Ankara'daki prefabrike beton üretim tesisleri ile aynı talep ışığında iletişim kurulmuştur. Elde edilen bilgiler, konu ile ilgili ulusal akademik çalışmaların azlığı nedeni ile de beklendiği gibi, istisnai bir kaç firma ve bir kaç firmaya özel uygulama dışında atık yönetimi uygulamalarının yetersiz olduğunu göstermektedir.

Ülkemizdeki prefabrike beton üreticilerinin bir kısmı, istifi için yoğun alan gereksinimi bulunan prizini almış beton ve betonarme atıkları, belirli aralıklarla, dış destek yardımı ile herhangi bir boyutsal hedef gözetmeksizin küçülterek, hacimlerinin azaltılmasını sağlamak ve söz konusu beton parçalarını da ihtiyaç duyulması halinde dolgu olarak kullanmaktadır. Diğer bir kısmı ise, söz konusu atıkları fabrika sahalarındaki hurdalık alanlarına başıboş bir biçimde yığılmakta ya da maliyeti üretici firma tarafından karşılanmak üzere, belirli aralıklarla devlet tarafından belirlenen hurdalık döküm sahalarına boşaltılmaktadır. Bu uygulama, hali ile üretim bütçeleri üzerine ek bir maliyet olarak eklenmesi gereken bir değerdir. Ancak 2008 yılı Haziran ayında Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Orman Bakanlığı Çevre Yönetimi Genel Müdürlüğü tarafından yayınlanan "Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Yetki Devri" genelgesi sonucunda İstanbul, Adapazarı ve Sakarya illerinde, devlet tarafından belirlenen hafriyat döküm sahaları ortadan kaldırılmıştır. Bu durum, özellikle Marmara bölgesinde bulunan prefabrike üretim tesislerinin katı atık bertarafı konusunda bir takım özel önlemler almaları konusunda zorlayıcı bir etken olmuştur.

Yüksek su içerikli beton şerbeti atıkları, devlet tarafından fabrikalarda bulundurulması zorunlu tutulan arıtma sistemlerine yöneltilmekte ve bu

alanda arıtma prosesinden geçirilerek kanalizasyon şebekesine verilmektedir. Hiç bir firma, beton kovalarının yıkanması ya da prekast beton eleman kesimi nedeni ile ortaya çıkan yüksek su içerikli beton şerbeti içeriğindeki katıları geri kazanmaya yönelik bir uygulama yaklaşımına sahip değildir.

Ülkemizde değerli metallerin geri kazanımı, mali değerleri nedeni ile organizasyonu yapılmış bir uygulamadır. Hurda demir toplayıcıları, tüm atık demir sağlayan kaynaklardan olduğu gibi, prefabrike beton üretim tesislerinin sağladığı demiri de kaynağından satın almakta ve demir geri kazanımı ile ilgili tesislere satılması yolu ile bertarafını sağlamaktadır. Tüm prefabrike beton üretim tesisleri, hurdacılar yolu ile metal atıklarının geri kazanımını sağladıklarını beyan etmişlerdir.

Prefabrike beton üretiminde geri kazanılmış hammadde malzeme kullanımı konusu da, prefabrike beton üreticileri ile yapılan görüşmeler neticesinde, henüz ülkemizde uygulamaya geçmemiş bir konu olarak göze çarpmaktadır. Hiçbir prefabrike beton üreticisi; cam, plastik, kağıt benzeri tüketici atıklarının prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı konusunda bir altyapıya sahip değildir. Kül ve cüruf benzeri yakıt atıklarının ise, hazır beton sektöründe yoğun kullanım uygulamaları ve beton kalite ve maliyetine olumlu yönde etkisi vardır. Bu olumlu etkilere rağmen malzemenin yeterli olarak tanınmaması ve kullanım özelliklerinin yeterince bilinmemesi nedeni ile bu atıklar ile ilgili uygulamaların sınırlı olması göze çarpmıştır.

Ülkemizde Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş. tarafından yürütülen atık yönetimi çalışmaları, irtibat kurulan diğer ulusal prefabrike beton üreticilerine kıyasla çok üstün özellikler göstermektedir. Daha önce bahsedilen genelge sonucunda İstanbul bölgesinde hafriyat döküm sahalarının ortadan kalkması neticesinde; firma, prizini almış beton ve betonarme atıklarının bertarafı için uluslararası yöntemleri inceleyerek, beton atıklarının kırılması ve

boyutlandırarak proses içerisinde geri kazanılmasını sağlayan ve ülkemizde çok az sayıda bulunan mobil kırıcıları kurmak sureti ile bir geri kazanım uygulaması başlatmıştır. Bu sistem sayesinde detaylı bir kırım işlemi uygulanarak, atık içerisindeki demir ve öngerme halatı gibi metaller ayrıştırılabilmekte ve kalan kırılmış beton elemanlar da boyutlarına göre sınıflandırılabilmektedir. Boyutlandırılmış beton atıkları, firma tarafından yeni kurulan stok sahasında blokaj malzemesi yerine ve gerekli laboratuvar testlerinden geçirilerek prekast beton agregası yerine kullanılmak sureti ile geri kazanılmaktadır. Bu uygulama ile firma, hem bağlı bulunduğu holding tarafından “Değişim Liderliği” ödülüne, hem de İstanbul Sanayi Odası'nın “Çevre Ödülü”ne layık bulunmuştur.

Bu uygulama dışında, firma, atık su arıtma ve geri kazanım uygulaması sayesinde, temizlik, beton kovası yıkama suları, beton sulama suları ve beton kesimi nedeni ile açığa çıkan atık su, geri kazanılarak yine aynı işlemler için kullanılmaktadır. Donatı üretiminde açığa çıkan demir ve öngerme halatı parçaları ile betonarme eleman geri dönüşümü aşamasında ayrıştırılan demir parçalar, hurda demir sahasında biriktirilmekte ve hurda demir toplayıcı firmalar eli ile demir geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir.

İşletmedeki proseslerde oluşan diğer katı atıklar (yağlı eldiven, üstüğü, iş elbisesi vb), ambalaj atıkları, atık yağlar, piller ve aküler, ömrünü tamamlamış araç lastikleri, florasan lambalar, türüne göre ayrı ayrı toplanarak bu konuda belirlenmiş yetkili bertaraf tesislerine, yetkilendirilmiş atık taşıma firmaları yardımıyla ve ulusal atık taşıma formları doldurularak gönderilip bertarafı sağlanmaktadır. Yukarıda belirtilen atıkların geri dönüştürülerek kullanımının yanı sıra, bazı proseslerin geri dönüştürülmüş atıkları da değişik üretimlerde kullanılmaktadır. Bunlar, prefabrike ve boşluklu döşeme elemanı üretimlerinde kullanılan uçucu kül ile ağır beton üretimlerinde kullanılan ve demir haddehanelerinden çıkan tufal ile çürüftür.

Yapı Merkezi Prefabrikasyon A.Ş., ülkemiz koşullarında, çevre ile ilgili sorunları kendisine problem edinmiş ve uluslararası uygulamaları da inceleyerek atık yönetimi uygulamalarını başlatmıştır. Firmanın, çevre konusunda başlatmış olduğu yaklaşımlar, gelecekte çalışmalarını daha da ileriye götüreceğinin habercisidir. Hayata geçirilen projeler, ülkemizde toplam sayısı 75 olan [Türkiye Prefabrik Birliği, 2010] Türkiye Prefabrik Birliği üyesi veya birlik dışı tesise ön ayak olması gerekmektedir.

3. PREFABRİKE BETON ENDÜSTRİSİNDE ATIK GERİ DÖNÜŞÜMÜ UYGULAMALARI

Şantiye sahası dışında üretilen prefabrike beton elemanlar, atık malzeme miktarını azaltır ve malzemenin daha verimli kullanılmasını sağlar. Ancak prefabrikasyon yöntemi ile üretilen inşaatlarda, atık miktarı azaltılabildiğine rağmen, sifıra indirilebilmesi mümkün değildir. Tezin bu bölümünde, prefabrike beton endüstrisi tarafından açığa çıkarılan atıkların öncelikle prefabrike beton endüstrisinde olmak üzere, geri kazanım yöntemleri araştırılacaktır.

3.1. Beton Prefabrikasyonda Atık Maddeler ve Atık Madde Değerlendirme Sorunları

Avrupa Birliği ülkelerinde, yılda 180 milyon ton inşaat atığı ve yıkıntı atığı ortaya çıkmaktadır. Bu atık miktarının %75'i, yüksek geri dönüştürme potansiyeline rağmen, dolgu malzemesi olarak kullanılmakta ya da hurda atık sahalarına boşaltılmaktadır. Ancak, bu tip atıkların teknik ve ekonomik değerinin bilincine varan, aralarında Danimarka, Belçika ve Hollanda'nın başı çektiği bazı ülkeler inşaat atıklarının %80'in üzerine varan oranlarda geri dönüşümünü sağlamaktadırlar. Orta Avrupa ülkelerinde göze çarpan bu yaklaşımın aksine, özellikle Güney Avrupa ülkeleri, inşaat atıklarının çok az bir miktarını geri dönüştürmektedirler [Corinaldesi ve Moriconi, 2009].

Günümüzde, endüstriyel tesisler atık yönetimi uygulamalarını hızla bünyelerine katmaya; bu şekilde ekonomik kazanç elde etmeye ve atıklarını yeniden değerlendirmeye başlamıştır. Beton ise, Dünya çapında en fazla kullanılan inşaat malzemesidir. Yapılan hesaplamalara göre Kanada'da prekast elemanlar dahil her gün adam başına 10 kg beton üretilmekte ve kullanılmaktadır [Chitra, 2005]. Bu iki olguya rağmen prefabrike beton

endüstrisi henüz bu tipte bir atık yönetimini ve uygulamalarını yeterince bünyesinde barındırmamaktadır.

Beton prefabrikasyonu, üretim sürecinde; özellikle yüksek alkali düzeyine sahip beton gibi atık madde salınımına yol açar. Bu artık maddeler, gerekli geri kazanım yöntemleri uygulanmadığında, fabrika sahasında üst üste birikmiş ya da bazen tasarlanmış bir döküm alanına, bazen de planlanmamış alanlara dökülmüş moloz yığınları oluşumuna neden olmuşlardır. Bu atık maddelerin yeniden kullanım ve geri dönüşüm imkanlarını araştırmak için öncelikle bu maddeleri, üretim akışındaki girdi noktalarına göre sınıflandırmak gereklidir.

3.1.1. Mamul ürün atıkları

Mamul ürün atıkları üretilmiş mamul malzemenin; hatalı üretimi, nakliye ve montaj aşamalarında zarar görmesi, müşterinin çeşitli nedenlerden ötürü ürünü teslim alamaması ve ürün üzerinde düzeltme ve modifikasyon yapma amacı ile uygulanan kesme, kırma gibi işlemler sonucu ortaya çıkan betonarme eleman ya da parçaların sebep olduğu atıklardır. Bunlar dışında kalite kontrol amaçlı alınan ve test sürecinde kırılan beton elemanlar da mamul ürün artığı olarak değerlendirilebilir. Bu tip atıklar, uygun yöntemler ile geri dönüştürülemezler ise, beton prefabrikasyon imalatı yapan firmaların stok sahalarına, hurdalık alanlarına terk edilirler ya da üretim tesisindeki alan sıkıntısı nedeni ile atık döküm sahalarına gönderilirler. Yüksek yoğunluklu bir yapı elemanı olan beton ya da betonarme elemanın atık sahasına nakliyesi ve dökümü hem çok pahalı, hem de çevre duyarlı olmayan bir atık bertaraf yöntemi olarak ortaya çıkmaktadır.

3.1.2. Yarı mamul ürün atıkları

Prefabrike üretim sürecindeki beton, döküm aşamasında çelik kalıpların dışına taşması, beton santralindeki fazla üretimin değerlendirilme ihtiyacı ve beton döküm kovalarının yıkanması nedenleriyle yarı mamul atık madde olarak ortaya çıkar.

Beton kovalarının yıkanması sonucu ortaya çıkan yüksek su içeriğine sahip atık genellikle değerlendirilmez ve sahaya boşaltılır. Bu şekildeki bir atık boşaltma uygulaması, yüksek alkali değerine sahip atığın, toprağın içerisine sızmasına ve yeraltı kaynaklarını kirletmesine yol açar. Ayrıca söz konusu atığın atık sahasına boşaltılması, daha fazla hurdalık alan ihtiyacına neden olur [Chitra, 2005].

Cephe panellerinde kullanılan, genellikle petrol bazlı yalıtım malzemeleri de projeye göre boyutlandırılma sürecinden geçtiği için fire malzeme oluşumuna; dolayısı ile atık madde salınımına neden olur. Bu oluşum nedeni ile ortaya çıkan yalıtım malzemesi atıkları, üretim sürecindeki konumu nedeni ile yarı mamul atık madde olarak değerlendirilebilir.

3.1.3. Hammadde ürün atıkları

Betonun ana hammaddeleri olan, çimento, kum ya da taş tozu, çakıl ve su, gelişmiş yeni beton üretim sistemleri ve beton santralleri sayesinde, kayda değer bir atık oluşumuna neden olmazlar. Betonarme elemanın üretimi sırasında kullanılan; demir, öngerme halatı ve aksesuar olarak kullanılan çelik profil ve plastik boru gibi elemanlar, standart boyutta üretilmeleri ve imalat aşamasında proje ihtiyaçlarına göre yeniden boyutlandırmaları nedeniyle, söz konusu elemanların kullanılamaz boyuttaki parçaları fire hammadde oluşumuna, dolayısı ile de atık madde salınımına yol açar. Ayrıca kullanılan en çevreci yakıt olarak bilinen doğalgazın henüz ulaşmadığı sanayi

bölgelerinde kömür gibi katı yakıtların kullanımı nedeniyle ortaya çıkan kömür cürufu ve kül de hammadde atık olarak sınıflandırılabilir katı atıklar olarak tanımlanabilir.

Bu tezin kapsamında, daha yoğun olarak metalurji biliminin konusu olan inşaat demiri ve demir profillerin geri kazanım yöntemlerine değinilmemiş, bu yöntemler ilgili bilim dalının araştırmalarına bırakılmıştır. Katı yakıt atıklarının geri kazanım yöntemlerine ise, bu tip atık salınımının prefabrike beton endüstrisinden daha çok, termik santral benzeri dış kaynaklar tarafından yapıldığı için, tezin dördüncü bölümünde, geri kazanılmış atıkların prefabrike beton endüstrisi içerisinde geri kazanımı kapsamında değinilecektir.

3.2. Atık Maddelerin Geri Dönüşüm Yöntemleri ve Atık Yönetimi Uygulamaları

Çalışmanın bu aşamasına kadar yapılmış araştırmalarda, beton prefabrikasyon üretim sistemi tarafından salgılanan atıkların, aşağıda başlıkları verilmiş olan yöntemler ile geri dönüşüm uygulamaları ve önerileri göze çarpmıştır. Prefabrike beton endüstrisinin, salınımına neden olduğu atıklar, yoğunlukla yarı mamul beton ve betonarme atıklardır. Bu nedenle ve bugüne kadar yapılmış akademik çalışmaların bu tip atıkların üzerine yoğunlaşması ile en büyük çevresel ve ekonomik kazanım bu atıkların doğru yönetimi ve geri kazanımı sayesinde ortaya çıkacaktır.

Bu noktada, beton ve betonarme atıkları üzerinde sürdürülebilir geri dönüştürme işlemleri uygulanarak, ekonomik ve çevreye duyarlı faydalar elde edilebilir.

3.2.1. Prizini almış prefabrike beton atıklarının agrega olarak geri kazanımı

Prefabrike beton inşaat sektörü tarafından açığa çıkan atıkların büyük bir kısmını prizini almış beton ya da betonarme parçalar ve kütleler oluşturmaktadır. Bu atıklar genel olarak, hatalı üretimler, prefabrike elemanlar üzerinde yapılan modifikasyonlar ve rezervasyon amaçlı kesimler ve beton dökümü sırasında kalıp dışına taşmalar ya da dökülmeler sonucu ile ortaya çıkmaktadır. Bu atıklar, agrega olarak geri dönüştürülerek, prekast beton içeriği de dahil olmak üzere birçok inşaat ve inşaat dışı uygulamada kullanım olanağına sahiplerdir.

Avrupa Birliği ülkelerinde, eski binaların yıkılması, beton yolların yenilenmesi, prekast üretimindeki fireler gibi nedenlerden kaynaklanan inşaat atıklarının, birim nüfus başına kullanım miktarı, yılda 500 kg olarak tahmin edilmektedir. Nispeten daha gelişmiş olan bazı ülkelerde bu değer daha yüksek olup, Almanya'da yılda kişi başına 700 kg olarak açıklanmıştır. Bu tip katı atıkların en önemli geri kazanım olanağı değişik cins ve nitelikteki agrega üretimi olarak ortaya çıkmıştır. Nitelikli agrega kaynaklarının azalması ve agrega üretimindeki çevre baskılarının artması, geri kazanılmış agrega kaynaklarının kullanım gereksinimlerini arttıran gerçeklerdir [Arioğlu ve ark., 2009]. Bu durum, yapı sektörüne ait söz konusu atıkların daha da değerlendirilmesine ve agrega ihtiyacının karşılanabilmesi için kaynak olarak ele alınmasına sebep olmuştur.

Geri dönüştürülmüş agregaların kullanım alanları

Geri dönüştürülmüş agregalar, birçok başlıca yapı malzemesi içerisinde hammadde olarak kullanım olanaklarına sahiptirler. Ayrıca, ortaya çıkan yapı malzemelerinin kullanıldığı farklı alanlar neticesinde, geri dönüştürülmüş agregalar geniş bir uygulama alanı elde ederler.

Geri dönüştürülmüş agregaların imalatı ve kullanımına özel, Avrupa sınırları içerisinde herhangi bir teknik standart yayınlanmamıştır [WRAP, 2010]. Bu konu, daha çok agrega ile ilgili ve aşağıda bahsi geçecek olan diğer yapı elemanları ile ilgili standartlarda ele alınmıştır. Geri dönüştürülmüş agregaların hammadde olarak kullanılabilirdiği başlıca malzemeler aşağıdaki gibidir.

Beton

Kalın ve ince agreganın, çimento ve su ile karıştırılması ile elde edilen temel bir inşaat malzemesidir. Beton'un birçok kullanım alanı, tipi, sınıfı, teknik özellik ve şartnamesi mevcuttur. Betonun sınıflandırılması, özelliğine, içeriğine, kullanım amaç ve alanına göre değişiklik gösterir. En yoğun olarak, "Yapısal Beton" olarak adlandırabileceğimiz, yük taşıyan, bir strüktürün parçasını oluşturan beton ve "Yapısal Olmayan Beton" olarak adlandırabileceğimiz, katı yüzey ihtiyacı duyulan ancak yük taşıma özelliği çok kritik olmayan beton uygulamaları karşımıza çıkar. Çoğu beton imalatı, ihtiyaç alanında, betonun ıslak olarak dökülmesi yöntemi ile yapılırken, prefabrike beton imalatı olarak adlandırılan bazı durumlarda ise beton imalatı ihtiyaç sahası dışında bir alanda gerçekleştirilir. Prizini almış beton elemanlar ihtiyaç alanına taşınması ve burada montajı neticesinde sonuç ürün elde edilir.

Dünya çapında, genel olarak tüm geri dönüştürülmüş agrega cinslerinin C20 kalitesine kadar olan beton üretiminde iri agrega yerine; geri dönüştürülmüş beton agregalarının ise C50 sınıfına kadar olan beton üretiminde iri agreganın %20'si yerine kullanılabilirdiği kabul edilir [WRAP, 2010].

EN 12620 numaralı Avrupa normlarında, beton agregaları ile ilgili genel standartta, geri dönüştürülmüş agreganın yalnızca 25 mPA basınç dayanım değerinin altındaki beton sınıfları için kullanılmasına izin verilmekte olup,

agreganın kaynağının da en az 35 mPA basınç dayanımına sahip beton olması istenmiştir [WRAP, 2010].

Geri kazanımlı agreganın beton içeriğinde ağırlıklı olarak kullanımı, İkinci Dünya Savaşı sırasında tahrip edilen bina yıkıntılarında yararlanılması ile başlamış, ancak bu yoğun kullanım daha sonraki yıllar içinde azalmıştır. 1990'lı yıllarda ise dünyada enerji tasarrufu ve çevreyi korumaya yönelik olarak geliştirilen *sürdürülebilirlik* yaklaşımları ile birlikte, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere geri kazanılmış agreganın beton sektöründe yeniden kullanılmaya başladığı ve kullanım oranının gün geçtikçe giderek arttığı görülmektedir. Ülkemizde ise, 1999 yılında meydana gelen depremlerde, çok miktarda bina yıkıntısı ortaya çıkmış, yıkılan bina atıklarının tamamına yakını denize dökülmüştür. Bu olayın ortaya çıkardığı durum nedeni ile beton sektöründe ortaya çıkabilecek geri kazanım kültürü ve teknolojisi oluşturulamamıştır [Arioğlu ve ark., 2009].

Bu çalışmada beton prefabrikasyon endüstrisi tarafından açığa çıkarılan katı atıkların, tesis dışına çıkmadan faydalı geri kazanımı temel hedefi oluşturmaktadır. Bu nedenle geri kazanılmış agregaların da, prekast beton içeriğinde kullanımı üzerinde yoğunlukla durulacaktır.

Bitümlü malzemeler

Bitümlü malzemeler içeriğinde kütle bazında %90-%95 mertebesinde iri ve ince agrega içerirler. Bu agregalar birbirlerine bitüm olarak adlandırılan siyah ve yapışkan hidrokarbon karışımı içeriği ile bağlanır ve asfalt olarak adlandırdığımız yapı malzemesini ortaya çıkarırlar. Söz konusu bitümlü malzemeler genellikle yol inşaatlarında; asfalt aşınma tabakasını, asfalt binder tabakasını ve plentmiks temel katmanını oluşturmak amacı ile kullanılırlar [WRAP, 2010].

Hidrolik bağlayıcı malzemeler

Hidrolik bağlayıcı malzemeler, basitçe bir bağlayıcı malzeme ve su yardımı ile elde edilen ve sertleşen malzemelerdir. Kısaca bu malzemeler, hidrolik reaksiyon sonucunda elde edilen malzemeler olarak tanımlanabilir. Çimentonun özellikleri sayesinde hızlı priz alan çimento esaslı malzemeler bu gruba girer. Ayrıca daha yavaş bağlayıcılık özelliği gösteren uçucu kül ve maden ocağı cürufu gibi endüstriyel yan ürünler ile elde edilen materyaller de bu tip malzemelerdir. Hidrolik bağlayıcı malzemelerin kullanıldığı başlıca uygulamalar arasında; yol inşaatları ve endüstriyel zemin uygulamaları gibi kaplama işlerinin yanı sıra, erozyondan korunma çalışmaları, üst dolgu işleri, sondaj ve arama platformları uygulamaları ve baraj setleri gibi strüktürel imalatlar sayılabilir [WRAP, 2010].

Serbest (bağlı olmayan) malzemeler

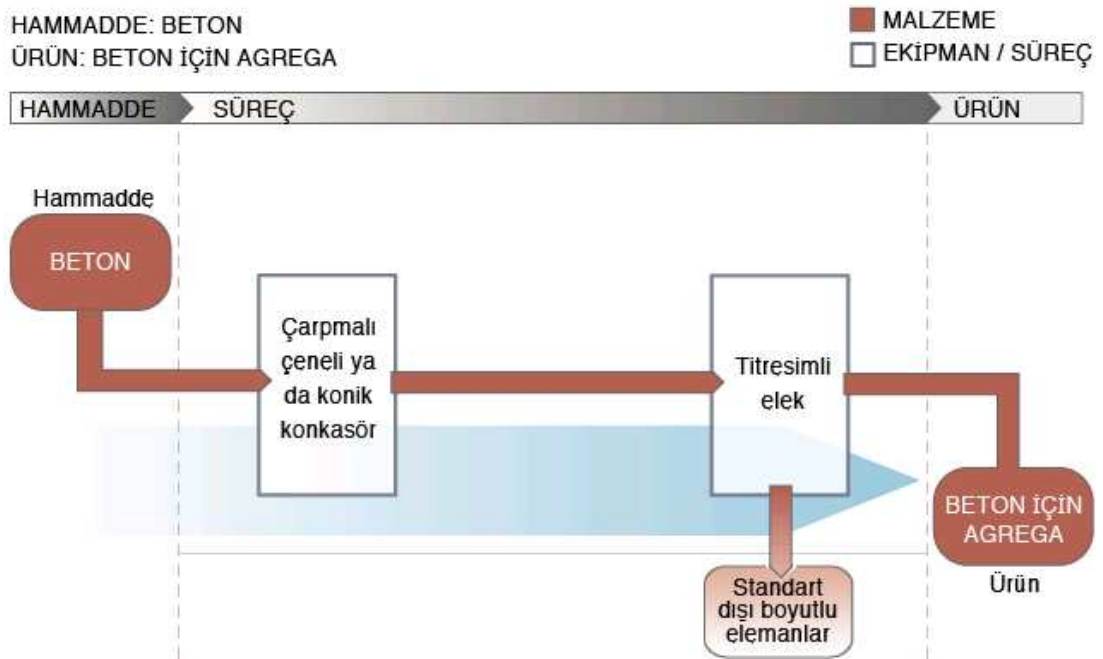
Bu tip malzemeler küçük tane çapına sahip malzemelerden başlayarak (kum, taş tozu vs.) büyük boyutlu elemanlara kadar uzanan geniş bir aralıktaki malzemeler olarak sayılabilir. Bu malzemeler; toprak set imalatlarında, dolgu benzeri toprak işlerinde ve yol, temel altı blokaj ve stabilizasyon uygulamalarında kullanılırlar [WRAP, 2010].

Agrega geri kazanım prosesi

Beton atıklarının, prefabrike beton üretiminde ya da betonarme içeriğinde hammadde olarak geri dönüştürme süreci, basit bir takım mekanik uygulamalardan oluşmaktadır. Agregada geri dönüşümü üzerine çalışan fabrikalar, öncelikle beton-betonarme strüktür elemanlarını, buldukları yerde parçalayarak, geri kazanım için nakledilebilir boyuta getirirler. Elde edilen parçalar, geri dönüşüm tesisine getirilir ve bu tesiste parçacıklara

ayrıştırıp, boyut ve özelliklerine göre geri dönüştürme işlemini tamamlanması sağlanmaktadır [Lockwood, 2008].

İngiliz WRAP programı çerçevesinde yapılan çalışmalar, prekast beton atıklarını agregaya çevirmek için 2 farklı yöntem önermektedir. “Basit yöntem” olarak adlandırılan ilk yöntem, priz almış beton atığının, üzerinde püskürtme eklentisi olan bir kırıcıdan geçirilerek parçalara ayrılması, parçalanmış betonların bir eleme prosesinden geçirildikten sonra, normal boyuttaki parçaların geri kazanım kapsamında kullanılması, çok büyük kalmış olan parçaların ise sonuç ürün kapsamı dışında değerlendirilip atılması olarak açıklanabilir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Beton atıkların, beton içeriğinde kullanımı için agregaya geri kazanımı – Basit yöntem [WRAP, 2010]

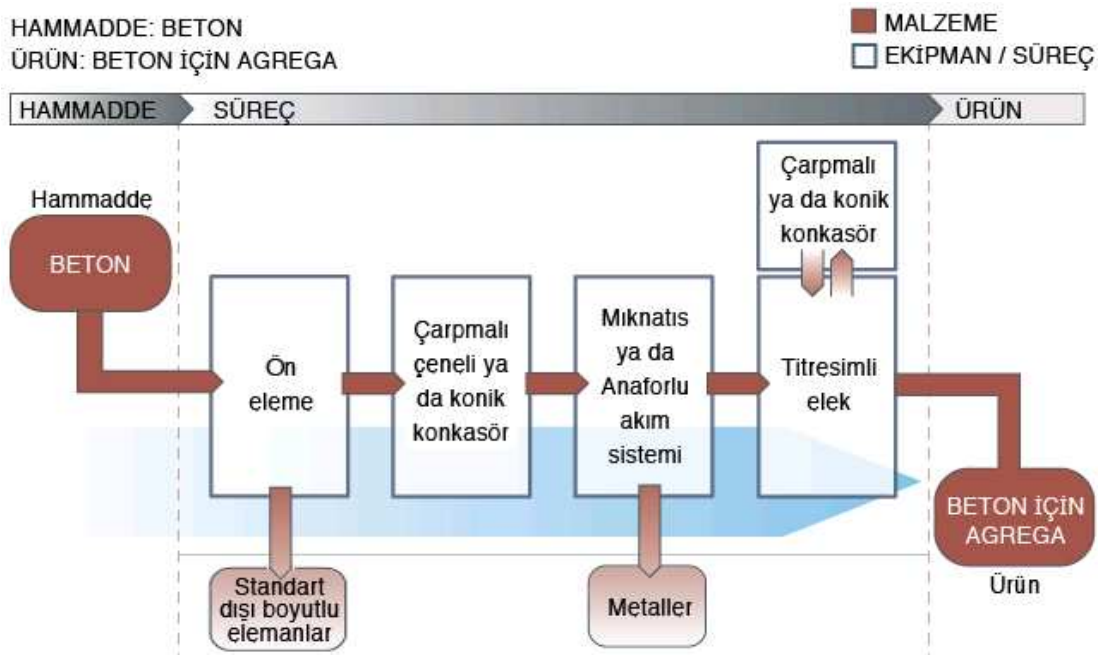
Atık beton ve betonarme malzemeler, geri dönüşüm prosesine tabi tutulmadan önce içerisinde, işlem ve yeniden kullanım özelliklerini sekteye uğratabilecek yabancı malzeme bulunmaması konusunda kontrolden geçirilmelidir. Basit yöntem, içerisinde yabancı malzeme bulunmayan beton

atıklarının (prekast beton briket, prizini almış beton atığı vs.) tekrar prekast beton karışımı içerisinde agrega olarak kullanılabilmesi için geri dönüştürülmesi için kullanılabilir. Prekast betonarme öngerilmeli boşluklu döşeme paneli gibi daha karışık atık maddelerin geri dönüştürülmesinde ise daha detaylı ve özellikli bir geri dönüşüm prosesi izlenmesi gereklidir. Prekast betonarme atıkları gibi atık maddelerin içerisinde bulunan metal parçalar, basit yöntem kullanılarak ayrıştırılamazlar. Bu tip atıkların basit yöntem çerçevesinde geri dönüşümü için, metal parçaların geri dönüşüm aşaması öncesi farklı bir yöntem kullanarak ayrıştırılması gerekir.

“Kompleks Sistem” olarak adlandırılan ikinci geri dönüştürme yöntemi, atık prekast beton elemanlar gibi içinde bir miktar demir malzeme bulunan betonarme atıklarını (içerisinde öngerme halatı veya demir donatı bulunan prekast elemanlar ya da alüminyum profil içeren prekast duvar panelleri gibi), tekrar beton hammaddesi olan agrega olarak geri dönüştürebilmek için daha uygundur. Metal atık içeriği, kompleks yöntem olarak adlandırılan ikinci yöntem sürecinde kırma aşaması sürecine eklenen mıknatıslı bir düzenek kullanılarak otomatik olarak ayrıştırılabilir. Daha karmaşık olan ikinci geri dönüştürme yönteminde, basit yöntem ek olarak; eleme prosesi sonrasında elek üzerinde kalan büyük parçaların tekrar kırıcıya dönmesini sağlayan bir eklenti ve kırılmış betonları boyutlarına göre sınıflandıran ve ayrı ayrı depolayabilen bir eleme sistemi bulunmaktadır (Şekil 3.2). Bu eleme sistemi sayesinde, geri dönüştürülmüş agrega istenilen elek çaplarına göre ayrıştırılabilir.

BS 8500 dokümanı, beton içeriğinde agrega ile birlikte kullanılacak ikincil hammadde malzemeler ile ilgili sınırlamalar getirmiştir. Bu sınırlamalardan birisine göre, standart betonların içeriğine katılabilecek geri dönüştürülmüş agrega çapı, 4 mm’lik elek çapı değerinin altında kullanılamaz. Yani, geri dönüştürülmüş agreganın, beton karışımı içeriğinde, kum – taş tozu gibi ince agreganın yerine kullanılmasına izin verilmemiş olup, sadece kırma taş –

çakıl gibi iri agreganın yerine kullanılması uygun görülmüştür. Kompleks sistem olarak adlandırılmış geri kazanım sistemi sayesinde, beton içeriğinde kullanımı sınırlandırılmış 4 mm çapının altındaki geri kazanılmış ince agregaların da, bu eleme işlemi sonucunda ürün içeriğinden çıkarılması mümkün olacaktır [WRAP, 2010].



Şekil 3.2. Beton atıkların, beton içeriğinde kullanımı için agrega olarak geri kazanımı – Kompleks yöntem [WRAP, 2010]

Basit Sistem ve Kompleks Sistem olarak adlandırılan agrega geri kazanım proseslerinde kullanılan iş makineleri ve görevleri aşağıdaki özetlenmiştir.

Ekskavatör

Büyük boyuttaki beton kütlelerin taşınmasını ve üzerindeki pülverizatör eklentisi yardımı ile kütlelerin daha küçük boyutlara indirgenmesini sağlayan iş makinesidir. Ayrıca ekskavatör yardımı ile betonarme gibi içeriğinde beton dışında ek yapı malzemesi olan atıkların, geri dönüştürme işlemi öncesi temizlenmesi de sağlanabilir (Resim 3.1).



Resim 3.1. Pülverizatör eklentili ekskavatör tarafından betonarme blokların parçalanması [Freefoto, 2010]

Çarpmalı, çeneli ya da konik konkasör

Konkasörler hammadde olarak geri dönüştürülecek atığın küçük parçalara ayrılmasını sağlar (Resim 3.2). Seçilecek konkasör tipi; istenen agrega boyutuna, aşındırma özelliğine ve istenen ürün miktarına göre belirlenmelidir. Farklı tiplerdeki konkasörler geri dönüştürülecek atığın, orijinal boyutlarından 1:4 ile 1:20 oranlarında küçülmesini sağlar. Beton, kaya gibi sert hammadde malzemelerin parçalanması için en etkili iş makinesi ise, çeneli konkasördür.



Resim 3.2. Çeneli konkasör [WRAP, 2010]

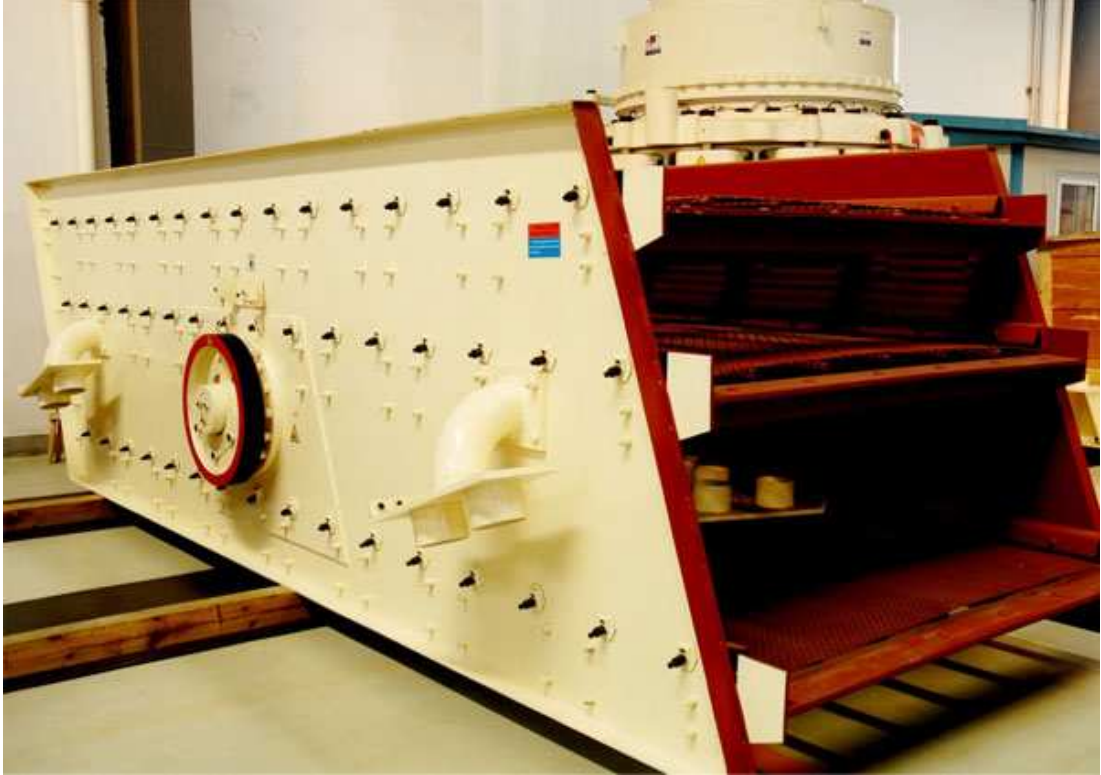
Titreşimli elek

Ekskavatörden geçen parçalanmış beton atığının, beton içeriğinde geri kazanımı için, bir eleme prosesine tabi tutulması gereklidir. Bu proses genellikle titreşimli eleklerin kullanımı yolu ile yapılır (Resim 3.3). Elekten geçen malzeme yüksek ve düşük çapta olmak üzere ikiye ayrılır. Beton agregası olarak kullanılamayacak kadar yüksek çapta olan ürünler, yeniden parçalanma işlemi için konkasörlere aktarılır. Beton hammaddesi olarak kullanılacak boyuttaki agregaların ise, kullanım öncesi birkaç farklı boyutta elekten geçmesi ve boyutlarına göre sınıflandırılması gereklidir.

Malzemelerin taşınması

Hammadde ürün, üretim sahasında genellikle konveyörler yardımı ile taşınırlar (Resim 3.4). Ancak, malzemelerin taşınma prosesi doğrultusunda

kesintiler olması durumunda, geri kazanılmış ürünün stok alanında taşınması, kepçe vb. makineler yardımı ile yapılabilir.



Resim 3.3. Titreşimli elek [Shanghai Shibang Machinery Co. Ltd., 2010]

Geri dönüştürülmüş prefabrike beton agregasının prefabrike betonu içeriğinde yeniden kullanımı

Bu tez çalışmasında, geri dönüşüm uygulamalarının beton prefabrikasyon çerçevesinde araştırılması nedeni ile prizini almış prefabrike beton ve betonarme atıklarının, geri dönüştürülerek prefabrik endüstrisi içerisinde, hammadde agregası olarak yeniden kullanım yöntemleri ön planda incelenmektedir. Ancak, yukarıda bahsi geçen, geri kazanım sistemlerine göre bir tesis kurmak, tüm prefabrike beton üreticileri için mantıklı bir yatırım olarak ortaya çıkmayabilir. Bu durumda, atık geri kazanımının, atığın bu iş üzerinde özelleşmiş geri kazanım tesislerine gönderilmesi yolu ile gerçekleştirilmesi gereklidir.



Resim 3.4. Bantlı konveyör [Schuster Concrete, 2010]

Hazır beton ve prefabrike beton üreticileri; geri dönüşüm firmaları ve yapı malzemesi üzerine çalışan bilim insanları tarafından, özellikle yüksek basınç dayanımı değeri gereksinimi duymayan uygulamalar içerisinde kanıtlanmış kullanım alanlarına rağmen, geri dönüştürülmüş agreganın beton içeriğinde kullanımı konusunda yavaş hareket etmektedirler. Geri dönüşüm üzerine çalışan İngiliz WRAP organizasyonunun, agreganın geri dönüşümü bölüm müdürü Mike Watson, geri dönüştürdükleri agreganın %5'inin beton karışımı içerisinde kullanıldığını ve bunun %90 oranındaki temel altı blokaj uygulamalarındaki faydalı geri kazanım uygulamalarına göre çok düşük kaldığını; her ne kadar geri dönüştürülmüş agreganın, betonun temel gereksinimlerini yüzde yüz oranında karşılayamasa da, düşük dayanımın

yeterli olduğu yapısal olmayan prekast beton uygulamalarında yoğunlukla kullanılabileceğini belirtmiştir.

İngiliz agrega üreticisi *Aggregate Industries Group* firmasının Çevre Yöneticisi Miles Watkins ise, firması ve konumu nedeni ile konuya daha farklı bir açıdan yaklaşmış ve geri dönüştürülmüş agrega kullanımının çevreye olumsuz etkileri olacağını savunmuştur. Buna neden olarak, geri dönüştürülmüş agreganın beton içeriğinde kullanılmasının, söz konusu ürünün su emme kapasitesinin fazla olması nedeni ile bu şekilde üretilecek beton içeriğinde daha fazla suya ihtiyaç duyacağı; su ihtiyacının artmasının da, çimento miktarının da artırılması anlamına geleceğini söylemiştir. Geri dönüştürülmüş agrega kullanımının düşük strüktürel dayanıma neden olacağını, bütün geri dönüştürülmüş agregaların, dayanım gerektiren ya da dekoratif özelliği olan ürünlerde kullanılamayacağını, ürünün kullanımına olan talep ne kadar yüksek olursa olsun, teknik gerekliliklerin göz ardı edilemeyeceğini sözlerine eklemiştir. Geri dönüştürülmüş agreganın teknik yetersizliğinin en büyük nedeni olarak, standart yıkım-kırım sahalarında geri dönüştürme işlemleri sırasında agreganın iyi ayrıştırılamamasını göstermiş ve daha iyi bir ayrıştırma işlemi sonucunda daha nitelikli bir geri dönüştürülmüş ürün elde edilebileceğini belirtmiştir.

Bureau Veritas Laboratuvarları müdürü Roger Rattue, geri dönüştürülmüş agregaların özellikleri üzerinde yapılan deneyler sonucunda çok fazla önem arz etmeyen problemler tespit edildiğini; ancak çoğu üretici firmanın gereksiz yere bu ürünün kullanımından çekindiğini söylemiştir. *Bureau Veritas* kapsamında, geri dönüştürülmüş agrega ile ilgili yapılması gereken testlerin tamamının yapıldığını ve artık söz konusu ürünün yoğunlukla kullanımı önünde bir engel bulunmadığını belirtmiştir. Geri dönüştürülmüş agrega kullanımının, yapı üretim maliyetinin düşürülmesine katkıda bulunacağını ve artık birilerinin bu ürünün standart olarak kullanımını başlatması gerektiğini eklemiştir [Stirling, 2005].

Geri kazanılmış agregaların beton içeriğinde kullanımı üzerine yorum yapan farklı disiplinlerin yetkilileri, konu üzerinde teknik, ticari ve çevre bilinci gibi farklı açılardan yorumlamalarda bulunmuştur. Ancak, tüm bu fikirleri, konu ile ilgili yapılmış bilimsel çalışmalar süzgecinden geçirerek değerlendirmek gereklidir. Prekast beton artıklarını, kullanılabilir agrega olarak geri dönüştürebilmek için öncelikle hammadde ürün iyi analiz edilmeli ve sonuç ürünün hangi alanlarda kullanılacağı doğru olarak planlanmalı ve tanımlanmalıdır.

Prefabrike elemanlar yapısal prefabrike elemanlar (kiriş, kolon, döşeme vs. gibi strüktürel çerçeve elemanları) ve yapısal olmayan prefabrike elemanlar (beton duvar blokları, çatı kiremit ve aksesuarları, boru ve kanallar vs.) olarak iki alt başlıkta incelenebilir. Prefabrike beton üretimi ile ilgili 13369 numaralı European Norms (EN) uyarınca, yapısal olmayan betonarme prefabrike elemanlar için kabul edilebilir minimum beton dayanımı C20-C25, yapısal ve önerilmeli prefabrike elemanlar için ise C30-37 olarak öngörülmüştür. Bu standartlarda; imalat toleransları, boyutlar, yüzey karakteristikleri, mekanik dayanım ve uzun ömürlülük konusunda da şartlar belirlenmiştir. Genel olarak prefabrike beton içeriğinde geri dönüştürülmüş agrega kullanımı ile ilgili belirgin kurallar koyulmamakla birlikte; söz konusu ürünlerin kullanımının, kullanım alanına ve ürün özeli uyarınca yapılacak fiziksel, kimyasal ve mekanik, agrega ve beton testlerine göre belirlenmesi gerektiğini belirtilmiştir. Bu nedenle geri dönüştürülmüş agregaların prefabrike beton karışımı içeriğinde kullanılması, kullanım öncesi yapılacak test ve üretim deneyimlerine göre yapılmalıdır. Buna ek olarak prekast beton üretimi ile ilgili bazı EN dokümanlarında, temel olarak, beton içeriğindeki hammadde malzemelerin; beton ömrünü kısaltıcı nitelikte, betonarme içeriğindeki metallerin korozyonuna neden olabilecek özellikte, karışım, priz alma, dayanım, su emme kapasitesine hasar verici içerikte olmaması, betonun kullanım amacına uygun olması gerektiğini ve sadece belirlenmiş amaca uygunluğu saptanan malzemelerin beton içeriğinde kullanılabileceğini

belirtmiştir. Geri dönüştürülmüş agregaların prefabrike beton içeriğinde kullanımında bu hususlar mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır [WRAP,2010].

Beton üzerine bugüne kadar yapılan literatür çalışmaları, maksimum agrega boyutları ve ağırlıkça su : çimento oranı açısından değerlendirildiğinde, geri dönüştürülmüş iri agrega oranının ağırlıkça %30'dan fazla olduğu karışımlarda, beton basınç dayanımının ciddi biçimde azaldığı; büzülme ve sünme deformasyonlarının ise normal agregalı betonlara kıyasla biraz daha yüksek değerler verdiği sonucuna ulaşılmıştır. Bu sonuçlar temel olarak, kullanılan geri kazanılmış iri agregaların bazı kısımlarının betonun harç fazı ile örtülü olması, başka bir deyişle normal iri agregaya göre, su emme kapasitenin daha yüksek olması ile yakından ilişkilidir. Beton basınç dayanımında gözlenen düşüşün yarattığı olumsuz etki, süper akışkanlaştırıcı kullanılarak su : çimento oranının aşağı çekilmesi ile giderilebilir [Arioğlu ve ark., 2009]. Geri dönüştürülmüş agrega kullanımı sebebi ile basınç dayanımında ortaya çıkan düşüş; karışım suyunun iki kademedeki eklendiği beton üretim yöntemi ile giderilebilir. Bu üretim prosesi sırası ile; ince ve iri agreganın kuru olarak karıştırılması, ardından karışım suyunun yarısının ilave edilmesi, daha sonra çimento eklenmesi sureti ile karıştırma işlemine devam edilmesi ve son olarak kalan karışım suyunun içeriğe eklenmesi şeklinde tanımlanmış bir beton üretim yöntemidir [Tam ve ark., 2005]. Büzülme ve sünme deformasyonlarındaki artış ise, prekast beton üretiminde yaygın olarak kullanılan buhar kürü uygulaması ile erken dayanım artırımı sayesinde, betonun harç fazı ile örtülü geri kazanılmış agreganın su emme kapasitesinin azaltılması yolu ile çözümlenebilmektedir. [Ho ve ark., 2003]

Donatı ile geri dönüştürülmüş agregalı yapısal betonun aderansı değerlendirildiğinde, aderans değerlerinin 2 mPA ile 6 mPA arasında olduğu ve ilgili deprem yönetmeliklerinde şart koşulan değerleri fazlası ile sağladığı görülmüştür [Eguchi ve ark., 2005]. Geri dönüştürülmüş agregaların yapısal

olmayan prekast beton briket ve beton blokların içeriğinde ince ve iri agrega olarak %100 oranında, buhar kürüne tabi tutulmuş, yapısal prefabrike beton elemanlarda ise %50 oranının üzerinde kullanılabilirdiği, deneysel yöntemler ile kanıtlamıştır [Poon ve Kou, 2007].

Geri dönüştürülmüş prefabrike beton agregasının diğer disiplinlerde kullanımı

Geri kazanılmış prefabrike beton agregasının katı atık sahalarına boşaltılma işlemi sürdürülebilir bir geri dönüşüm yöntemi olarak kabul edilemez [Chitra, 2005]. Bu nedenle, prefabrikasyon endüstrisi tarafından açığa çıkarılan ve endüstri içerisinde faydalı olarak yeniden kullanımı mümkün olmayan atıklar için farklı geri kazanım olanaklarının değerlendirilmesi zorunludur. Prefabrike beton, betonarme ve inşaat atıklarının geri dönüştürülmesi ile elde edilen agregalar birçok farklı uygulamada hammadde olarak kullanılabilirler. Bu uygulamalar ve kullanım biçimleri aşağıda özetlenmiştir.

Yol inşaatları

Geri dönüştürülmüş agregalar beton yol inşaatlarında, yol katmanlarının birçoğunun uygulamasında hammadde olarak kullanılabilirler. Beton yol katmanlarının en üstünde bulunan betonarme katmana ait hammadde agrega içeriğinin %20'si, blokaj ve tesviye katmanının tamamı şartnamelere uygun olması kaydı ile geri dönüştürülmüş agregalar kullanılarak inşa edilebilir. Ayrıca yol inşaatlarında araç yolu dışındaki yan uygulamalarda da geri dönüştürülmüş agrega kullanımı mümkündür. Bu uygulamalardan, beton kaldırım uygulamasında beton agrega içeriğinin %20'sinde ve yol drenaj uygulamalarında filtre tabakasının %100'ünde geri kazanılmış agregalar kullanılabilir. Yol inşaatlarında büyük oranda prekast elemanlar kullanılmaktadır. Bu prekast elemanlar; bordür ve kaldırım taşları, New Jersey bariyerleri gibi bölücü, güvenlik ve bitiş amaçlı elemanlar ya da yağmur oluk taşları, menholler ve su boruları gibi su tahliye amaçlı kullanılan

beton-betonarme prefabrike yapı elemanlarıdır. Bu elemanların içeriğinde de yapı elemanlarının özelliklerine göre agrega yerine çeşitli oranlarda geri dönüştürülmüş agrega kullanımı mümkündür.

Ekonomik bir seçenek olarak geri kazanılmış agregaların beton asfalt yapımında kullanımı, sadece atık malzemelerin değerlendirilmesinde değil, aynı zamanda yol inşaatlarında gereken kaliteli agrega ihtiyacının karşılanmasına da yardımcı olmaktadır [Waqar, 2008]. Asfalt yol inşaatlarındaki üst katmanlar olan asfalt aşınma tabakası, asfalt bağlayıcı tabaka ve bitümlü temel uygulamalarında, hammadde agrega yerine %100 oranında geri dönüştürülmüş agrega kullanımı mümkündür. Asfalt yol inşaatlarında yapılan, blokaj ve tesviye tabakaları, drenaj ve bitiş uygulamaları ve prekast eleman uygulamalarının kullanımı beton yol inşaatlarındaki uygulamalar ile aynıdır [WRAP, 2010].

2005 yılında İngiltere’de yapılan piyasa araştırmaları, yerel yönetimlerin sadece yarısının, yol inşaatlarında geri dönüştürülmüş malzeme kullanılmasına müsaade etmekte olduğunu ve sadece %10’u bu uygulamaların hayata geçirilmesinde ve maddi olarak kazanca dönüştürülmesi çerçevesinde yüklenici firmaları yönlendirmekte olduğunu göstermektedir. Temel kural ve şartnamelere uygun olarak yapılan beton atıklarının geri dönüştürme işlemi sonucunda elde edilecek agregalar, yerine kullanıldığı hammadde malzemeler ile kıyaslandığında aynı ve hatta bazı durumlarda daha yüksek kalite ve performans değerleri verebilmektedir. 2004 yılında BS yerine kullanılmaya başlayan, yol inşaatları ile ilgili Avrupa Birliği standartları, geri kazanılmış agregaların birçok inşaat kaleminde kullanımına izin vermekte, hatta teşvik etmektedir [BRE ve TRL, 2005].

Geri kazanılmış beton agregaları, doğal agregalara göre farklılık gösteren bir takım karakteristik özelliklere sahiptir. Bunlar; daha yüksek pürüzlülük, asimetrik biçim, boşluklu doku ve düşük özkütle özellikleridir [Waqar, 2008].

Bu özellikler yol inşaatlarının bazı noktalarında, geri kazanılmış beton agregalarının, doğal agregalardan daha üstün fiziksel nitelikleri sayesinde, kullanım avantajlarının daha da fazlaşmasını sağlar.

Zemin güçlendirme ve toprak işleri

Prekast betondan elde edilmiş geri dönüştürülmüş agregalar, dolgu ve güçlendirme gibi birçok toprak işinde kullanım olanağına sahiptir. Stabilize yol yapımında, zemin dolgu malzemesi olarak kullanımda, peyzaj düzenlemelerinde, kullanılmayan maden veya yakıt arama kazılarının kapatılmasında, zemin su seviyesinin altında kalan alanların doldurularak ıslahında, yük aktarma platformlarının inşasında, toprak iyileştirilme işlemlerinde ve sıkıştırılmış blokaj katmanlarında, geri kazanılmış beton agregaları %100 oranında kullanıma uygundur [WRAP, 2010].

Beton ve betonarme imalatlar

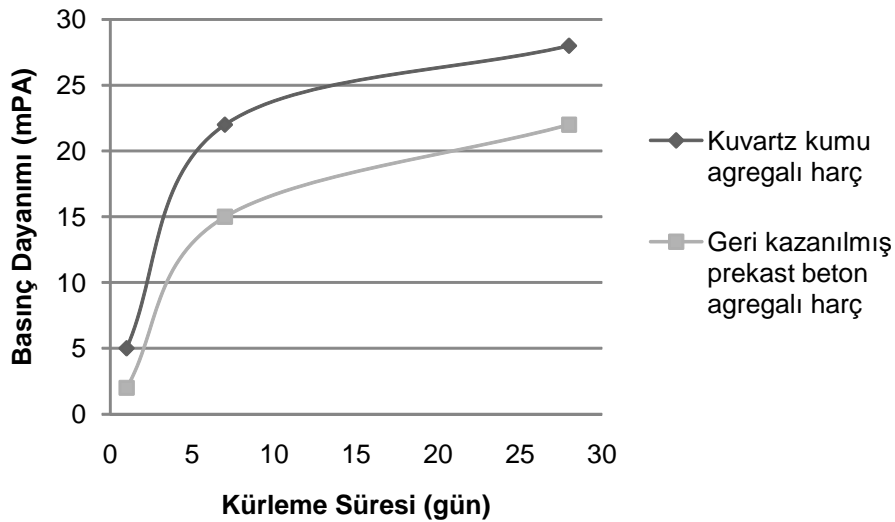
Beton, uluslararası düzeyde, strüktürel ve konstrüktif anlamda en fazla kullanılan yapı malzemesidir. Bu yoğun kullanım alanları içerisinde, geri kazanılmış agregaların kendisine yer bulması, özellikle sürdürülebilir çevre açısından oldukça önemlidir.

Beton, tüm inşaat yöntemlerinde temel ve altyapı uygulamalarında, alternatifi bulunmayan bir yapı malzemesidir. Standart temellere ait betonarme radye temel döşemelerinde, temel altı grobeton uygulamalarında, tekil ya da sürekli temel pabuçlarında, temel yastıklarında, iri agreganın %20'sinin yerine; derin temellerde ise; taşıyıcı perde duvarlarda, prefabrike beton kazık temellerde, fore kazık imalatlarında, bağ kirişi imalatlarında iri agreganın yine %20'sinin yerine geri dönüştürülmüş beton agregası rahatlıkla kullanılabilir.

Geri dönüştürülmüş beton agregaları için, betonarme üst yapı inşaatları çerçevesinde de yoğun kullanım olanakları ortaya çıkmaktadır. Baraj inşaatlarının betonarme set duvarlarında, konvansiyonel bina inşaatlarında, betonarme iskelet sistem imalatlarında, prefabrike betonarme kolon, giriş, döşeme paneli, merdiven vb. imalatlarda, prefabrike betonarme elektrik ve aydınlatma direği ve traverslerinin imalatlarında, betonarme konvansiyonel köprü, viyadük, tünel inşaatlarında ya da prefabrike köprü, viyadük, tünel elemanlarının imalatında, endüstriyel tesislerin ağır betonarme zemin döşemelerinde, liman, enerji santrali, su arıtma tesisi gibi özellikli ve yoğun betonarme imalatın yapıldığı tesislerde, beton-betonarme içeriğindeki iri agregaya gereksiniminin %20'si yerine; prefabrike demiryolu traversleri, prekast beton duvar blokları ve prekast çatı kiremiti imalatlarında ise iri agregaya gereksiniminin tamamı yerine geri dönüştürülmüş agregaya kullanılabilir [WRAP, 2010].

Konu ile ilgili yapılan laboratuvar çalışmaları da, diğer akademik çalışmalarda olduğu gibi, doğal taş agregası yerine geri dönüştürülmüş beton agregası kullanımının, mekanik dayanım açısından daha düşük sonuçlar ortaya çıkardığı bulgusuna ulaşmıştır. Ancak, kullanılan geri dönüştürülmüş agreganın oranı da, betonun mekanik dayanımına ve ömrüne etki etmektedir. Bahsi geçen çalışmada, araştırmacılar geri dönüştürülmüş agreganın, yapı harcı olarak kullanılacak düşük dayanımlı beton içeriğinde kullanım olanakları üzerinde durmuşlar ve bahsi geçen amaca yönelik yapılan laboratuvar deneylerinde üç farklı agregaya kaynağı belirlemişlerdir. Bu üç kaynaktan birisi, prekast beton üretim tesisinde, çeşitli nedenlerde kullanılmayan, 50-55 mPA basınç dayanımını elde edecek karışım tasarımına göre hazırlanmış, prizini almış beton artıklarıdır. Bu beton artıkları, geri kazanılmış beton agregasına dönüştürme prosesine benzer bir süreçten geçirilmiş ve boyutlarına göre sınıflandırılmıştır. Deneye tabi tutulacak çimento esaslı harç karışımında, çimento : agregaya oranını 1:3 olarak ele alınmış ve 150 µm tane çapının üzerindeki agregaya parçacıkları elek üzerinde bırakarak karışıma

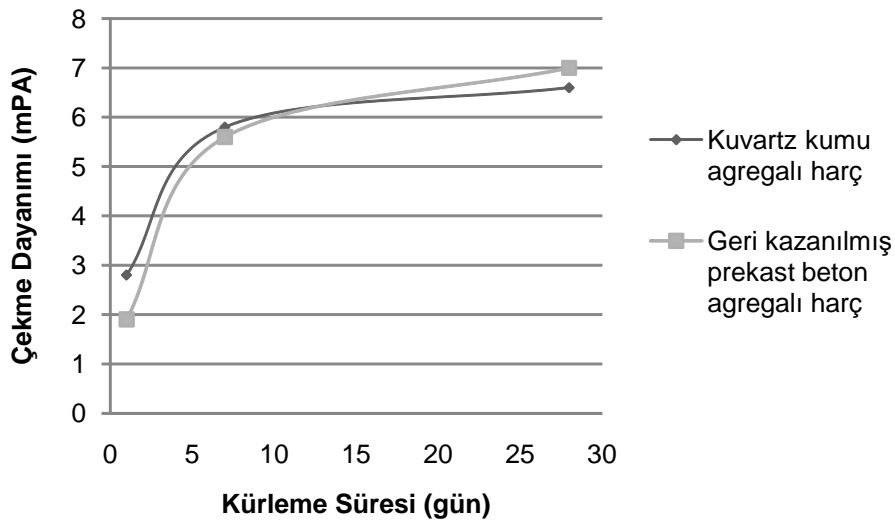
katılmamıştır. Prizini almış prefabrike beton artıklarının parçalandıktan sonra, 150 µm elekten geçenlerin oranı, toplam agregâ miktarının %10'u olarak ortaya çıkmış ve bu miktar harç karışımına katılmıştır. Karşılaştırma amacı için agregâ olarak kuartz kumu kullanılarak benzer bir karışım hazırlanmış ve geri dönüştürülmüş agregâ ile hazırlanmış çimento esaslı harç karışımı ile aynı testlere tabi tutulmuştur. Karışımların akışkanlığını eşit düzeye getirebilmek için, karışıma giren su miktarları farklı tutulmuştur. Geri dönüştürülmüş agregânın su emme oranı, kuvars kumuna göre daha yüksek olması nedeni ile karışım içeriğine kuvars kumu karışım içeriğinden %18,5 daha fazla su eklenmiştir. Her karışım için 9 adet prizmatik numune (40 mm x 40 mm x 160 mm) alınmış ve 20 °C sıcaklığında kür havuzunda bekletilmiştir. Elde edilen harç numunelerinin, hem basınç dayanımı (Şekil 3.3), hem de çekme dayanımı (Şekil 3.4) için yapılan deneylerin sonuçları karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 3.3. Çimento esaslı harçların deney süresi - basınç dayanımı grafiği [Corinaldesi ve Moriconi, 2009]

Yapılan laboratuvar deneyleri, düşük yoğunluğu ve yüksek su emme kapasitesi sebebi ile geri dönüştürülmüş agregâ kullanılarak oluşturulan çimento esaslı harcın, kuvars kumu kullanılarak elde edilen harca göre, basınç dayanımı açısından daha düşük bir değer vermiştir. Basınç dayanım

değeri, kuvars kumu kullanılan harca göre düşük değerde kalsa da, 28 günlük basınç dayanım değeri olarak elde edilen 22 mPA değeri, söz konusu karışımı kullanılabilir kılmaktadır. (Kuvars kumu karışımı 28 günlük basınç dayanım değeri 28 mPA olarak ölçülmüştür.) Elde edilen yüksek basınç dayanım değeri, geri kazanılmış beton agregası biçimlerinin keskin uçlu ve köşeli olması ile açıklanabilir. Bu biçimlenme sayesinde geri dönüştürülmüş prekast betonu agregası ile çevreleyen çimento arasında yüksek yapışma mukavemeti ortaya çıkmıştır. Çekme dayanımına yönelik deneylerin sonuçları değerlendirildiğinde ise, geri dönüştürülmüş agrega kullanılan harcın çekme dayanım değeri, kuvars kumu harcı değerinin üzerine çıkmıştır.



Şekil 3.4. Çimento esaslı harçların deney süresi - çekme dayanımı grafiği [Corinaldesi ve Moriconi, 2009]

Araştırmacılar, aynı karışımların kagir malzeme yapıştırma harcı uygulamasındaki sonuçlarını görebilmek için ise farklı bir deney düzeneği kurmuştur. Bu deney sonucunda 10 mm kalınlığında uygulanmış yapıştırma harçlarının, kagir malzeme ile aderans değerlerine bakılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, basınç dayanım değeri değerlendirmesinde düşük kalan geri dönüştürülmüş agregalı harç, kagir malzeme ile harç arasındaki aderans dayanımında referans alınan kuvars kumu betonuna göre 3 kat daha yüksek sonuç vermiştir [Corinaldesi ve Moriconi, 2009]. Yığma yapı dayanımı ve

kagir duvar dayanımları üzerinde yapılan araştırmalar, kagir yapı sisteminin gücünün temel olarak duvar blokları ile harç arasındaki bağ ile ilişkili olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu bilgi ve elde edilen deney verileri birleştirildiğinde, kagir duvar uygulamaları ve yığma yapı sistemlerinde, bağlayıcı harç içeriğinde geri dönüştürülmüş prekast beton agregası kullanımının, duvarın strüktürel dayanımını önemli ölçüde iyileştireceği sonucuna varabiliriz.

Daha önce de bahsedildiği gibi, BS 8500 numaralı standart koşullarına göre, 4 mm elek çapının altında kalan geri kazanılmış agregaların yapısal ve yapısal olmayan beton karışımlarının içeriğinde kullanılması uygun bulunmamıştır. Bu nedenle Corinaldesi ve Moriconi tarafından yapılan akademik çalışma sonucunda elde edilen veriler, küçük boyuttaki geri kazanılmış prefabrike beton agregasının da faydalı geri kazanımı için önemli bir alternatif ortaya çıkarmıştır.

3.2.2. Prefabrike beton şerbeti atıklarının geri kazanımı

Prefabrike beton endüstrisi, imalat süreçleri esnasında; prizini almış beton ve betonarme gibi katı atıkların yanı sıra, yüksek su içeriğine sahip atıkların oluşumuna da neden olur. Yüksek su içeriğine sahip atıklar temel olarak iki uygulama sonucunda ortaya çıkar.

Bu uygulamalardan birincisi öngermeli prekast boşluklu döşeme imalatı esnasında ortaya çıkar. Boşluklu döşeme imalatı, kesintisiz bir hat üzerinde çalışan makineler yardımı ile yapılır. Bu makineler, beton dökümü ve beton içerisinde boşluk oluşturulmasını sağlayan makineler ve prekast boşluklu döşeme elemanlarının uygulama projelerine göre boyutlandırılmasını ya da biçimlendirilmesini sağlayan makineler olarak iki ana başlıkta toparlanabilir. Kesintisiz olarak imal edilen boşluklu döşemelerin, şantiyede kullanılması amacı ile boyutlandırılması zorunludur. Bu boyutlandırma işlemi için

kullanılan makineler, yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilen prekast betonunu, dönen çapraz dişli testereler yardımı ile kesmektedir (Resim 3.5). Bu kesim işlemi sürecinde, sürtünme nedeni ile ortaya çıkan ısıyı kesmek için, soğutucu olarak su kullanılır. Bu işlem, beton parçacıkları ile suyun karışması sayesinde yüksek miktarda su içeren beton şerbeti atıklarının oluşmasına neden olur.



Resim 3.5. Prekast boşluklu döşeme paneli, soğutucu olarak su kullanılarak boyutlandırma işlemi [Spiroll, 2010]

Yüksek su içerikli prefabrike betonu atığına neden olan ikinci uygulama ise beton kovalarının yıkanması işlemidir. Prefabrike beton üretim süreci esnasında, beton döküm kovaları çok kere doldurulup boşaltılır. Ancak üretim sürecinde meydana çıkacak kesintiler esnasında, beton kovalarının içerisinde kalan betonun priz alarak kovaların iç yüzeyine yapışmasının engellenmesi amacı ile beton kovalarının yıkanması gerekliliği oluşmaktadır. Bu gereklilik, ikinci bir yüksek su içeriğine sahip beton atık oluşumuna yol açar.

Prefabrike beton endüstrisi tarafından açığa çıkarılan yüksek su içeriğine sahip beton şerbeti atıkları, prizini almış prekast beton atıklarının aksine, devamlı olarak salınımı yapılan atık maddelerdir. Ayrıca yüksek su içeriği

nedeni ile söz konusu maddelerin hafriyat alanlarına boşaltılması, ya da doğrudan kanalizasyona verilmesi, atığın toprağa karışmasına neden olur. Bu sebeple, yüksek su içeriğine sahip atık beton şerbetinin çevreye olan zararlarını azaltma yöntemlerine özen gösterilmelidir.

Gowda Chitra tarafından yapılan çalışmada prekast beton endüstrisinde açığa çıkan iki tip beton atığının faydalı yeniden kullanım olanakları incelenmiştir. Söz konusu iki tip atığın birincisi, boşluklu döşemeler üzerinde boyutlandırma ve şaft, kolon vs. için rezervasyon amaçlı kesim işleri sonucunda ortaya çıkan, beton şerbeti atıkları (AD); ikincisi ise beton kovalarının yıkanması neticesinde ortaya çıkan beton şerbeti atıklarıdır (AK). Her iki atığın da su oranı çok yüksektir. Bunun nedeni hem boşluklu döşeme kesim işleminde soğutucu olarak su kullanılması ve kesilen beton parçacıkları ile suyun yoğun olarak karışması, hem de beton kovası yıkanması sırasında tazyikli su kullanılması sonucu suyun beton karışımı ile yoğun olarak irtibata geçmesidir. Parçalanma ve güçlendirilme şeklinde geri dönüştürülmüş beton parçalarının Kanada – Ontario şehrinde, agrega ihtiyacının %2'sine kaynak oluşturmasına rağmen prekast beton endüstrisi tarafından açığa çıkarılan yüksek su içeriğine sahip atık, beton endüstrisine yönelik çalışan geri dönüştürme disiplinleri tarafından henüz yeterince ele alınmamıştır. Halbuki beton endüstrisi tarafından kullanılan geri dönüşüm prosedürleri ele alındığında, prekast betonu atıklarının da kolaylıkla geri dönüştürülebileceği kanısı oluşmaktadır.

Yapılan bu çalışma sonucu, prekast beton endüstrisi tarafından açığa çıkartılan iki tip atığın, üç farklı yöntem ile yeniden kullanımı aşağıdaki gibi sıralanabilir [Chitra, 2005].

Prefabrike beton şerbeti atıklarının faydalı geri kazanılabilmesi için su azaltma yöntemleri

Yukarıda bahsedilen iki tip prekast beton şerbeti atığı, çok yüksek su içeriğine sahiptir. Bu özellikteki atıklar, sürdürülebilir nitelikte olmayan atık bertaraf yöntemleri için dahi, çok hacimli ve yığıntılı atıklardır. Atıkların içerisindeki suyun azaltılması sayesinde, atıklar daha basitçe kontrol edilebilir hale gelir, yer değiştirebilmeleri kolaylaşır, taşınma maliyetleri düşer ve faydalı geri kazanım olanakları artış gösterir.

Bahsi geçen iki tip beton atığının içerisindeki su oranının çok yüksek olması bu atıkların geri kazanımını zorlaştırıcı bir durum teşkil etmektedir. Atık beton şerbetleri içeriğindeki su miktarlarının azaltılması, atıkların, atık boşaltma sahalarına dökülmesi ya da kanalizasyona boşaltılması dışında daha sürdürülebilir bertaraf yöntemleri için konu edilebilmelerini kolaylaştırmaktadır. Bu yöntemlerden birisi, atığın içeriğindeki su, agrega ve çimento parçacıklarının, yeni beton karışımları içerisinde kullanılmasıdır. Kosmatka'ya göre standart bir beton karışımı içeriğindeki su : çimento oranı, 0,4 civarlarındadır. Ancak, atık prekast beton şerbeti içeriğindeki su : çimento oranını bu değerlere düşürmek, ekonomik olarak makul bir yöntem olarak ortaya çıkmamaktadır. Atık içeriğindeki su miktarını, Amerika'nın beton konusundaki yetkili kuruluşu olan *American Concrete Institute* (ACI) tarafından hazırlanan yönetmeliklerde *Controlled Low Strength Materials* (CLSM) olarak tanımlanan, düşük dayanımlı akışkan betonlar ve harçların daha yüksek su : çimento oranı değerlerine (2,9 ile 6,4 arasında) düşürmek ekonomik olarak daha fazla kabul edilebilir sonuçlar verebilmektedir.

Yoğunlaştırma ve suyunu alma yöntemleri, temel olarak yüksek su içeriğine sahip maddelerin, içerisindeki sıvı ve katı içeriğinin ayrıştırılması için kullanılan yöntemlerdir. Sincero ve Sincero tarafından yapılan çalışmaya göre, yoğunlaştırma işlemleri sonrasında atık içeriğindeki katı madde miktarı

ağırlıkça %15 oranı kadar yükseltilebilirken; santrifüj, vakumlu süzgeç ve kum süzgeci gibi su azaltma yöntemleri sayesinde, katı madde miktarındaki artış oranı %15'in üzerine çıkarılabilmektedir.

Yapılan prekast beton atığı geri kazanım çalışması kapsamında öncelikle; AD ve AK'nın faydalı geri kazanımı için su azaltma yöntemleri üzerinde durulmuştur. Bu çalışma çerçevesinde yapılan deneyler üç ana başlıkta toplanmıştır. Bunlar;

1. Atıkların sınıflandırılması,
2. Atıkların su azaltma yöntemleri,
3. Su azaltma yöntemlerinin maliyet analizleridir.

Söz konusu atıkların sınıflandırılması sonucunda ortaya çıkan bilgiler; atıklar ile ilgili tüm geri kazanım çalışmalarına temel oluşturacaktır. Çalışma kapsamında yapılan laboratuvar testleri sonucunda, iki tip prekast endüstrisi beton şerbeti atığına ait genel karakteristik değerler aşağıda sunulmuştur (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. AD ve AK sınıflandırması [Chitra, 2005]

Parametre	AD	AK
Şerbet Yoğunluğu (kg/m ³)	1500,0±2,6	1610,0±4,5
Toplam Katı Miktarı (%)	20,00±1,2	31,00±1,8
Günlük Katı Miktarı (kg/gün)	151,6	514,1
pH	11,30±0,30	11,60±0,40
Kalsiyum Karbonat (CaCO ₃) içeriği (%)	18,75±1,36	20,20±0,86
Kireç (CaO) içeriği (%)	0,27±0,055	6,86±1,37

Yukarıdaki tabloda da görüldüğü gibi AD, AK ile kıyaslandığında, yaklaşık %11 daha yüksek su içeriğine sahiptir ve bu nedenle su azaltma çalışmalarında AD için daha fazla işleme ihtiyaç olacak ve su azaltma prosesleri daha pahalıya mal olacaktır.

Aynı zamanda her iki atık da yüksek alkali değerlerine sahiptir. Bu özellik, atık malzemelerin evsel pis su atıklarını arıtma amacı ile kullanılabilmesi yolunda işaretler göstermektedir. Amerika'nın çevre koruma kuruluşu olan, *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) şartnamelerine göre, evsel atıkların alkali değerini yükseltmek için kullanılacak etken maddenin pH değerinin 12 olması gerekmektedir. Bu nedenle, AD'nin nispeten daha düşük alkali değeri nedeni ile biraz daha fazla olmak üzere, her iki atığın da evsel atıkların arıtılması amacı ile kullanımı için, pH değerlerinin yükseltilmesi, bunun için de ek kimyasal madde eklenmesi gerekecektir.

Her iki atığın da kalsiyum karbonat içeriği %20 civarlarında, birbirlerine yakın değerler vermiştir. Ancak atıkların kalsiyum oksit içerikleri; AD için %0,27, AK için ise %6,86 olarak bulunmuştur. Bu değerler iki atık içeriğindeki en önemli farklılığı vurgulamaktadır. AD'nin düşük kalsiyum oksit içeriği; döşeme kesimi sırasında hidratasyon oluştuğunu göstermekte olup, atığın gerekli çimento özelliklerini kaybettiğini göstermektedir. AD'nin bu özelliği, geri kazanılması sürecinde, beton harcı gibi yapı malzemelerinin imalatında bağlayıcı olarak kullanılmasına engel teşkil etmekte olup, daha çok beton ve harç karışımları içeriğinde su ve ince agrega ihtiyacını karşılayabilmek için geri kazanılabileceğini göstermektedir. Bu özellikleri AD atığının, CLSM olarak kullanımı için avantaj oluşturabilmektedir. Ancak, AD'nin pis su atıklarının alkali dengeleyici etken olarak kullanılabilmesi için, atığın %80 olan yüksek su içeriğinin azaltılması gerekmektedir.

AK, daha yüksek olan kalsiyum oksit içeriği ve daha düşük olan su içeriği nedeni ile geri kazanımı yolunda AD'ye göre daha fazla avantaja sahiptir. Bünyesindeki su içeriği, CLSM içeriğinde faydalı geri kazanımı amacı ile kullanıldığında, ürünün akışkanlığını olumlu yönde etkilemektedir. Makul su azaltma yöntemleri bulunduğu, yüksek kalsiyum karbonat içeriği

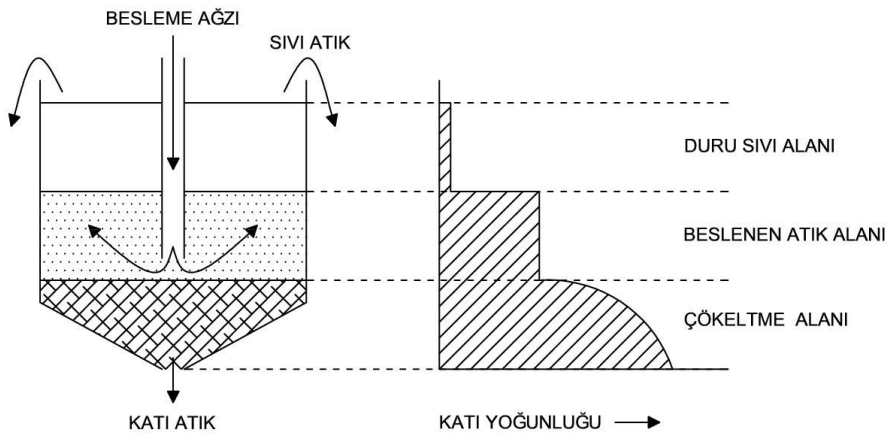
sayesinde, AK potansiyel bir pis su arıtma etken maddesi olarak göze çarpmaktadır.

Çalışmaya konu olan atıklar üzerinde yapılan sınıflandırma analizleri, AK için düşük dayanımlı beton ve harç olarak kullanılması ve pis su atıklarının arıtılmasında etken madde olarak kullanılabilirliğine yönelik yüksek özellikler ortaya çıkmıştır. Bu nedenle yapılan su azaltma deneylerinde AK göz ardı edilmiştir. Diğer tarafta AD, mevcut hali ile ne pis su atıklarının arıtılabilmesi için, ne de düşük dayanımlı betonların içeriğinde kullanılabilmesi amacı ile geri kazanımı için yeterli fiziksel özelliklere sahip olmadığı ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, su azaltma yöntemleri AD üzerinde yoğunlaştırılmış ve bu şekilde elde edilecek hacim azalma sonuçları sayesinde, CLSM içeriğinde kullanılabilmesi ya da en azından hafriyat döküm sahalarına sevk edilmesi ve boşaltılması sürecinde ortaya çıkacak nakliye maliyetlerinin düşürülmesi hedeflenmiştir.

İki tip prefabrike beton şerbeti atığının faydalı geri dönüşümü için, en verimli ve en ekonomik su azaltma yöntem analizleri çerçevesinde; çöktürme havuzlarında yoğunlaştırma prosesi, vakum süzgeci ve santrifüj uygulamaları ve tüm bu uygulamaların kimyasal katkı kullanılarak denendiği laboratuvar çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen tüm bu yöntemler günümüzde, evsel ve endüstriyel atıkların arıtma prosedürü içerisinde çeşitli sektörlerde kendilerine yer bulabilirken; prefabrike beton endüstrisi beton şerbeti atığı su azaltılması amacıyla çoğunlukla, yerçekimine bağlı yoğunlaştırma işlemi tercih edilmektedir.

Kaynak araştırmalarına göre, endüstriyel atıkların suyunun azaltılmasında kullanılan başlıca kimyasal etken maddeler; demir klorür, alüminyum ve demir sülfat olarak ortaya çıkmaktadır. Kimyasal madde eklenmesi işlemi, atık beton şerbeti içeriğindeki katıların karışım içerisinden ayrışmasına yardımcı olur. Kimyasal etkileşim, sıvı içeriğin yüzeye çıkmasını ve katı

şerbet atığın geri kazanımı için taban çökmesini sağlar. Kimyasal madde etkinliğini ölçmeye yönelik çalışmalar için 1 litre hacimli kaplar içinde basit deneyler yapılmıştır. Kapların içine konulan iki tip atık (AD ve AK) içerisine farklı miktarlarda, yukarıda bahsi geçen kimyasal maddeler eklenmiş ve çeşitli karıştırma devirleri ile karıştırılarak elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

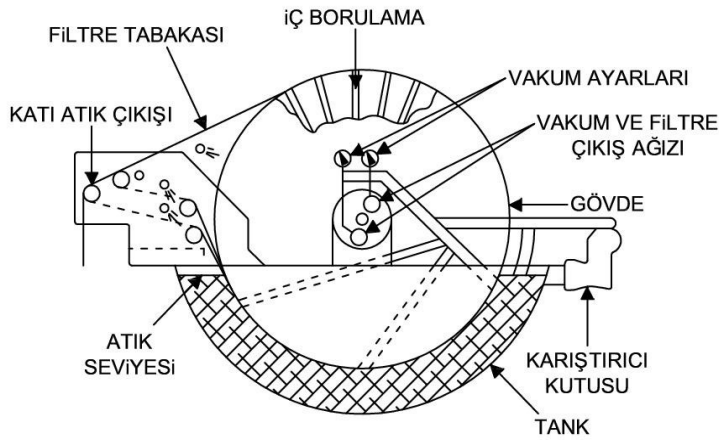


Şekil 3.5. Tipik çökeltme prosesi [Chitra, 2005]

Yerçekimine bağlı yoğunlaştırma yöntemi genellikle çökeltme tanklarında gerçekleştirilir. Çökeltme tankları içine dökülen atık beton şerbeti, temiz su, atık beton şerbeti ve yoğunlaşan katı olarak üç faza ayrışır (Şekil 3.5). Katılaşmış dibe çöken şerbet içeriği, çökeltme tanklarının altından toplanabilirken, temiz su içeriği tank üzerinden taşması yoluyla geri kazanılabilir. Yapılan laboratuvar çalışmalarında, çökeltme tanklarının yerine geçecek farklı boyutlarda kaplar kullanılmış ve işlem bir kaç kere tekrar edilerek çeşitli sonuçlar alınmıştır. Aynı kabın içerisinde, çok düşük devirli karıştırma işlemleri de yapılmış ve bu yöntem ile elde edilecek sonuçlar da değerlendirilmiştir.

Gale'e göre vakum filtresi, yoğun su içerikli atıkların, suyunu azaltabilmek için yüzyıllardır kullanılan bir yöntemdir. Vakum filtresinin çalışma prensibi, döner

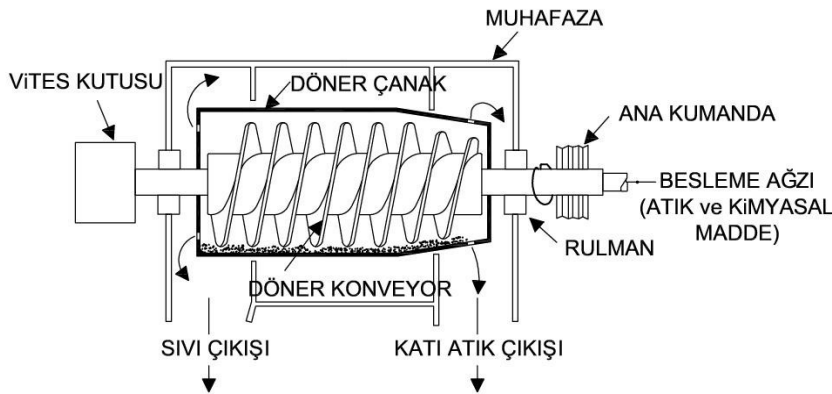
silindirik bir filtrenin, atık içerisine batırılmasından ibarettir. Silindir, tekstil esaslı bir filtre ile kaplanır ve atık malzemeye daldırıldığında içerisine harici bir cihaz yardımı ile vakum uygulanır (Şekil 3.6). Bu vakumlama sayesinde atık içerisindeki su, filtreden geçerek vakumlanır ve katı içerikten ayrışması sağlanır. Mekanizma üzerindeki bir sıyırıcı bıçak ise, silindir döndükçe, vakum etkisi ile üzerine yapışan katı içeriğin filtre üzerinden ayrılmasını sağlar. Vakum filtresi sistemi üzerine yapılmış olan kaynak araştırmaları, endüstriyel tip atık ayrıştırma işlemlerinde, kimyasal katkı malzemesi kullanımının yoğunlukla kullanılan bir su ayrıştırma yöntemi olduğu sonucuna ulaşmaktadır. Vakum filtresi sistemi, atık malzemeye göre yapılacak testlere göre belirlenebilecek birçok farklı filtre kullanılarak kurulabilir ve su ayrıştırma işlemine tabi tutulacak atık için en uygun filtre malzemesi, mekanizmanın oluşturulmasında seçilebilir.



Şekil 3.6. Tipik döner vakum filtresi sistemi [Chitra, 2005]

USEPA'ya göre döner çanaklı santrifüj sistemi de, şerbet kıvamındaki malzemelerin yoğunluk ve konsantrasyonunu arttırmak için yoğunlukla kullanılan bir yöntemdir. Kemp, sistemin çalışma mantığını, koni biçimindeki çanağın dönme etkisi ile atık içeriğindeki katı malzemelerin sıvılardan ayrışması ve çanak içerisinden deşarj olmadan önce eğimli yüzey üzerinde kuruyabilmesi olarak belirtmektedir (Şekil 3.7).

Prefabrike beton şerbeti atıklarının, su azaltma yöntemlerinin değerlendirilmesinde, sistem kurulum maliyetleri de önemli bir veri içermektedir. Farklı su azaltma yöntemlerinin verime yönelik farklı sonuçları irdelenirken, maliyet değişkeninin de göz önünde bulundurulması önemlidir. AD ve AK atık suyunun ayrıştırılması sırasında yapılan detaylı maliyet analizleri, en ekonomik su azaltma sistem kurulumunun vakum filtresi sistemi olduğunu göstermiştir. Bunu sırası ile santrifüj sistemi, çökeltme tankı ve kimyasal madde kullanımı izlemektedir.



Şekil 3.7. Tipik santrifüj sistemi [Chitra, 2005]

AD ve AK atıkları üzerinde su azaltma yöntemleri üzerine yapılmış olan deneyler ve analizler neticesinde ortaya çıkan sonuçlar aşağıda özetlenmiştir [Chitra, 2005]:

1. Kimyasal madde kullanılmadan yapılan, yerçekimine bağlı su azaltma sistemi deneyleri sonucunda, AD içeriğindeki katı oranı %20'den %30 mertebesine kadar yükseltilmiştir ki, ortaya çıkan suyu alınmış katı atık, alışıldandan daha yüksek su ihtiyacı duyan düşük dayanımlı beton ya da harçların içeriğinde kullanılabilmesi için yeterlidir.
2. Katyonik polimerlerin (Zetag 7888) kimyasal su azaltıcı etken madde olarak kullanımı AD içeriğindeki katı oranının %40 değerine çıkmasını sağlamaktadır. Ancak bu uygulama, AD'nin pH değerini düşürmekte ve

pis su atıklarının arıtılması amacı ile kullanılma potansiyelini zedelemektedir.

3. 2 ile 5 cfm porozite değerlerindeki naylon ya da polietilen filtreler kullanılarak uygulanan vakum filtresi işlemi, AD içeriğindeki katı oranını %50 değerine çıkarmıştır.
4. 5000 rpm devirde 20 dakika süresince yapılan santrifüj işlemi, AD içeriğindeki katı madde miktarını, vakum filtresi uygulaması ile yakın olan %48 değerine taşımıştır.
5. Vakum filtresi uygulaması, ilk yatırım maliyeti açısından en ekonomik su azaltma yöntemi olarak ortaya çıkmıştır.

Su azaltma prosesinden geçen AD veya AK atıkları, hem CLSM içeriğinde kullanılabilmesi için, hem evsel pis su atıklarının arıtılması için uygun niteliği kazanmıştır. Söz konusu atıklar, bu iki uygulama çerçevesinde, faydalı geri kazanma özelliği kazanamamaları da, su azaltma uygulamaları sayesinde hacimlerinin azalması bile atıkların daha kolay yönetilebilmesini sağlayacaktır.

Prefabrike beton şerbeti atıklarının düşük dayanımlı beton veya harç elde edilmesi amacı ile geri kazanımı

Suyu azaltılan prekast beton şerbeti atıklarının, faydalı geri kazanım yöntemlerinden birisi, ticari kullanıma yönelik düşük dayanıma sahip beton ya da harç karışımları içeriğinde hammadde olarak kullanılması yöntemidir.

Ontario – Kanada’da bulunan bir öngerilmeli prefabrike beton boşluklu döşeme üretim tesisinde hali hazırda bir pis su arıtma tesisi bulunmaktadır ve AD ve AK atıklarının, üretim hattı üzerinde oluşturmuş kanallar yardımı ile çökeltme tanklarında ayrı ayrı toplanması ve su azaltma prosedürüne tabi tutulması sağlanmaktadır. Söz konusu tesiste yapılan su azaltma uygulamaları sonucunda, çökeltme tanklarında yüzeyde kalan su denge

tanklarına aktarılmakta, kimyasal madde (asit) kullanılarak pH değeri dengelenmekte ve bu su şehir pis su şebekesine verilmektedir. Dibe çöken yoğunlaşmış atık beton şerbeti ise belirli aralıklarla temizlenerek, zemin dolgu malzemesi olarak değerlendirilmekte ya da atık sahasına boşaltılmaktadır.

Bu iki çevre duyarlılığı düşük bertaraf yönteminin dezavantajlarını daha eski çalışmalara da konu olmuştur. Beton mikseri tanklarının yıkanması neticesinde elde edilen betonun, yeniden hazır beton içeriğinde geri kazanılması üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, atığın yüksek su doygunluğu nedeni ile hazır beton içeriğinde çimentonun yerini alamayacağı sonucu elde edilmiştir. Benzer konu üzerinde daha sonra yapılan çalışmalarda ise, söz konusu atığın yüksek su içeriği nedeni ile ancak pompa ile uygulanabilen akışkan beton ya da grobeton olarak geri dönüştürülebileceğini söylenmiştir. Standart bir beton karışımında su : çimento oranı yaklaşık 0,4 oranındadır. Yüksek su içeriğine sahip bir çimento şerbeti atığının su oranını, standart bir beton karışımında kullanabilecek düzeye çekmek, ekonomik olmayan sonuçlar ortaya çıkaracaktır. Halbuki maliyeti çok yüksek olmayan bir su azaltma işlemi, söz konusu atıkların, kendinden yayılan beton gibi yüksek akışkanlık düzeyine sahip beton karışımı üretiminde maddi yönden çekici ve çevre duyarlı sonuçlar oluşturabilir. CLSM olarak adlandırılan bu tip beton karışımları, standart beton karışımlarına göre daha yüksek su : çimento oranına göre tasarlanır (2,9 ile 6,4 arası). ACI tarafından yapılmış kimyasal ve mekanik dayanım testlerine göre, atık beton şerbeti, geri dönüştürülerek CLSM üretiminde kullanım konusunda yüksek potansiyele sahiptir. Yüksek su içeriğine sahip, atık beton şerbetinin CLSM elde etmek amacı ile geri dönüştürülmesi, karışımın ihtiyacı olan suyun eklenme zorunluluğunu ortadan kaldırır. Bu şekilde CLSM üretiminde hem su, çimento vb. hammadde ihtiyacını azalarak çevreci bir yapı malzemesi elde edilir, hem de söz konusu hammaddelerin devre dışı kalması ile ekonomik kazanç sağlanması mümkün olur.

Atık beton şerbetinin, faydalı geri dönüşümü karşısındaki en büyük engel, içeriğindeki yüksek su oranıdır. Bu nedenle, atığın geri dönüştürülmesi öncesinde içindeki su oranının düşürülmesi gerekmektedir. Deneye konu olan atıkların temin edildiği tesiste, atıkların suyunun azaltılması için çökeltme yöntemleri kullanılmaktadır. Atıkların çökeltme tanklarında bir gün süre ile bekletilmesi, yüzeyinde suyun oluşmasına ve bu şekilde şerbet içeriğinde katı madde oranının, ağırlık bazında ortalama %6,5-%7 oranında artmasını sağlamaktadır. Bu su azaltma işlemi sonucunda, AD içeriğindeki su oranı ağırlık bazında yaklaşık %73, AK içeriğindeki su oranı ise ağırlık bazında yaklaşık %64 seviyelerine gerilemiştir. İki tip atık için yapılan elek analizlerinde, AD'ye ait katı içeriğinin yaklaşık %75'i, 80 µm kalınlığındaki elekten geçerken, AK'ya ait katı içeriğinin yaklaşık %80'i 430µm çapındaki eleğin üzerinde kalmıştır.

Söz konusu çalışma kapsamında, prekast üretim tesislerinde açığa çıkan AD ve AK'yı CLSM üretimi için hammadde olarak kullanmak amaçlı, AD için 3 ve AK için 4 tip numune karışım hazırlanmıştır. Söz konusu karışımlar içeriğinde atık beton şerbetine ek olarak; 1. tip numune karışımında uçucu kül bulunmakta olup bu karışımdan farklı içerik oranlarında 5'er adet; 2. tip numune karışımında uçucu kül ve çimento bulunmakta olup bu karışımdan farklı içerik oranlarında 3'er adet; 3. tip numune karışımında uçucu kül, çimento ve kum bulunmakta olup bu karışımdan farklı içerik oranlarında 5'er adet ve sadece AK için hazırlanan 4. tip numune karışımında uçucu kül, çimento, kum ve kırma taş bulunmakta olup bu karışımdan farklı içerik oranlarında 2'şer adet numune hazırlanmıştır. Bu karışımlar hem mühendislik disiplinleri ışığında (akışkanlık, priz alma süresi, özkütle, ayrışma, büzüşme ve dayanım), hem de maliyet analizleri çerçevesinde test edilmiştir. Yapılan detaylı testler sonucunda her iki tip atığın da dolgu malzemesi olarak kullanılması yerine, CLSM üretmek üzere geri dönüştürülebileceği sonucuna varılmıştır.

Konu ile ilgili yapılan detaylı deneyler doğrultusunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir [Chitra, 2005]:

1. Her iki tip beton şerbeti atığının da bünyesinde bulundurduğu su miktarı, CLSM üretimi için gerekli miktarı karşılamaktadır. Bu nedenle atık maddelerin geri dönüştürmesi yöntemi ile elde edilen CLSM karışımı içeriğine, su eklemeye gerek kalmamaktadır.
2. Atık beton şerbetleri içerisindeki su oranı, içeriğe kaba agrega eklenerek hazırlanan numune karışımlar hariç olmak üzere, oluşturulan diğer tüm numune karışımlarının CLSM üretimi için yeterli akışkanlık düzeyine ulaşması için yeterlidir.
3. AD'nin geri kazanımı yolu ile elde edilen karışımlar, CLSM karışımında içeriğe eklenmesi gerekli olan kum, taş tozu gibi ince agregaya olan ihtiyacın düşmesine neden olmuştur.
4. AK'nın geri kazanımı yolu ile üretilmesi planlanan akışkan beton ya da harçların aderans değerlerine, uçucu kül'ün verdiği benzer olumlu bir katkı sağlamaktadır.
5. Her iki tip atığın geri dönüştürülmesi yolu ile hazırlanacak CLSM karışımları içerisine, söz konusu ürünün fiziksel özelliklerinin sağlanabilmesi için çimento eklenmesi gerekmektedir.
6. AK kullanılarak hazırlanan karışımların, AD kullanılarak hazırlanan karışımlara göre daha yüksek strüktürel dayanıma sahip oldukları ortaya çıkmıştır.
7. Söz konusu atıklar kullanılarak hazırlanan karışımlarda, su : çimento oranı düştükçe; dayanım artar, priz alma süresi azalır, ancak akışkanlık düzeyi de düşer.
8. Karışımlara iri agrega eklenmesi; hem akışkanlık düzeyini azalmasına, hem de maliyetlerin yükselmesine neden olur.

Sonuç olarak her iki tip atığın da, hem ekonomik hem de sürdürülebilirlik bağlamlarında, çok yüksek faydalı geri dönüşüm olanakları ortaya çıkmıştır.

Söz konusu prekast beton atıklarının, akışkan beton, harç ve CLSM üreten ticari tesislere ulaşım organizasyonunun sağlanması neticesinde, atığın çevresel ve ticari fayda sağlayan bir hammaddeye çevrilmesi mümkün olacaktır. Ancak atıkların geri kazanımı öncesi, kullanılacak atıkların, elde edilecek ürün özellikleri çerçevesinde yerel koşullara göre, atığa ve ürüne yönelik özel deneylerin yapılması ve bu şekilde ürün karışım tasarımlarının yapılması gereklidir.

Prefabrike beton şerbeti atıklarının siyah atıkların alkali düzeyini dengeleyici olarak geri kazanımı

Prekast beton endüstrisi tarafından açığa çıkarılan, yüksek su ve alkali düzeyine sahip beton şerbeti atıklarının bir diğer geri kazanım yöntemi, siyah atık olarak adlandırabileceğimiz evsel pis su atıklarının alkali düzeylerini dengeleyici madde olarak geri dönüşümü uygulamasıdır. USEPA tarafından yayınlanan bildiriye, siyah atık dengeleme işleminin amacı; hastalığa neden olan bakteri ve organizmaların yok edilmesi, ağır metallerin ortadan kaldırılması, hastalık ve kötü koku iletiminin durdurulması ve atığın yönetilebilir ve kullanılabilir bir forma sokulması olarak açıklanmıştır. Konu ile ilgili yapılan diğer araştırmalar ise, dengeleme işleminden geçirilen siyah atıkların, tarım sektöründe bitkisel toprak veya gübre olarak kullanılabilir değerlere erişebileceği tezini ortaya koymuştur. Prefabrike beton endüstrisinin açığa çıkardığı yüksek bazik değere sahip atıklar, siyah atıkların pH düzeyini yükseltici etken madde olarak kullanılabilir. AK, kalsiyum oksit içeriği ve 11'in üzerindeki pH değeri ile pis su atıklarının alkali düzeyinin dengelenmesi için kullanılan diğer maddeler olan sönmemiş kireç, uçucu kül, kireç ocağı ya da çimento fırını tozu ile benzer özellikler göstermektedir. Alkali dengeleme prosesinin mevcut pis su arıtma tesislerine eklenmesi, söz konusu işlemin hem daha kolay, hem de daha ekonomik hala gelmesini sağlar.

Bu bölümde yüksek alkali düzeyine sahip prefabrike beton endüstrisi beton şerbeti atıklarının:

- Alkali dengeleyici etken madde olarak kullanılabilme niteliklerine göre sınıflandırılması,
- Bu özelliğe sahip prefabrike beton atıklarının gerekli durumlarda ek alkali düzenleyici maddeler ile karışım oranlarının belirlenmesi,
- Arıtma işleminden geçmiş pis su atıklarının bakteriyolojik karakteristikleri ve ağır metal içerikleri incelenmiş ve şartname limit değerleri ile kıyaslanması,
- İşlemden geçirilmiş pis su atıkları içeriğindeki, hastalık yapıcı organizma miktarının azalması ile ilgili süreç incelenmesi,
- İşlem sonrası ortaya çıkan ürünün pazarlanabilirliği ve kullanılabilirliği açısından gübresel değerlerinin ölçülmesi,

konuları araştırılmıştır. Yapılan araştırma çerçevesinde, çökeltme tanklarında bekletilen ve su içeriği azaltılan prekast beton şerbeti atıkları, yardımcı etken madde olarak sönmemiş kireç ile birleştirilmiş ve pis su atıkları ile karıştırılarak 8 tip karışım hazırlanmıştır. Bu biyokatı karışımlar; pH değerleri, ağır metal içeriği, zararlı bakteri miktarları ve tarımsal gübre değerleri açısından değerlendirilmiştir. Yapılan kimyasal ve biyolojik testler aşağıdaki sonuçları ortaya çıkarmıştır [Chitra, 2005]:

1. AK, siyah atıkların arıtılması için kullanılmaya uygundur.
2. Bu karışımlarda zararlı bakterilerin yok olma süreci, pH değeri, sıcaklık ve işlem süresi ile bağıntılıdır.
3. Pis su atıklarını, gerekli pH değerine ve ağır metal içeriğine indirgeyebilmek için, atığa ağırlıkça %30'u kadar beton şerbeti atığı, %20'si kadar sönmemiş kireç eklenmesi gerekmektedir.
4. Prekast beton şerbeti atıklarının arıtma işleminde kullanım miktarı arttıkça, elde edilen biyokatıların pH değeri de artış göstermektedir.

5. Pis su atığı içeriğindeki zararlı bakterilerin miktarını gerekli seviyeye çekmek için, biyokatı içeriğinde ağırlıkça %40 oranında beton şerbeti atığı ve %20 oranında sönmemiş kireç bulunması gereklidir ki bu oranlar çalışma kapsamında hazırlanan numune karışımlardan, içeriğinde en fazla alkali dengeleyici etken madde olan karışımdır.
6. Yapılan tarımsal analizler, içeriğinde %40 oranında beton şerbeti atığı, %20 oranında kireç kullanılarak arıtma işlemine tabi tutulan evsel pis su atığının, besin değeri ve ağır metal değerleri uyarınca bitkisel toprak veya gübre olarak kullanılabilme niteliğinde olduğu değerlendirilmesi yapılmıştır.

AD, metal içeriği nedeni ile içeriğinde yüksek miktarda ağır metal bulunan evsel pis su atığının arıtılması için uygun nitelik göstermemektedir. AK atığının, pis su arıtılması konusunda gösterdiği özellikler, prekast beton endüstrisi tarafından açığa çıkarılan beton şerbeti atığının faydalı geri kazanımı için yenilikçi ve yüksek çevresel özelliğe sahip bir yöntem olarak ortaya çıkmaktadır.

Atık beton şerbeti kullanılarak yapılan arıtma işlemi sonucunda elde edilen biyokatının, tarım sektöründe bitkisel toprak ya da gübre olarak kullanılabilirliğinin sağlanması, her iki atığın da geri kazanımı açısından çok değerli bir yöntem olarak göze çarpmaktadır. Yapılan çalışmada elde edilmiş bulgulara, bu sonucu elde etme hususunun mümkün olduğu değerlendirmesi yapılmasına rağmen; çimento esaslı bir malzemenin toprağa serilmesi toprak içerisinde yaşayan canlıların yaşam koşullarının devam ettirilmesi için uygun olmayabilir. Bu noktada, atık beton şerbeti kullanılarak arıtılan siyah atıkların, ticari amaçlı tarımsal gübre ve bitkisel toprak olarak geri kazanılması üzerine net verilerin ve sonuçların elde edildiği yeni çalışmaların yapılması, bu konunun aydınlanması için son derece önemlidir.

Prefabrike beton endüstrisinde uygulanan ticari atık geri kazanım yöntemleri

Amerika'nın Atlanta eyaletinde kurulu prekast beton üreticisi Metronorm firmasının uygulamasında, çeşitli su azaltma sistemleri, gerekli arıtma mekanizmaları ile birlikte, beton santraline ve üretim sistemine entegre edilmiş ve bu şekilde üretim sürecinde her hangi bir müdahaleye gereksinim duymadan su azaltma ve arıtma uygulamalarının hayata geçmesi sağlanmıştır. Metronorm firması, atıklarını kontrol etmekte hem ekonomik açıdan, hem de sınırlı fabrika alanı açısından zorluklar yaşamaması nedeni ile beton mikserine ve beton kovası yıkama alanına entegre edilmiş Avrupa tasarımı bir geri kazanım sistemini bünyesine katmıştır. Tekstil endüstrisinde kullanılan atık su arıtma sistemi ile başarısı kanıtlanmış su azaltma yöntemlerini bir arada kullanan sistem; beton kovalarının yıkanması sonucu ortaya çıkan şerbet atığı içeriğindeki ince ve iri agregaları ayıran bir ayrıştırıcı mekanizma, iki adet dört kanatlı santrifüj sistemi barındıran atık beton şerbeti toplama deposu ve 5 tanktan oluşan çökeltme ve su arıtma sisteminden oluşmaktadır [Marsh, 2007]. Firma, kurmuş olduğu mevcut üretim sistemine entegre mekanizmalar sayesinde, hem beton şerbeti içeriğindeki suyun azaltılması yolu ile nispeten daha düşük su içeriğine sahip beton şerbetinin çeşitli geri kazanım uygulamaları için hazır hale gelmesini, hem de açığa çıkan atık suyun arıtılarak gerek beton üretiminde gerekse diğer amaçlar ile yeniden kullanılabilmesine olanak sağlamıştır.

Alman Bibko firması ise, çeşitli endüstriler için geri dönüşüm sistemlerinin üretimi üzerine çalışan bir firmadır. Firma tarafından üretilen sürdürülebilir nitelikli 450 tip geri dönüşüm sisteminin 3'ü prekast beton üretim sektörünün özellikleri ve kullanımı düşünüülerek tasarlanmıştır. Bu makineler sayesinde, üretim sonucu açığa çıkan suyun geri kazanımı ve kum ile çakılın ayrıştırılabilmesi sağlanabilmektedir. Firma tarafından *BIBKO–Clarification System* olarak adlandırılan ürün (Resim 3.6); prefabrike beton endüstrisi tarafından salınımı yapılan atık suyun ve yoğun su içerikli çimento şerbetinin

geri kazanımını sağlayabilmektedir. Bu sistem tarafından arıtılan su; araç ve beton kovalarının yıkanmasında, beton üretiminde ve ıslak kumlama işlemlerinde kullanılabilir niteliğe sahiptir.



Resim 3.6. Bibko – Clarification System [Bibko System, 2010]

Bibko firmasının prekast beton endüstrisi için ürettiği bir diğer ürün ise, atık betonun geri kazanımını sağlar. *RWS Concrete Washer* olarak adlandırılan ürün (Resim 3.7), kendi içerisinde beton kovalarının yıkanmasını ve ortaya çıkan beton şerbeti içeriğindeki su, kum ve çakılın ayrışmasını sağlayan bir sisteme sahiptir. Kompakt boyuttaki bu sistem üzerindeki eklenti sayesinde, beton şerbeti içeriğinden ayrıştırılan suyun, geri kazanılabilir nitelikte arıtılmasını sağlanabilmektedir.



Resim 3.7. RWS Concrete Washer [Bibko System, 2010]

Bibko firmasının prefabrike beton endüstrisi için ürettiği üçüncü sistem ise *Bibko – Clarificationmachine* olarak adlandırılmıştır (Resim 3.8). Bu makine düzeneği, sıvı kumlama ve prekast betonarme eleman kesimi sonucu açığa çıkan yüksek su içerikli beton şerbeti atığı içeriğindeki katı maddenin deşarjını, sıvı maddenin ise arıtılarak yeniden kullanımı için gerekli alana pompalanmasını sağlar [Bibko System, 2010].



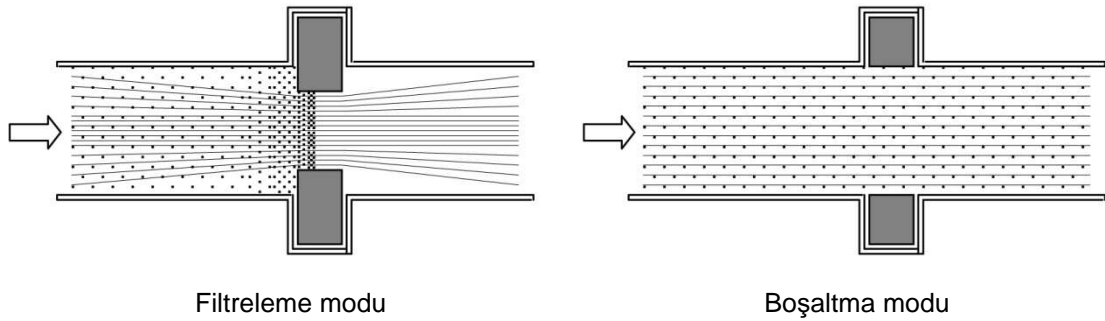
Resim 3.8. Bibko - Clarificationmachine [Bibko System, 2010]

Atık su içerisindeki katı ve sıvı içeriği ayrıştırmaya yarayan teknolojik bir ürün olan ve Fibr-filter olarak adlandırılan atık su arıtma sistemi üzerinde, prekast endüstrisi tarafından açığa çıkarılan atık suyun arıtılması konusunda denemeler yapılmış ve söz konusu uygulamanın etkili sonuçlar verdiği ortaya çıkmıştır. Fibr-filter teknolojisi (Resim 3.9), yüksek düzeyde çökelti elde etme kapasitesi, su içeriğinden ayrıştırılması gereken parçacık boyutlarının ayarlanabilmesi, düşük enerji ihtiyacı, elektrik dışında herhangi bir kaynağa ihtiyaç duymaması ve dayanıklılığı sistemi sayesinde birçok atık su arıtma uygulamasında verimli nitelikte bir üründür [Griffiths, 2006].

Sistemin çalışması, katı içerikli atık suyun, akış yönünde bağlanmış fiber filtre demeti içerisinde geçmesi yolu ile olur. Atık suyun periyodik olarak basınçlandırma ve boşaltılmasını sağlayan otomatik döngü (Şekil 3.8), katı parçacıkların filtre üzerinde kalması yolu ile sıvı içerikten, düşük düzeyde enerji kullanarak ayrışmasını sağlar. Kullanılan fiber filtrenin boyutlarının ve sıkıştırılma miktarının ayarlanması sayesinde, ayrıştırılması planlanan katı içeriğin tane çapları belirlenebilmektedir. Konvansiyonel filtreleme sistemlerinde görülen filtrenin aralıklarla temizlenme ihtiyacı, Fibr-filter sisteminin ileri geri çalışma mekanizması sayesinde filtrelerin temizlenmesi yolu ile ortadan kalkar. Söz konusu filtrelerin bir diğer önemli avantajı ise, akış yönünde fiber liflerin kalınlaşması sayesinde, filtre boşluğunun yine akış yönünde daralması; bu şekilde filtrelemeden geçen atığın adım adım filtrelenmesi ve filtre demeti üzerinde oluşabilecek ani basınçların ortadan kaldırılabilmesidir. Yapılan araştırmalar Fibr-filter teknolojisinin, konvansiyonel filtreleme yöntemlerine göre daha avantajlı bir sistem olduğunu ortaya çıkarmıştır. Fibr-filter'ın, beton şerbeti atıkları üzerinde yapılan arıtılma performansı ile ilgili deney sonuçları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir [Graham, 2004]. Çizelgede bahsedilen tekli, çiftli arıtma tanımları, atığın filtreleme işleminden kaç kere geçtiğini göstermektedir.



Resim 3.9. Fibrer-filtre filtreleme sistemi ve paralel bağlanmış ikili arıtma sistemi [Graham, 2004].



Şekil 3.8. Fibrer-filtre, filtreleme ve boşaltma modları [Graham, 2004]

Prekast beton ve hazır beton endüstrisinde, beton şerbeti atıklarının arıtılması için çökeltme tanklarının kullanılması, atık içeriğindeki katıların büyük çoğunluğunun basit ve verimli bir şekilde ayrıştırılmasını sağlar. Çökeltme işlemi sonucunda ayrıştırılamayan katı içerik için Fibrer Filtre kullanımı; ayrıştırılması istenen katı boyutlarının hassas olarak ayarlanması, filtrelerin kendiliğinden temizlenmesi, düşük enerji sarfiyatı ve basit ve sağlam sistemi ile verimli ve ekonomik bir katı - sıvı ayrıştırma işlemi olarak ortaya çıkar.

Fibra filter ile birlikte, yüksek pH değerine sahip beton şerbetinin, kanalizasyon şebekesine verilmeden önce nötrleştirilmesi de karbondioksit kullanılarak gerçekleştirilebilir. Bu işlem, fiber filtrelere karbondioksit enjekte edilmesi yolu ile filtreden geçen beton şerbeti atığının pH değerinin düşürülmesini sağlar. Bu yöntem, asit kullanılarak yapılan nötrleştirme işlemine göre; daha düşük ilk yatırım ve kullanım maliyetinin yanı sıra, asit tanklarında özellikle fazla yükleme sonucunda ortaya çıkabilecek riskleri ve özel kişisel koruyucu donanımları ortadan kaldırılması gibi avantajlar sunar.

Çizelge 3.2. Fibra-filter sistemi, beton şerbeti atıkları arıtma deney sonuçları [Graham, 2004]

Atık Sıvı Cinsi	Akış Oranı (m ³ /saat)	Tek / Çoklu Arıtma (arıtma miktarı)	Arıtma Performansı	Açıklamalar
Boşluklu Döşeme Paneli Kesimi - Şerbet Atığı Katı Madde İçeriği ~900 mg/l Bulanıklık - 149 NTU UV Emilimi (360nm) - 0,26	0,12	Çoklu (Tek ve Çift)	Tek Arıtma Katı Madde Azalması %71,1 Bulanıklık Azalması %61,1 UV Emilim Azalması %57,5 Çift Arıtma Katı Madde Azalması %82,2 Bulanıklık Azalması %97,3 UV Emilim Azalması %91,5	Laboratuvar Deneyi
Beton Üretimi - Şerbet Atığı Katı Madde İçeriği ~170 mg/l Bulanıklık - 84 NTU Kalsiyum - 220 mg/l Toplam Sertlik - 5,3 mmol/l	0,50 - 0,80	Tek Arıtma	Tek Arıtma Katı Madde Azalması %92,3 Bulanıklık Azalması %92,4 Kalsiyum Azalması %73,2 Toplam Sertlik Azalması %75,5	Saha Çalışması

Fibra-filter sistemi ilk olarak *Tarmac* adlı İngiliz prekast beton üreticisinin Tallington'daki tesisine kurulmuş ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir. Tesisin, beton üretim prosesi sonucunda açığa çıkardığı şerbet atığı içeriğindeki katı oranı 150 – 200 mg/l olarak ölçülmüştür. İşlemden geçen suyun ise, şehir kanalizasyon şebekesine verilmeden önce, *UK Environmental Agency* kriterlerine göre, katı içeriğinin 20 mg/l düzeyine ve pH değerinin ise 9'un altına inmesi gerekmektedir. Sistem üzerinde yapılan çeşitli denemeler sonucunda optimum sonuç, 0,1 mm kalınlığında fiber liflerinden oluşmuş filtre demetleri kullanımı ve atık pompalama basıncının 8

bar seviyesine ayarlanması sonucunda atık içeriğindeki katı madde miktarı 8 mg/l seviyesine indirilmiştir ki; bu değer %96'lık bir katı azalması olduğunu ortaya çıkarır. Elde edilen bu sonuç, *Tarmac* firmasının, arıtma sonucunda elde edilen suyu üretim prosesinin çeşitli evrelerinde kullanma kararını almasına neden olmuştur.

4. BETON PREFABRİKASYONDA HAMMADDE VE HAMMADDE OLARAK GERİ KAZANILABİLEN ATIK UYGULAMALARI

Üretim ve inşaat uygulamalarında geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı, dünyamıza birçok çeşitli disiplin çerçevesinde göz önünde bulundurulması gereken faydalar sağlamaktadır. Yerine kullanıldığı hammaddenin kalite ve performans değerleri ile karşılaştırılabilen birçok geri dönüştürülmüş hammadde malzeme, bu disiplinlerde değerlendirilebilecek niteliktedir. Ekonomik açıdan değerlendirildiğinde geri dönüştürülmüş hammadde kullanımı, en kötü ihtimalle yerine kullanıldığı ana hammadde malzeme ile eşit maliyette; genelde ise daha düşük bir maliyette olduğu göze çarpmaktadır. Bu uygulamanın ortaya çıkardığı temel ekonomik kazançlar, kullanılacak geri dönüştürülmüş malzemenin daha ucuza mal olmasından kaynaklanmakta olup, bu ekonominin sağlanmasında atık malzemeler için, gerekli atık boşaltma maliyet ve vergilerinin ortadan kalkması olarak gösterilebilir. Geri dönüştürülmüş hammadde malzeme kullanımının çevresel avantajları ise; yerine üretildiği hammaddenin ortadan kalkması yolu ile enerji tasarrufu sağlanması ve atık malzemenin atık boşaltım sahalarına atılması yerine yeniden değerlendirilmesi, olarak özetlendirilebilir. Geri dönüştürme uygulamalarının ekonomik ve çevresel kazanımlarının yanında sosyal avantajlarını da göz önünde bulundurmak gerekir. Bu avantajların en önemlisi geri dönüştürme endüstrisi gibi yeni bir sektörün oluşması ile yeni iş kollarının açılması olarak gösterilebilir [BRE ve TRL, 2005]

Çalışmanın bu bölümünde, başka disiplin ve uygulamalara ait geri dönüştürülmüş malzemelerin prefabriğe beton üretimi sürecinde hammadde olarak kullanılabilme olanakları değerlendirilecektir. Bu değerlendirmeden önce sistemin ihtiyaç duyduğu hammadde malzemelerin analiz edilmesi gerekmektedir.

4.1. Prefabrike Beton Üretiminde Kullanılan Hammadde Malzemeler

Prefabrike beton üretim sistemi, ürün olarak betonarme strüktürel yapı malzemeleri, altyapı elemanları, yalıtımlı ve yalıtımsız betonarme cephe panelleri, duvar blokları ve parke taşı, çit direği, gibi çevre düzenleme elemanları ortaya çıkarır. Beton ve betonarme ağırlıklı bu malzemelerin hammaddeleri olarak; beton içeriğinde bulunan çimento, kum ya da taş tozu, çakıl, çeşitli katkı malzemeleri ve su, betonarmeyi sağlamak için kullanılan inşaat demiri, hasır çelik ve öngerme halatları, cephe panellerinde yalıtım için kullanılan her türlü yalıtım malzemesi (ekspande polistren, ekstrüde polistren, taş yünü ve cam yünü) ve beton kürü için suyu su buharına çevirme sürecinde yakıt olarak kullanılan kömür sayılabilir. Tüm bu hammadde malzemeler prefabrike beton üretim tesisi haricindeki endüstriler tarafından üretilir ve oluşturulmuş tedarik organizasyonları sayesinde, üretim tesisine ulaşması sağlanır.

Çeşitli sektörler tarafından üretilen ve yukarıda bahsi geçen prefabrike beton hammaddeleri, üretim proseslerinin doğası gereği enerji tüketimine, katı, sıvı ve gaz atıkların salınımına, nakliye organizasyonları nedeni ile fosil yakıt kullanımına neden olurlar. Özellikle betonarme içeriğindeki çimento ve inşaat demiri üretim süreci, dünya çapında çevreye en fazla zarar veren imalat uygulamaları arasında gösterilirler. Bu nedenle, standart hammadde kullanımının azaltılması ve yerine geri kazanılmış hammadde malzeme kullanımı, prefabrike beton endüstrisi tedarik ağının doğal olarak çevreye verdiği zararların düşmesine doğrudan katkıda bulunmaktadır.

4.2. Beton Prefabrikasyonda Hammadde Olarak Kullanılabilen Geri Dönüştürülmüş Malzemeler ve Kullanım Yöntemleri

Dünyadaki tüketim alışkanlıklarının artması, doğal olarak atık madde miktarlarının artmasına yol açmıştır. Son kullanıcı tarafından tüketilen

ürünlerin, tüketim sonrası oluşturdukları atık malzemeler genellikle, söz konusu ürünlere ait kutu veya kaplar olarak ortaya çıkmaktadır. Bu kutu veya kaplar genellikle, cam, plastik, metal ya da kağıt bazlı hammadde kullanılarak üretilmektedir. Bu nedenle, son kullanıcı tarafından açığa çıkarılan atığın büyük kısmını da bahsi geçen bu dört malzeme oluşturur.

Dünyamızda yoğun olarak açığa çıkan bir diğer katı atık kaynağı ise, katı yakıtların kullanıldığı üretim tesisleridir. Özellikle doğalgaz olmayan bölgelerde, enerji elde etme amaçlı kullanılan katı yakıtlar, işleminden geçtikten sonra, kül ve cüruf gibi katı atık salınımına yol açarlar.

Tezin bu bölümünde, yukarıda bahsi geçen katı atıkların, prekast beton endüstrisi için hammadde olarak kullanılabilmesi amacı ile geri kazanımı ve bu yolla elde edilecek yenilikçi ürünler, ekonomik ve çevresel avantajlar tanımlanacaktır.

4.2.1. Atık cam ürünlerinin prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı

Karışık renkli atık cam, birçok büyük şehirde kurulu atık cam toplama kovalarından geri dönüştürülebilmesi amacı ile toplanmaktadır. Son kullanıcı tarafından salınımı yapılan cam atıklar, katı atıklar içerisinde büyük yer tutmaktadır. Atık toplama olanaklarının sınırlı olması ve toplumun geri dönüşüm uygulamaları konusunda yeterince bilinçlenmemiş olması, söz konusu atık miktarının büyük bir kısmının cam ve şişe üreticilerine geri kazanım amacı ile geri dönmesine engel olmaktadır. Geri dönüştürülmüş camın elde etmesi gereken kalite standartları, cam geri dönüşüm merkezlerine ulaşan tüm cam atıkların işlem görmesine engel teşkil etmektedir. Geri kazanım için kullanılacak nitelikteki cam atığı miktarının, toplam cam atık miktarına olan oranı ve geri dönüştürme tesisine gelen camın kullanılabilir kalitede olanlarının seçilebilmesi için katlanılması gereken

maliyet göz önüne alındığında ortaya çıkan sonuç, cam atıklarının tekrar cam endüstrisinde geri kazanımı noktasında problemler oluşturmaktadır. Bu durum büyük kentlerde ciddi bir atık cam sorunu ortaya çıkarmış ve söz konusu atıkların yeniden kullanılması için, cam endüstrisinde geri kazanımı dışında farklı yöntemlerin hayata geçirilmesine ihtiyaç duyulmuştur [Xie ve ark., 2003].

Cam atıklarının prekast beton agregası olarak geri kazanımı

Niteliksel sorunları nedeni ile cam endüstrisinde geri kazanılamayan atık camların ortaya çıkardığı sorun ışığında, *glascrete* adı takılan, agrega olarak karmaşık renklere atık cam kullanan, beton karışımı önerilmektedir. Değişik renkte atık cam parçacıkları ile portland çimentosu karışımının ortaya çıkardığı ilgi çekici görsellik ışığında, *glascrete*'in çeşitli mimari ve dekoratif uygulamalarda kullanım olanakları araştırılmıştır.

Cam endüstrisi kapsamında geri kazanım imkanı bulamayan nispeten düşük kalitedeki cam atıkların faydalı geri kazanımı amacı ile yapılan araştırmada, atık camın standart beton karışımında doğal agreganın yerine kullanım olanaklarını araştırılmıştır. Cam ve çimentonun bir arada kullanıldığı bu karışımda ortaya çıkacak en büyük problem çimento içeriğindeki alkali ile cam içeriğindeki silikanın etkileşime girmesidir [Meyer ve Xi, 1999]. Alkali Silika Reaksiyonu (ASR) olarak adlandırılan bu durum, kaçınılmaz olarak betonda uzun vadeli dayanım problemlerine yol açar. Bu reaksiyon, betonda sünme etkisi yapar ve bu nedenle ürün betonda haddinden fazla kırılmaya yol açar. Tüketici tarafından yüksek düzeyde açığa çıkan cam atıkların yeterince planlanmadan beton içeriğinde kullanılması, yüksek ASR özelliği gösterir. Doğal agreganın %10 gibi küçük bir oranının bile, atık camdan elde edilmiş agregayla değiştirilmesi ASR sorununu tetikler. Bu nedenle, geri kazanılmış cam atıklarının beton içeriğinde, doğrudan kullanılması güvenli değildir [Xie ve ark., 2003]. Geri kazanılmış camın beton içeriğinde agrega

olarak kullanılması sonucunda ortaya çıkan ASR genleşmesini, etkili biçimde kontrol edebilmek için çeşitli yöntemler bulunmaktadır. ASR genleşmesine neden olan ve beton içeriğinde geri kazanımı sürecinde göz önünde tutulması gereken cam özellikleri aşağıdaki gibidir:

Kırılmış cam boyutu

Agrega olarak geri kazanılmış cam parçacıklarının boyutu, betonun ASR genleşmesini doğrudan etkilemektedir. 16 mm–30 mm elek çapı aralığında kalan cam parçacıkları ASR'nin en fazla olduğu beton karışımlarına neden olan agregaya boyutudur. Bu çapın altına inildikçe, ASR genleşmesi oranı aşağı düşmektedir. 50 mm elek çapının üzerinde kalan daha iri cam parçacıklarının kullanıldığı beton karışımında ise ASR'ye rastlanmamıştır. Bu durum, cam atıklarının agregaya olarak kullanıldığı standart beton atıklarında belirli bir agregaya çapına kadar ASR genleşme oranının arttığını ve bu değerden sonra söz konusu değer azalarak yok olduğunu göstermektedir. Cam agreganın dekoratif prekast beton elemanlarında kullanıldığı uygulamalarda ise, görsel nitelik açısından tercih edilmesi gereken boyut 4 mm elek üzerinde kalan cam parçacıklarıdır. Bu boyuttaki cam elemanların dekoratif prekast uygulamalarında kullanımı ASR genleşmesini fazla tetiklemeyecektir.

Cam tipi

Değişik tipteki atık camların kimyasal özellikleri incelendiğinde, nitelik farklılıklarının ASR genleşmesi farklılıklarına neden olduğu gözlenmektedir. Yapılan deneyler; pencere, züccaciye ve oto camlarından elde edilen atık camların beton içeriğinde agregaya olarak kullanılması sonucunda ortaya çıkan ASR'nin göz ardı edilebilir miktarda olduğunu göstermektedir.

Cam rengi

Geri kazanılmış cam agrega içeren beton, içeriğindeki cam rengine göre incelendiğinde, en yüksek ASR sırası ile şeffaf ve kahverengi camda gözlenmiştir. Ancak karışık renkte cam atıkların kullanıldığı beton içerisindeki ASR genişmesi miktarı, şeffaf cam kullanılan numuneye göre daha fazla genişmeye neden olmuştur ki bu durumun nedenlerinin fiziksel olarak araştırılması gerekmektedir. Bu durumun yanı sıra, içeriğinde sadece yeşil renk cam atıklarının kullanıldığı beton, beklenmedik bir şekilde, herhangi bir genişme reaksiyonu göstermemiştir. Columbia Üniversitesi'nin patentli buluşu, yeşil renkteki cam atıkların, uygun olarak boyutlandırıldığında, standart beton karışımı içerisindeki kumun neden olduğu ASR genişmelerinin önüne geçilmesini sağlayan ucuz bir durdurucu etken olarak ortaya çıkarmıştır.

Cam içeriği

Yapılan deneyler, beton karışımları içeriğindeki cam miktarının artışı, ASR genişmesinin doğrusal olarak artmasına neden olmuştur [Meyer ve Xi, 1999].

Prekast beton endüstrisinde geri kazanılmış camın agrega olarak kullanılması; sağladığı çevresel avantajlarının yanı sıra, cephe panelleri ve dekoratif ürünler gibi yapı elemanlarında, yenilikçi ve farklı görsel niteliğe sahip uygulamaların da elde edilmesini sağlamaktadır. Ancak, dekoratif prekast beton ürünleri içeriğinde cam atıkların kullanımı, yukarıda temelleri belirtilmiş olan bir takım ASR genişmesi sorunlarına yol açmaktadır. Geri kazanılmış atık malzemelerin tüm uygulamalarında olduğu gibi, atık camın da prekast beton endüstrisinde kullanımında, görsel niteliğin elde edilmesi için gerekli karışım tasarımlarının, yukarıda bahsi geçen başlıklar çerçevesinde oluşabilecek ASR problemlerinin ortaya çıkarmaması amacı ile yerel ürün

özelliklerine göre deneylere tabi tutulmalıdır. Prekast beton içeriğinde atık cam parçacıklarının kullanılması, genel olarak dekoratif amaçlı konstrüktif eleman içeriğinde olduğu için, ASR kaynaklı dayanım problemleri, ikinci planda göz önüne alınabilir. Ancak bu durum, cam agrega kullanılan dekoratif prekast elemanlarda ASR genişmesine bakılmayacağı anlamına gelmemelidir.

Cam atıkların cam kürelere dönüştürülmesi yolu ile geri kazanımı ve prekast beton endüstrisinde kullanımı

Geri kazanılmış cam atıklarının, prekast beton endüstrisinde farklı bir kullanım olanağı, Amerika'nın Toronto şehrinde kurulu Spherical Industrial Solutions Corporation (SISCOR) adına patentli cam küreler üzerinden ortaya çıkmaktadır (Resim 4.1). Firma tarafından tamamı cam atıkların geri kazanılması sayesinde elde edilen hammadde kullanılarak üretilen boşluklu cam küreler, hafif beton üretiminde dolgu olarak kullanım alanı bulmaktadır. Söz konusu ürünün tasarımı, malzeme ağırlığının, ses ve ısı yalıtımının önemli olduğu yapı elemanlarının içeriğinde kullanılabilmesi amacı ile yapılmıştır. Ürünün kullanıldığı başlıca yapı elemanları, prefabrikte cephe ve döşeme panelleri olmakla birlikte, beton içerikli tezgah imalatları ve yapay taş gibi dekoratif imalatlar gösterilebilir. Küçük boyutlu kürecikler, kimyasal yapıştırıcıların ve kendinden yerleşen döşeme betonlarının imalatlarında da kullanım alanı bulmaktadır.

Geri kazanılmış cam kürelerin kullanıldığı prefabrikte beton elemanlarda, %25 ile %30 arasında değişen değerlerde özkütle azalması ortaya çıkmaktadır. Bu durum, nakliye maliyetlerinin çarpıcı bir biçimde azalmasına neden olmaktadır. Bu sayede, tonaj limitleri nedeni ile bir nakliye aracına bir ya da iki adet standart beton ile üretilen prekast panellerden yüklenebilirken, cam kürelerin kullanıldığı hafif beton prekast panellerden üç ya da dört adet yüklenebilmesi sağlanır. Bu avantaj, nakliye sefer sayısında; dolayısı ile

nakliye maliyetlerinde önemli ölçüde maliyet tasarrufu sağlamaktadır. Nakliye sefer sayısında meydana gelecek düşüş, nakliye araçlarının kullandığı petrol bazlı yakıtların da azalması yolu ile çevre duyarlı bir uygulama olgusunu destekler.

Cam kürelerin, prefabrike beton panellerde kullanımı neticesinde elde edilen özkütle azalma avantajının yanı sıra, elemanlara ait ısı geçirgenlik direnci ve ses yutma değerleri de önemli ölçüde artış göstermektedir. Cam küreler kullanılarak elde edilen prekast paneller, 0,90 oranında ses yutma katsayısına erişmektedir.



Resim 4.1. Boşluklu cam küreler [DOCUmedia.at GmbH, 2010]

Cam kürelerin prekast beton üretiminde, beton özellikleri üzerinde de bir takım olumlu etkileri bulunmaktadır. Söz konusu ürünün kullanımı, beton karışımı içerisindeki su miktarının azaltılmasına yardımcı olur ve betonun işlenebilirlik özelliğini artırır. Ayrıca, üretilen cam ürün, standart atık cam

agregasına göre pürüzsüz formu nedeni ile çoğu cam atığın kullanıldığı beton karışımlarda ortaya çıkan ASR genişmesi problemine neden olmaz.

Cam kürelerin imalatında %99,997 oranında geri kazanılmış cam atıkları kullanılmaktadır. Kullanılan atıklar, diğer endüstriler tarafından geri dönüşüm için kabul edilmeyecek nitelikte, normalde atık sahalarına boşaltılması zorunlu olan cam atıklarıdır. Başka bir deyişle, kullanılan cam atıklar, özellikleri nedeni ile hafriyat döküm sahaları dışında değerlendirilme imkanı kalmayan atıklardır [Poraver, 2010].

Boşluklu kürelerin üretimi sürecinde, diğer geri kazanım endüstrileri tarafından kabul edilmeyen düşük nitelikli cam atıklar ince toz haline gelene kadar öğütülerek cam kürelerin hammaddesi elde edilmektedir. Bu tozlardan 8 farklı ebatta elenmiş ve sınıflandırılmış, içi boşluklu, kirli beyaz renkte cam kürecikler imal edilir. Cam küreler, 0,05 mm ile 16 mm çap aralığında imal edilmektedir. En küçük boyutlu kürecikler yaklaşık 530 kg/m³, 16 mm çapındaki büyük küreler ise yaklaşık 150 kg/m³ özkütleye sahiptir. Söz konusu ürün hafifliğinin yanı sıra, zehir içermeyen ve doğal taş agregalarına göre aşındırıcı olmayan pürüzsüz yüzeyi sayesinde, beton içeriğinde kullanılan standart agregalar ile kıyaslandığında, eskime nedeni ile ortaya çıkacak amortisman giderlerinin azalmasında da rol oynamaktadır [Klemens, 2003].

Cam kürelerin, prekast endüstrisinde bulunduğu kullanım olanakları, esas olarak düşük dayanımlı yapı elemanları içeriğindedir. Özellikle prekast betonarme cephe panelleri üretiminde boşluklu küreciklerin kullanımı; hem cephe panellerinin ısı ve ses yalıtımı özelliklerine katkıda bulunur, hem de nakliye maliyetlerinin azalması yolu ile ürün toplam maliyetinin azalmasına yardımcı olur. Bu avantajlar, geri kazanılmış cam küreciklerin prefabrike beton endüstrisi içerisinde, hem sürdürülebilirlik bağlamında, hem de yenilikçi

ürünlerin ortaya çıkması anlamında çok değerli bir hammadde olarak ortaya çıkmasını sağlar.

4.2.2. Katı yakıt atıklarının prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı

Beton üretim prosesi tümüyle değerlendirildiğinde, harcanan enerji miktarını; beton performansını düşürmeden ve üretim maliyetini yükseltmeden minimize etmek, anlamlı çevresel ve mali kazanımların ortaya çıkmasını sağlayacaktır. Beton içeriğinde, agrega ve su ile birlikte, ağırlıkça yaklaşık %12 oranında çimento bulunmaktadır. Ancak beton üretimi sürecinde ihtiyaç duyulan enerji miktarının yaklaşık %93'ü, dünya çapındaki toplam karbondioksit salınımının ise %6-7'si, çimento üretim aşamasında harcanır. Beton içeriğinde, uçucu kül kullanımı uzun yıllardır inşaat sektöründe kabul gören bir yöntemdir. Amerika'da yıllık 100 milyon ton kömür külü açığa çıkmaktadır ve bu miktarın 60 milyon tonu uçucu küldür. Uçucu kül atıklarının %27'si ise geri dönüştürülebilmektedir [Meyer ve Xi, 1999]. Modern termik santrallerin atığı olan uçucu külün, beton içeriğinde çimento yerine kullanılabilmesi için her hangi bir ek prosese ihtiyaç duyulmamaktadır ve bu nedenle sürdürülebilir nitelikteki uygulamalar açısından değerlendirildiğinde maliyetsiz bir ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Uçucu kül, çimento benzeri özellikleri sayesinde, önemli basınç dayanımı sorunlarına yol açmadan beton içeriğindeki belirli bir miktar çimento yerine kullanılmaya uygundur [Reiner ve Rens, 2006]. İnşaat sektöründeki otoriteler arasında, beton içeriğinde uçucu kül kullanımı için belirli limitlerin bulunduğu dair bir algı bulunmaktadır. Bu durumun temel nedeni, uçucu kül ile ilgili standartların yeterince açık olmamasıdır. Bu nedenle uçucu kül kullanım miktarının belirlenmesinin, her özel imalata göre gerekli beton kalitesi ve beton içeriğindeki diğer malzemelere göre yapılacak deneyler yolu ile tanımlanması uygun olacaktır.

Prefabrike beton endüstrisinin, inşaat sektörüne sunduğu en önemli avantajlardan bir tanesi, vaat ettiği hızlı imalat sürecidir ki bu özellik çoğu müşteri tarafından sistemin tercih edilmesi noktasında en büyük etkeni oluşturmaktadır. İmalat prosesi içerisinde, standart kalıpları daha fazla kez kullanarak, kısa sürede daha çok beton dökümü gerçekleştirmek sureti ile süreci hızlandırmak için, beton karışımı içerisinde priz hızlandırıcıların kullanımı ve kalıplar üzerinde buhar kürü uygulamaları en verimli ve en yoğun olarak kullanılan yöntemlerdir. Prefabrike üretim endüstrisi içerisinde yenilikçi ve sürdürülebilir bir yaklaşım önerisi sırasında, söz konusu önerinin avantajlarının yanı sıra, prefabrike elemanın erken dayanımının da eş zamanlı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yenilikçi uygulamalardan bir tanesi de beton içeriğinde farklı kimyasal özellikteki bağlayıcı malzemelerin çimento ile birlikte ya da çimento yerine kullanılmasıdır. Bu malzemeler arasında; genellikle termik santrallerde enerji elde etme amacı ile kömür kullanımı sonucunda açığa çıkan uçucu kül, ham demir üretimi sonucunda açığa çıkan yüksek fırın cürufu ve yoğunlukla Singapur'da bulunan silis tozu ön sıralarda yer tutmaktadır [Tunçkül Çimento, 2010]. Ho ve arkadaşları, burada bahsi geçen üç geri kazanılmış özellikteki malzeme ile farklı karışımlarda beton numuneleri hazırlayarak, bu numunelerin buhar kürüne tabi tutulduğunda ortaya çıkan sonuçları, normal portland çimentosunun kapasite özellikleri ile kıyaslamışlardır.

Uçucu kül, termik santrallerde açığa çıkan atık hali ile doğrudan beton içeriğinde kullanılmaya uygun özellikler gösterir ve beton içeriğinde kullanımı öncesi her hangi bir işleme gereksinim duymaz. Uçucu külün aksine, demir haddeleme işlemi sürecinde, maddenin kullanılabilir demire çevrilmesi aşamasında açığa çıkan yüksek fırın cürufunun, beton içeriğinde kullanılmadan önce, su ile hızlıca söndürülmesi, kurutulması ve toz haline gelene kadar öğütülmesi gereklidir [Reiner ve Rens, 2006]. Yüksek fırın cürufunun beton içeriğinde kullanılması, her ne kadar bir atık geri kazanımı yöntemi olarak görünse de, geri kazanılmış hammadde formuna gelen kadar

gerekli uygulamalar ve bu uygulamalar için harcanması gereken enerji, atığın sürdürülebilir niteliğine bir miktar sekte vurmaktadır.

Bu çalışma ışığında yukarıda bahsi geçen üç farklı atık malzemenin, çimento ile birlikte bağlayıcı anlamında 5 farklı kombinasyonda kullanıldığı ve her bağlayıcı malzeme kombinasyonu için 30, 40, 50 ve 60 mPA değerinde 28 günlük basınç dayanımını elde etmek üzere 4'er tip karışım dizaynı hazırlanarak toplam 20 tip beton numunesi elde edilmiş ve fiziksel testlere tabi tutulmuştur. Hedeflenen basınç dayanımlarının belirlenmesi, prekast endüstrisinde genellikle 30 ile 50 mPA basınç dayanımı aranması göz önünde tutularak yapılmıştır. Yapılan laboratuvar deneylerinde, öncelikli olarak hazırlanan beton numunelerinin prekast endüstrisinde yapılan uygulamaya benzer 1 günlük buhar kürüne tabi tutulması sonucunda ortaya çıkan beton küp dayanımlarına, daha sonra ise 28 gün boyunca %100 bağıl neme sahip buhar odasında bekletilmesi sonucunda elde edilen beton basınç dayanımı sonuçlarına bakılmıştır. Yapılan deneylerde değerlendirilmeye tabi tutulan 20 tip dizayn karışımı ve karışım numunelerinin 28 günlük basınç dayanımları aşağıda verilmiştir (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, prefabrike beton endüstrisinde, yoğun buhar kürü uygulanan beton imalatında, çimento ile birlikte geri kazanılmış katı yakıt atıklarının kullanılması, genel olarak beton dayanımlarında olumsuz bir etkiye sebep olmamıştır. Hatta uçucu kül eklenmiş çimentonun 60 mPA için hazırlanmış karışımı, yüksek fırın cürufu eklenmiş çimentonun tüm dayanımlar için hazırlanmış karışım dizaynları, silis tozu eklenmiş çimentonun 50 mPA ve 60 mPA basınç dayanımı için tasarlanmış karışımları ve silis tozu ile uçucu kül eklenmiş çimentonun 50 mPA ve 60 mPA basınç dayanımları için hazırlanmış karışımları; sadece portland çimentosunun kullanıldığı beton karışımlarına göre daha yüksek 28 günlük basınç dayanımı değeri elde edilmesini sağlamıştır.

Çizelge 4.1. Karışım tasarımları ve dayanım değerleri özeti [Ho ve ark, 2002]

Çimento	Bağlayıcı (ağırlık%)			Su / Bağlayıcı	Agrega (kg/m ³)		Slump (mm)	Basınç Dayanımı 28 gün (Mpa)
	Uçucu Kül	Yüksek Fırın Cürufu	Silis Tozu		İnce	İri		
100	--	--	--	0,65	595	1230	35	32,00
				0,57	580	1200	37	43,00
				0,50	565	1170	48	50,50
				0,42	525	1095	55	59,50
70	30	--	--	0,65	585	1210	50	26,00
				0,56	585	1215	55	42,50
				0,45	565	1170	53	50,00
				0,32	455	960	85	68,50
35	--	65	--	0,65	590	1225	45	36,00
				0,56	590	1225	30	47,50
				0,49	560	1175	67	50,00
				0,33	465	965	37	64,50
90	--	--	10	0,80	655	1180	40	31,50
				0,65	590	1225	35	44,50
				0,49	535	1110	40	61,50
				0,37	450	950	33	69,00
70	20	--	10	0,81	645	1160	40	25,50
				0,60	575	1195	40	41,50
				0,49	530	1095	85	53,50
				0,34	450	945	30	76,50

Prefabrike beton endüstrisi içerisinde süre avantajı sağlanabilmesinin en önemli dayanağı, aynı standart kalıp içerisinde dökülen beton yapı elemanının en kısa sürede kalıptan alınıp, yeni yapı elemanının dökümünün yapılabilmesidir. Prefabrike betonarme elemanın kısa sürede kalıptan alınabilmesi için en önemli husus ise, elde edilecek yüksek kısa süreli basınç dayanımı değeri sayesinde elemanın kalıptan alınma sırasında çatlama ve dökülmelerin engellenmesidir. Bu nedenle, yapılan çalışmada elde edilecek 1 günlük basınç dayanımları, prefabrike beton endüstrisi için, en az 28 günlük basınç dayanım değerleri kadar önemlidir. Laboratuvar koşullarında, üç geri kazanılmış ürünün çimento ile birlikte, beş farklı bağlayıcı tasarımı ile elde edilen betonların, buhar kürü sonrası elde edilen bir günlük basınç dayanımının, 28 günlük basınç dayanımına oranları Çizelge 4.2'de gösterildiği gibi bulunmuştur.

Genellikle portland çimentolu standart beton uygulamalarında, standart kütleme koşullarında bir günlük basınç dayanım değeri, 28 günlük basınç dayanım değerinin %35-40'ı mertebesinde değerler verir. Bu değer, uçucu kül gibi geri kazanılmış malzemelerin bağlayıcı içeriğine eklendiği betonlarda, yine standart kür koşullarında %25-35 aralığında değerlere düşer. Söz konusu çalışmada elde edilen ve yukarıda özetlenen değerler, 55 °C sıcaklıkta yapılan buhar kütleme sayesinde beton karışımlarının erken dayanım değerlerinin yaklaşık %40 oranında arttığını göstermektedir. Söz konusu artış oranı, silis tozunun kullanıldığı beton karışımlarında daha belirgin oranlardadır. Bu veriler, prefabrike beton endüstrisinde, kalıplardan daha fazla verim elde edilmesi ve üretim kapasitelerinin artması yolunda önemli ipuçları ortaya koymaktadır [Ho ve ark., 2002].

Çizelge 4.2. Geri kazanılmış bağlayıcı kullanılan beton 1 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük basınç dayanımlarına oranları

BAĞLAYICI CİNSİ	1 GÜN : 28 GÜN BASINÇ DAYANIMI ORANI
Standart portland çimentosu bağlayıcılı beton	0,58
Uçucu kül ve portland çimentosu bağlayıcılı beton	0,44
Yüksek fırın cürufu ve portland çimentosu bağlayıcılı beton	0,47
Silis tozu ve portland çimentosu bağlayıcılı beton	0,58
Uçucu kül, silis tozu ve portland çimentosu bağlayıcılı beton	0,62

Prekast beton endüstrisi için fazlası ile önem kaydeden buhar küre uygulaması değerlendirilirken, yoğun buhara maruz kalması nedeni ile beton bünyesinde emilen su miktarı, emilen suyun nüfus ettiği beton derinliği ve beton içeriğinde oluşumuna neden olduğu boşluklar da göz önünde bulundurulmalıdır. Portland çimentosu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu bağlayıcılı betonlarda uygulanan buhar küre, boşluk oranı fazla olan betonların oluşmasına neden olmuş ve su emme değerleri de aynı betonlar için üç günlük standart kütleme sonucunda elde edilen değerlerin iki katına yaklaşmıştır. Yüksek su emme değerleri, genellikle 28 günlük basınç dayanımları düşük olarak beton karışımı tasarımlarında karşımıza çıkar. Yapılan deneylerde de yüksek su emme değerleri, 40 mPA'ın altında basınç

dayanım değerlerine sahip betonlarda önem arz etmektedir. Öngermeli ve buhar kürüne tabi tutulan prefabrike beton elemanlarda genellikle 40 mPA değeri, minimum değer olarak önerilmektedir. Su emme derinliği özelliği de, genel olarak su emme kapasitesi ile benzer sorun ve sonuçlar ortaya çıkarmaktadır. Buhar kürünün, portland çimentosu ya da geri kazanılmış malzeme bağlayıcılı prefabrike eleman beton kalitesi üzerindeki etkileri aşağıdaki gibi özetlenebilir [Ho ve ark., 2002]:

1. Su emme kapasitesi ve su emme derinliği, basınç dayanım değeri 40 mPA'ın altına inildikçe, ani artışlar gösterir.
2. Portland çimentosu, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu bağlayıcılı betonlarda 1 günlük yoğun buhar kürü uygulaması sonucunda ortaya çıkan su emme kapasitesi ve derinliği değerleri, 3 gün standart küre tabi tutulmuş aynı karışımdaki betonlara göre yaklaşık 2 kat fazladır.
3. Beton karışımı içerisinde bağlayıcı olarak silis tozunun portland çimentosu ile birlikte kullanımı, hem standart kür koşullarında hem de buhar kürü uygulamasında betonun su emme kapasitesi ve derinliği açısından önemli avantajlar ortaya çıkarmıştır. Bu nedenle, özellikle 50 mPA ve 60 mPA basınç dayanım değerleri hedeflenen beton karışımı tasarımlarında, silis tozu bağlayıcı eklenen numuneler, standart portland çimentosu kullanılan tasarıma göre oldukça yüksek 28 günlük basınç dayanım değerlerine ulaşmıştır.

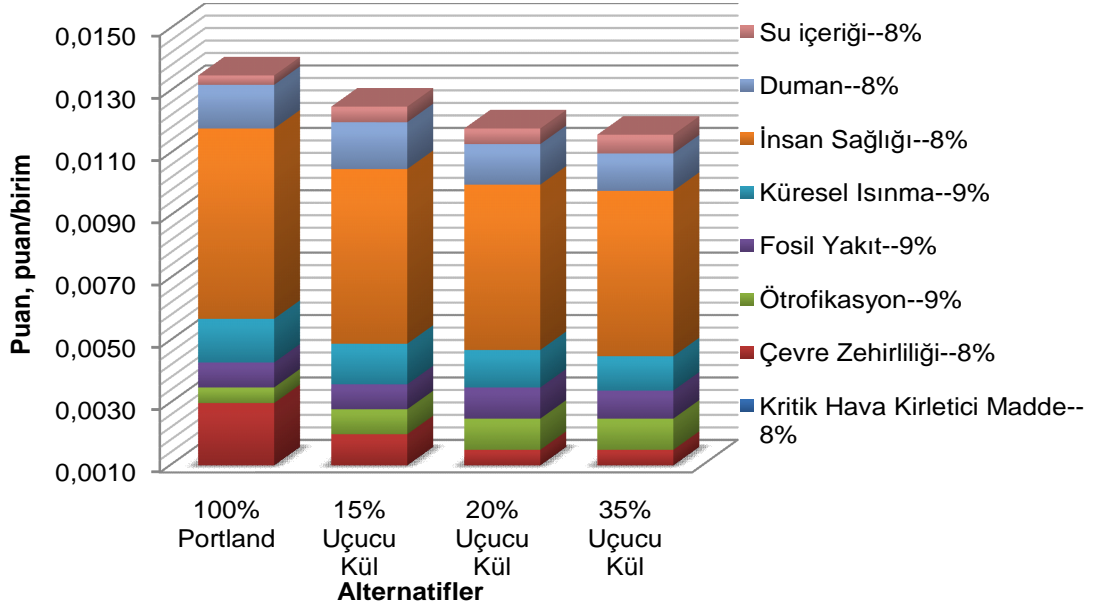
Yukarıda sonuçları özetlenen çalışmada elde edilen en önemli sonuç; prefabrike beton endüstrisi için uygulanan beton karışımları için, hem yüksek dayanımlı betonların imalatında, hem hızlı erken dayanım istenen prekast beton uygulamalarında; silis tozu eklenmiş çimento bağlayıcılı beton kullanımı, düşük su emme kapasitesi, düşük su emme derinliği ve buhar kürü sonrası yüksek erken mukavemet değerleri ile çimento içeriğine eklenebilecek en ideal geri kazanılmış malzeme uygulaması olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, söz konusu atığın ülkemizde ekonomik olarak elde

edilmesi ve prefabrike beton endüstrisi için kullanıma sunulması amacı ile akademik ve ticari yaklaşımların oluşturulması gerekmektedir. Çalışmaya konu olan diğer iki geri kazanılmış katı atık malzemesi ise, standart çimentolu prefabrike betona göre daha düşük fiziksel özellikler gösterse de, çevresel avantajları nedeni ile çözülebilir fiziksel nitelik problemlerinin dikkatli ele alınması sayesinde prekast beton endüstrisi kapsamında yoğun kullanım olanaklarına sahip olmaktadır.

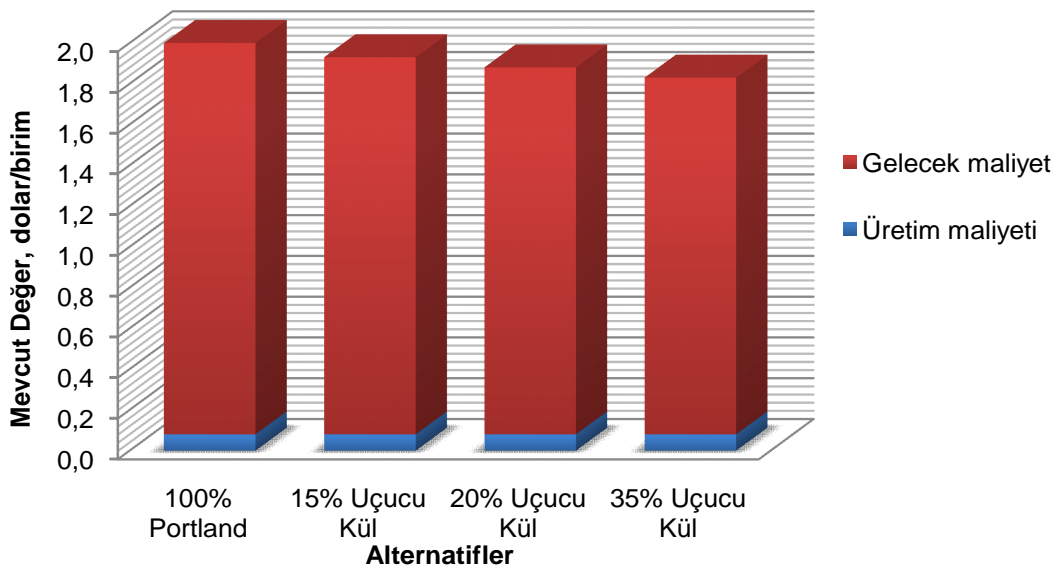
The Building for Environmental and Economic Sustainability (BEES), 23 yapı elemanında kullanılan, yaklaşık 200 yapı malzemesinin, çevresel ve ekonomik performansları üzerine yaptığı çalışmada; beton içeriğinde çimento yerine %15, %20 ve %35 oranlarında uçucu kül kullanımının ekonomik ve çevresel performans değerlerini mevcut yapı malzemesi veritabanına eklemiştir. Uçucu külün beton içeriğinde kullanımında kullanılan enerji miktarı belirlenirken, sadece atık uçucu külün kaynağından, ihtiyaç alanına nakliyesi için bir enerji gereksinimi değerlendirilmiş, tedarik sürecinde, diğer beton hammaddelerinin tabi olduğu üretim prosesinin enerji ihtiyacı gibi bir ihtiyaç değerlendirilmemiştir. Bu nedenle BEES, uçucu külün beton içeriğinde çimento yerine kullanım miktarı arttıkça, toplam beton üretiminin insan sağlığına ve küresel ısınma sorununa yol açma etkilerinin azaldığı sonucunu yayınlamıştır. BEES hesaplamalarına göre, beton içeriğindeki çimentonun %35 oranında uçucu kül ile değiştirilmesi; beton üretiminin çevreye verdiği zararın %11,7 oranında azalmasını sağlamaktadır (Şekil 4.1). Aynı çerçevede, ürünün ekonomik performansı incelendiğinde, uçucu külün beton içeriğindeki çimentonun %35'i yerine kullanılması, beton üretimi maliyetinin toplam %10 oranında gerilemesini sağlamaktadır (Şekil 4.2) [Reiner ve Rens, 2006].

Reiner ve Rens, beton içeriğinde süregelen %0-15 aralığında çimento yerine kullanılan uçucu kül miktarının, daha yüksek oranlarda kullanımının performans ve ekonomi yönünden sonuçlarını incelemişlerdir. Yüksek

miktarda uçucu kül, araştırmacılar tarafından HVFA (High Volume Fly Ash) olarak tanımlanmıştır. HVFA'nın beton içeriğindeki performans analizleri, prefabrike menhol elemanları ve prefabrike öngerilmeli TT plak üretimleri üzerinde yapılan deneyler yolu ile değerlendirilmiştir.



Şekil 4.1. Değişen miktarlardaki uçucu kül için çevresel performans değerleri [Reiner ve Rens, 2006]



Şekil 4.2. Değişen miktarlardaki uçucu kül için ekonomik performans değerleri [Reiner ve Rens, 2006].

Daha önce de bahsedildiği gibi, BEES tarafından hazırlanan çalışmada, beton içeriğindeki çimentonun, %35 oranında uçucu kül ile değiştirilmesi, beton üretiminin çevreye olan toplam zararlı etkisinin %11,7 azalmasını sağladığı belirtilmiştir. Bu değer, çimento yerine %70 oranında uçucu kül kullanımına göre doğrusal olarak oranlandığında %26,6 gibi bir çevresel zarar etkisinin ortadan kalkacağını öngörülmektedir. Aynı oranlamayı, uçucu külün çimento yerine %60 oranında kullanılması ile ortaya çıkacak mali kazanımlar çerçevesinde değerlendirildiğinde, %20,1 oranında bir ekonomik kazanç elde edilebileceği savunulmuştur [Reiner ve Rens, 2006]. Bu değerler uçucu külün çimento yerine kullanımının; hem çevresel, hem de ekonomik açıdan yoğun avantajlar içerdiğine işaret etmektedir. Ancak bu verilerin hayata geçirilmesi için beton içeriğinde, çimento yerine HVFA kullanımının, mekanik dayanımının ve uzun ömürlülüğünün araştırılması gerekmektedir.

Genel olarak kabul edilen tanımlamalara göre, HVFA betonu, içeriğinde ağırlıkça en az %50 oranında uçucu kül, düşük su içeriği (130 kg/m^3), 200 kg/m^3 'ün altında çimento miktarı ve düşük su : bağlayıcı oranına göre (0.4'ün altında) tasarlanmış betondur. HVFA kullanım limitlerini deneyimleyebilmek için, 12 tip küçük HVFA betonu numunesi, hazırlanmıştır. 12 tip numunenin belirlenmesi; beton içeriğinde üç farklı miktarda toplam bağlayıcı malzeme kullanılması ve bu bağlayıcı maddelerinin, %40, %50, %60 ve %70 oranlarında uçucu kül, kalan miktarlarının çimento olarak kullanılması yolu ile yapılmıştır. Toplam bağlayıcı miktarı, yüksek düzeyde bağlayıcı içerikli betonda içeriğinde 410 kg/m^3 , orta düzeyde bağlayıcı içerikli betonda içeriğinde 369 kg/m^3 ve düşük düzeyde bağlayıcı içerikli betonda 327 kg/m^3 olarak tayin edilmiştir (Çizelge 4.3). Beton bağlayıcı malzemesinin içeriğindeki uçucu kül, Kuzey Dakota'da bulunan bir termik santralden getirilmiş; beton içeriğinde de su azaltıcı katkı olarak Glenium 3020 HES kullanılmıştır. Bu 12 tip beton karışımı küçük boyutlu numuneler halinde elde edilmiş ve bu boyutlar üzerinden yapılacak basit deneyler ile birçoğunun elenmesi ve kalan beton karışımlarının daha kapsamlı testlerden geçirilmesi

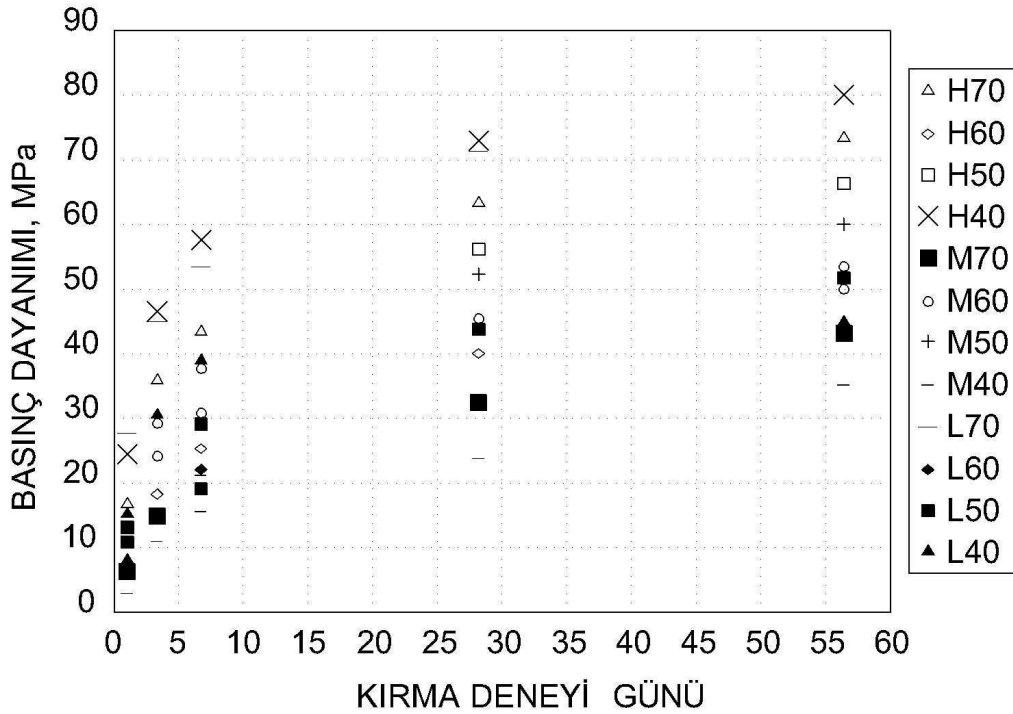
planlanmıştır. Ancak, yine de prefabrikasyon sektöründeki kullanım olanakları ön plana çıkartılmış ve küçük numuneler üzerinde 28 günlük dayanımlar kadar erken dayanım değerleri de kontrol edilmiştir. Küçük numuneler üzerinde yapılan ön analizlerde, numunelerin bir sonraki deney aşamasına geçebilmesi için gerekli değerler; prekast betonunun 1 günlük basınç dayanımı için en az 10,35 mPA, strüktürel betonun 28 günlük basınç dayanımı için en az 27,60 mPA olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.3. Hazırlanan 12 küçük numunenin karışım oranları [Reiner ve Rens, 2006]

Malzeme	H70	H60	H50	H40	M70	M60	M50	M40	L70	L60	L50	L40
	(kg/m ³)											
Çimento	122,8	163,7	204,7	245,6	110,3	148,3	183,9	220,7	97,9	130,5	163,1	195,8
Uçucu Kül	286,5	245,6	204,7	163,7	258,1	221,9	183,9	147,1	228,4	195,8	163,1	130,5
Su azaltıcı katkı	12,3	16,4	20,8	24,6	11,1	14,8	18,3	22,1	9,8	13,1	16,2	19,4
İnce agrega	777,0	769,8	765,3	767,4	825,7	821,4	831,4	782,8	854,5	862,9	869,5	868,8
İri agrega	1 071	1 094	1 083	1 082	1 070	1 074	1 063	1 102	1 072	1 072	1 061	1 059
Su	122,8	115,8	128,6	132,5	118,9	117,8	121,5	124,7	124,6	124,6	122,6	123,6
Hava içeriği (%)	0,6	0,7	0,6	0,6	0,8	1,2	1,3	1,2	0,6	0,6	1,4	1,7
Su: Çimento oranı	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	3,8	0,4

Küçük küplerin kırılması sonucunda elde edilen basınç dayanımı değerleri HVFA'nın beton içeriğinde kullanımı konusunda umut verici sonuçlar ortaya çıkarmıştır. %70 HVFA kullanılan, düşük düzeyde bağlayıcı içerikli beton

numunesi dışındaki tüm numuneler, strüktürel beton için belirlenmiş 28 günlük basınç dayanım değeri sınırı olan 27,60 mPA değerini sağlamışlardır. Prefabrike beton endüstrisi için önem arz eden 1 günlük basınç dayanım değerlerine bakıldığında ise; %70 HVFA kullanılan düşük ve orta düzeyde bağlayıcı içerikli beton numuneleri ve %60 HVFA içeren düşük düzeyde bağlayıcı içerikli beton numuneleri hedeflenen 10,35 mPA değerini sağlayamamışlardır (Şekil 4.3).



Şekil 4.3. 12 küçük numune - basınç dayanımı deney sonuçları [Reiner ve Rens, 2006]

Küçük numunelerin erken dayanım değerlerine bakılarak ve yüksek uçucu kül miktarı hedeflenerek, 12 numunenin 4'ü göstermiş oldukları fiziksel performans değerleri sayesinde, bir sonraki aşamada yapılacak daha kapsamlı testler için seçilmişlerdir. Seçilen 4 adet HVFA bağlayıcılı numune sırası ile; %70 oranında uçucu kül kullanılan, yüksek düzeyde bağlayıcı içerikli beton, %60 oranında uçucu kül kullanılan, yüksek düzeyde bağlayıcı içerikli beton, %50 oranında uçucu kül kullanılan, orta düzeyde bağlayıcı

içerikli beton, %50 oranında uçucu kül kullanılan, düşük düzeyde bağlayıcı içerikli betondur. Bu 4 numuneye ek olarak, %100 portland çimentosu bağlayıcılı 3 beton karışımı da (yüksek, orta ve düşük bağlayıcılı) kıyaslama amacı ile kapsamlı deneylere tabi tutulmuştur. Söz konusu toplam yedi adet numune karışım tasarımları değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Kapsamlı testler "American Society for Testing and Materials" (ASTM) standartlarına göre; basınç dayanımı, slump değeri, hava boşluğu miktarı ve numune sıcaklığı üzerine yapılmıştır. Beton numuneleri üzerinde yapılan kapsamlı testler uyarınca elde edilen, farklı deney günlerindeki basınç dayanım değerleri Şekil 4.4'te verilmiştir. Bu değerler, ilk aşamada küçük numuneler üzerinde yapılan basınç dayanımı test değerlerine göre önemli farklılıklar arz etmektedir. Bunun nedeni olarak, küçük boyutlu numunelerin düşük su : çimento oranları, küçük silindir numune kaplarının kullanılması ve iri agregaların küçük numune kaplarında homojen olarak karışma problemi gösterilebilir. ASTM çerçevesinde yapılmış olan kapsamlı testler sonucunda ortaya çıkan değerler, tüm strüktürel ve strüktürel olmayan beton uygulamalarında kullanılabilir nitelikteki değerlerdir. Yapılan deneylerin sonuçları değerlendirildiğinde, prefabrike beton içeriği için önemli olan 1 günlük 10 mPA basınç dayanımı değerini hiçbir numune sağlayamamıştır. Ancak %60 oranında uçucu kül kullanılan yüksek düzeyde bağlayıcı içerikli beton, 3 günlük basınç dayanımı kıstasına bakıldığında, başarılı performans değerleri sağlamış olup, ileride yapılacak akademik ve ticari çalışmalarda daha detaylı olarak üzerine gidilmesi gereken özellikler göstermiştir.

Sürece bağlı dayanıklılık deneylerinde tüm numuneler, 200 kez dondur – çöz deneyine tabi tutulmuş ancak hiç bir beton numunesinde gözle görülür bir bozulmaya rastlanmamıştır. Sülfat genişmesi deneylerinde de, HVFA içerikli betonlar üstün nitelik göstermişlerdir.

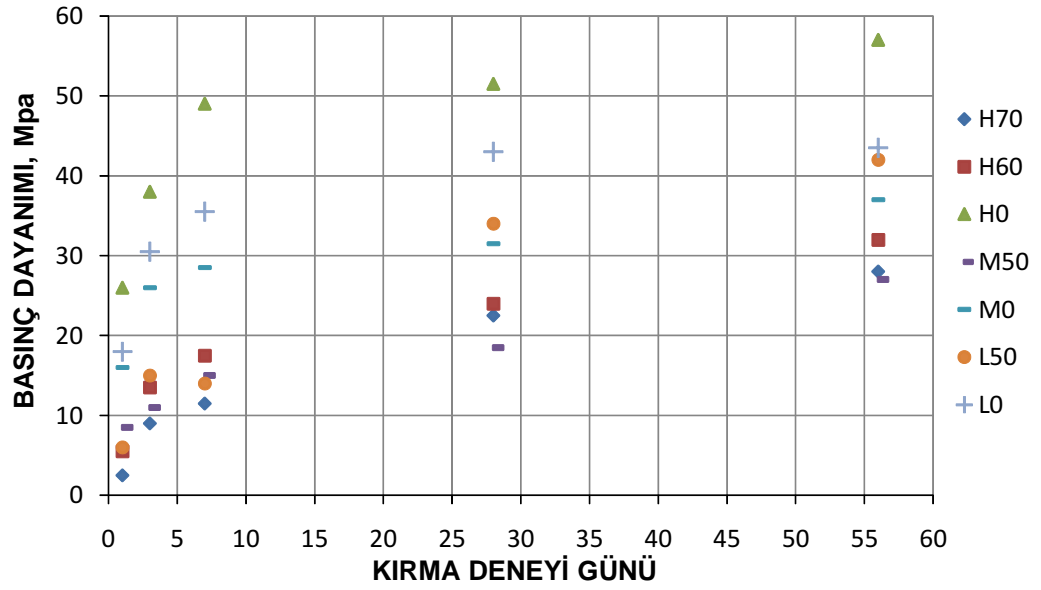
Bahsi geçen çalışma kapsamında beton içeriğinde HVFA kullanımı ile ilgili yapılmış olan maliyet analiz çalışmaları, söz konusu uygulamanın, toplam

beton maliyetinde %15'lik bir azalma sağlayacağını ortaya çıkarmıştır. Uçucu külün beton içeriğinde kullanımının kimyasal etkilerine bakıldığında; söz konusu ürünün kısa sürede düşük dayanım özelliği gösterdiği, ancak priz süresi uzadıkça, dayanım arttırıcı özellik gösteren kalsiyum silikat oluşumuna neden olduğu bilinmektedir. Uçucu kül kullanımının erken dayanımların düşmesine neden olmasına rağmen, uçucu kül yerine aynı oranda çimento kullanılan betonlarda daha fazla topaklanma oluşumu gözlenmiş olup, prefabrike beton endüstrisinde işlenebilirlik sorunu ortaya çıkardığı görülmüştür. Ortaya çıkan bu sorunu gidermek için daha yüksek su : çimento oranlı beton karışımlarına gerek duyulmaktadır ki, bu uygulama da yine beton dayanımının düşmesine neden olacaktır.

Çizelge 4.4. Kapsamlı testlere tabi tutulan beton karışımları [Reiner ve Rens, 2006]

Malzeme	H70 (kg/m ³)	H60 (kg/m ³)	H0 (kg/m ³)	M50 (kg/m ³)	M0 (kg/m ³)	L50 (kg/m ³)	L0 (kg/m ³)
Çimento	123	164	409	184	368	163	336
Uçucu kül	287	246	0	184	0	163	0
Su azaltıcı katkı	0,6	0,79	1,96	0,88	1,76	0,79	1,56
İnce agrega	767	778	663	820	697	857	755
İri agrega	1 068	1 068	1 103	1 068	1 103	1 068	1 103
Su	126	128	143	129	146	139	135
Hava içeriği	6,1	6,1	5,6	6,5	7,5	1,6	7,5
Su : çimento oranı	0,31	0,31	0,35	0,35	0,4	0,41	0,4

Sürece bağlı dayanımlarındaki başarılı sonuçlara rağmen HVFA içerikli betonların strüktürel uygulamalarda kullanımı için yeni ar-ge çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Ancak yüksek düzeyde bağlayıcı içerikli betonda %60 oranında uçucu kül kullanımı, hem sürece bağlı dayanım performansı, hem de basınç dayanımı performansı özellikleri ile yüksek dayanım gerektirmeyen strüktürel uygulamalarda, rahatlıkla kullanılabilir nitelikte bir sürdürülebilir malzeme olarak ortaya çıkmıştır.



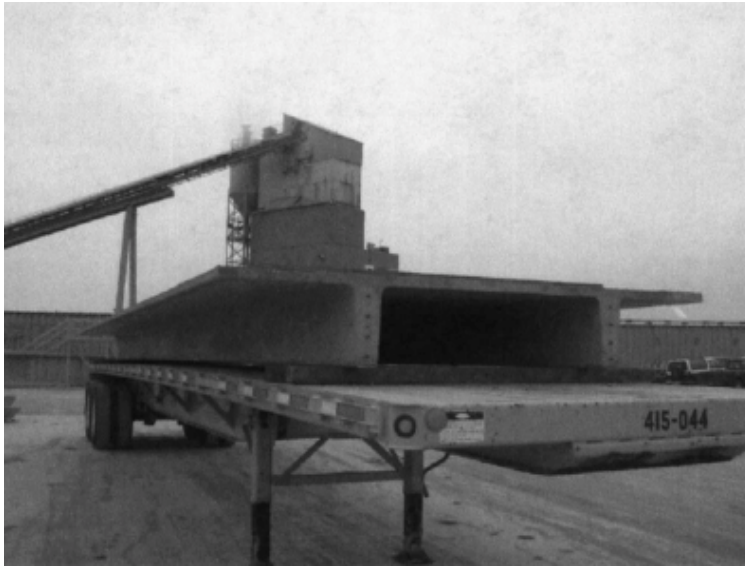
Şekil 4.4. Kapsamlı testlere tabi tutulan 7 tip beton karışımının basınç dayanımı değerleri [Reiner ve Rens, 2006]



Resim 4.2. Yüksek düzeyde bağlayıcı ve %60 oranında uçucu kül içeren beton kullanılarak üretilen prekast menhol [Reiner ve Rens, 2006]

Söz konusu beton karışımı, deneysel amaçlı olarak prekast menhol elemanı ve (Resim 4.2) prekast *twin-tee* (TT) döşeme plağı (Resim 4.3) imalatı için kullanılmıştır. Prekast menhol elemanı imalatında betonun yerleşmesi için

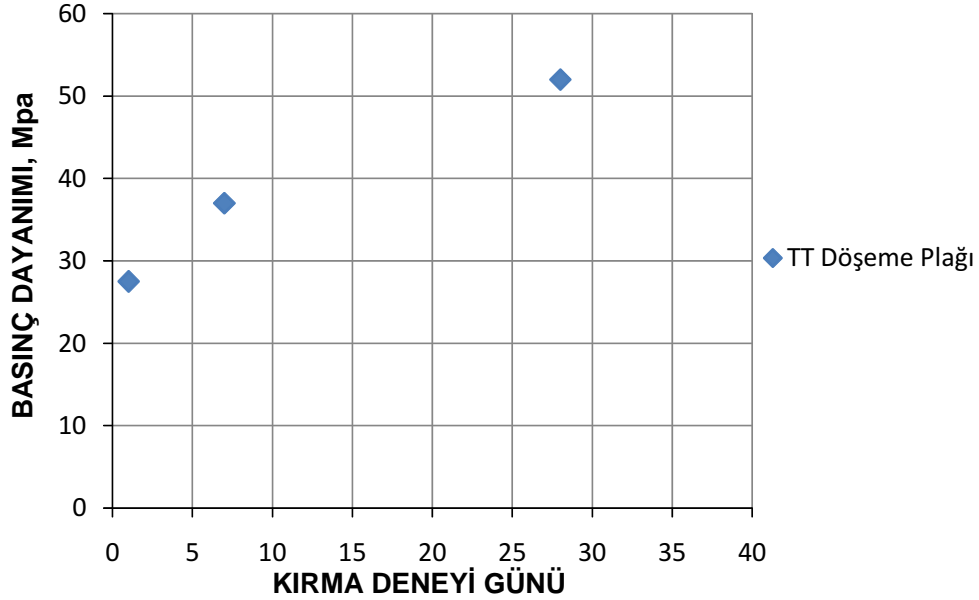
daldırma vibratör kullanılmış ve kalıplar, beton kürü uygulanmadan, dökümden bir gün sonra sökülmüştür. Ortaya çıkan ürünün trafik yüküne göre fiziksel dayanımı, dokusu ve dış görünüşü, üretici firma yetkilileri tarafından başarılı bulunmuş ve söz konusu eleman, hali hazırda süregelen bir altyapı uygulamasında kullanılmıştır. Aynı beton tasarımının, önerilmeli TT plak imalatında kullanımı sonucunda elde edilen değerler de, özellikle bir günlük basınç dayanımları ölçüldüğünde çok başarılı değerler vermiştir [Reiner ve Rens, 2006]. TT plak elemanının üzerinden alınan beton numunelerinin; 1, 7 ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Resim 4.3. Yüksek düzeyde bağlayıcı ve %60 oranında uçucu kül içeren beton kullanılarak üretilen prekast TT döşeme plağı [Reiner ve Rens, 2006]

Söz konusu çalışma kapsamında, kesin sonuçlar elde edilmese de, gelecekte yapılacak çalışmalar noktasında, %60 oranında HVFA kullanılan yüksek düzeyde bağlayıcı içerikli (410 kg/m^3) betonun ve %50 oranında HVFA kullanılan düşük düzeyde bağlayıcı içerikli betonun (327 kg/m^3), prefabrike beton endüstrisinde kullanımı için önemli deneysel veriler ortaya çıkarılmıştır. Bu iki tip HVFA betonunun üzerine gidilmesi, hem çevre koruma

uygulamaları açısından, hem de sektörel üretim maliyetlerinin azalması açısından yüksek düzeyde fayda içeren bir yapı malzemesinin, prefabrike beton endüstrisine kazandırılmasını sağlayacaktır.



Şekil 4.5. TT döşeme plağı numunesi basınç dayanımı deney sonuçları [Reiner ve Rens, 2006]

4.2.3. Atık cam ürünleri ve katı yakıt atıklarının prefabrike beton endüstrisinde bir arada kullanılması yolu ile geri kazanımı

Meyer ve Xi tarafından yapılmış çalışmada, *glascrete* olarak adlandırılan atık cam agregalı beton karışımı içerisinde, çimento yerine, aktive edilmiş uçucu kül kullanımı araştırılmış ve bu karışım da *ashcrete* olarak adlandırılmıştır. Düşük maliyetli ve çevre dostu bir ürün olarak nitelendirilebilecek *ashcrete*, inşaat sektöründe, özellikle de prefabrike beton endüstrisi içerisinde yoğun kullanım potansiyeline sahiptir. *Ashcrete* içeriğinde, bağlayıcı olarak uçucu kül, uçucu külün bağlayıcılık özellikleri için aktivasyon kimyasalları ve ince ve iri agrega görevini gören atık cam bulunmakta olup, portland çimentosuna ihtiyaç duyulmamaktadır. Bu şekilde elde edilen sonuç ürün %100 oranında katı atık kullanımı yolu ile ortaya çıkan, son derece çevre duyarlı bir yapı malzemesidir. Sürdürülebilir avantajlarının yanında *ashcrete*, mekanik

dayanım ve maliyet faktörleri göz önünde bulundurulduğunda da, çeşitli olumlu yönleri sahiptir. Çalışma sırasında hazırlanan *ashcrete* numunesi, 24 saatlik priz süresi sonucunda 62 mPA basınç dayanımı değerine ulaşmaktadır. Uçucu külün aktivasyonu için kullanılan kimyasallar, sodyum hidroksit ve halk arasında cam suyu olarak bilinen sodyum silikattır. Karışım sonucu ortaya çıkan kimyasal reaksiyonlar, içeriğinde saf kireç bulunmadığı için, puzolanik özellikler göstermez ve bu nedenle elde edilen betonun priz alma süresi çok hızlı olur.

Ashcrete karışımının en önemli özelliği, camın ve çimentonun bir arada kullanıldığı beton karışımlarında problem yaratan ASR potansiyeli ile ilgilidir. İçeriğinde geri kazanılmış cam yerine, kıyaslama amaçlı normal agrega kullanıldığında elde edilen *ashcrete* karışımının ASR genleşme miktarı %0,017 olarak ölçülürken, bu değer standart portland çimentosu ve agrega karışımı ile elde edilen betonda %0,05 olarak ölçülmüştür. Bu değerler, beton kalitesi için göz ardı edilebilir boyuttaki değerler olmasına rağmen, yine de uçucu kül kullanımının ASR etkileşimini minimize ettiğini göstermektedir. İki karışım arasında ortaya çıkan farklı genleşme değerlerinin yanı sıra, genleşme süreçleri de farklılıklar göstermektedir. Normal beton karışımındaki genleşme miktarı, 14 günlük test süreci boyunca sürekli artış göstermekte iken, *ashcrete* karışımı, bir süre boyunca artan genleşme eğilimi göstermekte, ancak daha sonra genleşme eğilimi terse dönmekte ve büzüşme oluşmaktadır. *Ashcrete* karışımın 10. günü itibari ile büzüşme miktarı, genleşmenin önüne geçmiş ve test süreci sonucunda numunelerdeki genleşme miktarı negatif değerler vermiştir. Farklı *ashcrete* numunelerinin büzüşme miktarları değerlendirildiğinde, en yüksek büzüşme miktarı %0,015 olarak bulunmuştur ki, bu değer standart betonun priz alma sürecinde ortaya çıkabilecek büzüşme değerlerine göre oldukça düşüktür. Daha önce bahsedilen *glascrete* (portland çimentosu ve geri kazanılmış cam agregası ile elde edilen beton karışımı) için yapılan araştırmalar, *ashcrete* için yapıldığında bulunan sonuçlar aşağıdaki gibidir [Meyer ve Xi, 1999].

1. *Glascrete* karışımında ortaya çıkan sonucun aksine, yeşil renkli cam, *ashcrete* için ASR genleşmesini engelleyici etki göstermemiştir.
2. Optik camı ve pyrex camı kullanılarak elde edilen *ashcrete*, pencere camı kullanılarak elde edilen beton karışımına göre daha yüksek ASR genleşmesine neden olmuştur.
3. *Ashcrete* karışımında, doğal agrega yerine %100 oranında, geri kazanılmış cam agregası kullanılmış ve elde edilen ASR genleşme değeri ASTM C 1260 yönergesinde kritik değer olarak belirtilen %0,1 değerinin altında kalmıştır. Yapılan çalışmanın en önemli sonucu geri kazanılmış cam agregalı *ashcrete* karışımında, ASR genleşmesi probleminin ortaya çıkmamasıdır.

İçeriğinde uçucu kül ve geri dönüştürülmüş cam agrega kullanılan betonun ASR potansiyeli üzerine, *ashcrete* için yapılabenzer bir çalışma da Xie ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Yapılan çalışmada, yine çimento yerine %100 oranında uçucu kül kullanılmış ve kullanılan uçucu külü etkinleştirmek için, halk arasında cam suyu olarak bilinen sodyum silikat kimyasalına başvurmuşlardır. Cam suyu ile etkinleştirilen uçucu kül, araştırmacılar tarafından *Water-glass Activated Fly Ash* (WAFAs) olarak adlandırılmıştır. WAFAs ve cam kullanılarak elde edilen beton karışımı üzerine yapılan deneyler neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda listelenmiştir [Xie ve ark, 2003].

1. ASR genleşme potansiyeli göz önünde bulundurulduğunda, atık cam agregalarının WAFAs kullanılarak elde edilen beton karışımında doğal agregaların tümünün yerine kullanılması, herhangi bir genleşme ve dayanım sorunu yaratmamıştır.
2. %10 oranında cam agrega kullanılmış WAFAs betonunda, diğer uçucu kül ve cam kullanılarak hazırlanmış beton karışımlarında da görüldüğü gibi, ilk 5-7 günlük süreçte ASR genleşmesi göze çarparken, bu süre eşiğinden sonra, betonda büzüşme ortaya çıkmıştır. Bu büzüşme özelliği,

hem doğal agrega içerikli Wafa betonunda, hem de atık cam agrega içerikli Wafa betonunda ortaya çıkmıştır. Bu durum, büzüşme özelliğinin agregadan bağımsız olarak, uçucu kül kullanımına bağlı olduğunu göstermektedir.

3. Atık cam agregası ve Wafa kullanılarak hazırlanan beton karışımında, ASR genleşmesi, atık camın miktarı ile doğru orantılıdır. Ancak doğal agreganın tamamı atık cam agregası ile yer değiştirildiğinde dahi, genleşme miktarı ASTM tarafından tanımlanan riskli sınırın altında kalmaktadır.
4. Cam rengi, portland çimentosunun bağlayıcı olarak kullanıldığı atık cam agregalı betonun aksine, Wafa ve atık cam agregası kullanılarak elde edilen beton karışımında meydana gelecek ASR miktarını etkilemez.
5. Cam tipi, portland çimentolu ve atık cam agregalı betonda göze çarptığı gibi, Wafa bağlayıcılı ve atık cam agregalı betonda da ASR genleşmesi miktarı üzerinde önemli rol oynar.
6. Wafa bağlayıcılı, atık cam agregalı beton karışımı üzerinde yapılan mikroskopik incelemeler sonucunda, düşük ASR potansiyeline rağmen, ürün numunelerinde, portland çimentolu betonda gözlemlendiği form ve görünüşte, ASR jeline rastlanmıştır. Ortaya çıkan ASR jelinin, portland çimento bağlayıcılı, atık cam agregalı beton karışımında sorun yaratmasına rağmen, Wafa bağlayıcılı, atık cam agregalı betonda problem oluşturmaması durumunun, daha detaylı kimyasal tanımlamalar ile açıklanması gerekmektedir.

İki farklı atık maddeyi bir arada bünyesinde bulunduran, atık cam agregalı ve geri kazanılmış uçucu kül içerikli beton karışımı, en üst düzeyde sürdürülebilir niteliğe sahip bir yapı elemanı olarak ortaya çıkmaktadır. Söz konusu yapı elemanı üzerinde günümüze kadar yapılmış olan deneyler, ürünün ticari uygulamalarda kullanılabilirliği yönünde önemli ipuçları vermekte olup, olumsuz bulgular ortaya çıkarmamıştır. Atık camın dekoratif nitelikleri ile uçucu külün uzun vadede ortaya çıkan dayanım özellikleri, Wafa bağlayıcılı,

atık cam agregalı betonun, özellikle prefabrike beton endüstrisinde, cephe panelleri ve dekoratif yapı elemanlarının üretiminde, kendisine oldukça büyük bir yer elde etme potansiyeline referans vermektedir. Ancak, bu sürdürülebilir nitelikteki uygulamanın hayata geçmesi için, uygulamaya yönelik daha detaylı fiziksel ve kimyasal çalışmaların hayat bulması son derece önemlidir.

4.2.4. Plastik esaslı atıkların prefabrike beton endüstrisinde geri kazanımı

Dünya çapında açığa çıkan katı atık maddeler arasında önemli bir paya sahip olan plastik bazlı atıklar, doğada biyolojik olarak çözülmemeleri ve petrol içerikleri nedeni ile yüksek düzeyde önem gösterilmesi gereken atık malzemelerdir. Plastik bazlı atıklar, Amerika'da açığa çıkan katı atıkların ağırlıkça %7'sini, hacmen de %30'unu oluşturmaktadırlar [Rebeiz ve ark., 1991]. Ortaya çıkan çarpıcı rakamlar, genellikle son kullanıcı tarafından tüketilen gıda ve temizlik malzemelerin kutu, kap ve poşetlerinin oluşturduğu plastik bazlı atıkların, geri kazanımının gerekliliğini göstermektedir. İnşaat sektörü de plastik bazlı atıkların geri dönüştürülmesi için olanaklar oluşturacak bir disiplin ortaya çıkarabilir.

Konvansiyonel inşaat malzemelerine göre daha yüksek mekanik dayanıma sahip ve daha uzun ömürlü olan kompozit özellikteki yeni malzemelerin ortaya çıkması, zaman içerisinde bozulan yapı malzemelerinin yenilenmesi ya da tamirinde önemli rol oynar. Polimer beton da bu özelliklere sahip yeni bir kompozit inşaat malzemesidir. Polimer beton, içeriğinde bağlayıcı olarak çimento yerine polyester esaslı reçine barındıran, dolgu olarak ise ince ve iri agrega, kum ve bazen de uçucu kül içeren bir beton karışımıdır. Kısaca, polimer betonu uzun ömürlü, yüksek mekanik dayanıma sahip ve hızlı priz alan bir üründür [Rebeiz ve ark., 1991].

Polimer beton kullanımı, yapı sektöründe, birçok strüktürel ve konstrüktif uygulamada, gün geçtikçe artan bir orana sahiptir. Ürün, olumlu kimyasal ve fiziksel özellikleri nedeni ile prekast endüstrisinde de yoğun kullanım olanaklarına sahiptir.

Standart çimentolu beton karışımları ile kıyaslandığında polimer betonu, çok güçlü ve uzun ömürlü bir malzemedir. Söz konusu ürün, özellikle hızlı priz alma özelliği ile prefabrike beton sistemi de dahil, birçok inşaat uygulamasında önemli avantajlar sağlamaktadır. Portland çimentolu standart betonun priz alma süresi günler ya da haftalarla ifade edilirken, polimer betonun priz alma süresi dakika ya da saatlerle ifade edilebilecek kadar kısadır. Bu kadar üstün özelliklerine rağmen, polimer betonun en büyük dezavantajı, içeriğindeki pahalı hammadde reçine nedeni ile meydana çıkan yüksek maliyetidir. İnşaat sektöründeki karar verme mekanizmalarının polimer beton kullanımı konusunda geri durmaları çoğunlukla ekonomik nedenlerden dolayıdır.

Bu durumda polimer betonun kullanımının artması, birinci olarak doğrudan maliyetinin düşmesine, yani içerisindeki pahalı reçinenin daha ekonomik bir biçimde elde edilmesine, ikinci olarak ise elde edilecek cazip ürünün yapı sektörü sorumlularına anlatılmasına bağlıdır. Polimer beton hammadde reçinesinin ekonomik olarak elde edilebilmesinin sağlanabilmesi amacı doğrultusunda; reçineyi, polietilen teraftalatın (PET) geri dönüştürülmesi sonucunda elde edilmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır. Tüketici atıkları içeriğinde yoğun olarak karşılaşılan ve atık toplama faaliyetleri sayesinde basitçe elde edilebilen PET, doymamış polyester reçine olarak geri kazanılabilir niteliğe sahip bir atık malzemedir. Yüksek kalite polimer beton oluşturulması amacı ile PET'in, doymamış polyester reçinesi elde etmek amacı ile geri kazanımı, standart polimer beton uygulamalarına göre daha ekonomik bir sonuç elde edilmesini sağlamıştır. Bu uygulamanın diğer önemli avantajları ise; atık plastiğin geri dönüştürülerek kullanımı sayesinde, çevre kirliliğinin azalmasına yardımcı olması ve polyester reçine üretim prosesinde

işlenmemiş hammadde malzemeler kullanımına göre, imalat aşamasındaki kimyasal işlemin %50 daha kısa sürmesi ve bu yolla enerji tasarrufu elde edilmesidir.

Polimer betonun mekanik özellikleri, prefabrike beton uygulamalarında, genellikle ağır yüke maruz elemanların üretiminde tercih edilmesi nedeni ile çok önemlidir. Bu nedenle Jo ve arkadaşları, PET şişelerin geri dönüştürülmesi sonucunda ortaya çıkan, doymamış polyester reçinesi kullanılarak elde edilen polimer betonun mekanik özelliklerini araştırmışlardır.

Bu araştırmada, geri kazanılmış doymamış polyester reçinesi laboratuvar koşullarında elde edilemeyeceği için, bir kimya fabrikasından temin edilmiştir. İnce ve iri agregalar, 3:2 (ince agreganın, iri agregaya olan ağırlıkça oranı) oranında kullanılmış ve nem içeriklerinin ağırlıkça %0,3'ün altına indirilebilmesi için en az 24 saat boyunca 200 °C fırında kürlenmiştir. Bunun amacı reçine ile agreganın güçlü bağ kurmasını kolaylaştırmaktır Katkı olarak kalsiyum karbonat kullanımı yolu ile taze beton karışımının işlenebilirliği arttırılmıştır. Beton karışımı, içeriğine reçine ağırlığının %0,15 oranında etkime başlatıcı katkı da eklenerek hazırlanmış ve standart bir betonyer içerisinde 3 dakikalık karıştırma işlemi sonucunda elde edilmiştir. Elde edilen karışımlar, numune kalıbına koyularak kürlenmiş ve oda sıcaklığında elde edilen 1, 3 ve 7 günlük polimer beton numuneleri üzerinde deneyler yapılmıştır. Polimer betonun yüksek dayanım özellikleri nedeni ile deney için küçük boyutlu silindir numune kapları seçilmiştir (Ø76 mm x h152 mm) [Jo ve ark., 2006]. Polimer beton numunelerine özel belirlenmiş test standartları bulunmamaktadır. Bu nedenle polimer betonun özelliklerinin belirlenmesi için standart beton için hazırlanmış test şartnameleri kullanılmaktadır [Rebeiz ve ark., 1991].

Elde edilmiş küçük polimer beton numuneleri üzerinde yapılan detaylı kimyasal ve fiziksel deneyler neticesinde aşağıdaki bulgulara ulaşılmıştır:

1. PET'in geri kazanımı yolu ile elde edilen reçinenin kullanıldığı çeşitli polimer betonu numuneleri üzerinde yapılan deneylerde; en yüksek 73,7 mPA basınç dayanımı, 22,4 mPA eğilme dayanımı, 7,85 mPA yarma çekme dayanımı ve 27,9 GPa elastisite modülü değerlerine ulaşılmıştır. Bu değerler çok yüksek mekanik dayanım değerleridir. Betonun eğilme dayanımı ve yarma çekme dayanımı değerleri, genellikle betonun basınç dayanımı değeri ile yapılacak oranlama sonucunda elde edilebilir. Örneğin 58,8 mPA basınç dayanımına sahip yüksek dayanımlı betonun, eğilme dayanımı, basınç dayanımının yaklaşık %11,3'ü; yarma çekme dayanımı ise basınç dayanımının yaklaşık %7'si oranındadır. Çalışma kapsamında yapılan deneylerde, PET geri kazanımı ile elde edilen reçinenin kullanıldığı polimer betonu; 64,6 mPA ile 73,7 mPA aralığında basınç dayanımına, 18,4 mPA ile 23,8 mPA aralığında eğilme dayanımına ve 6,9 mPA ile 7,9 mPA aralığında çekme dayanımı değerlerine sahiptir. Bu değerlere göre; eğilme dayanımının basınç dayanımına oranı %29 ile %32 aralığında, yarma çekme dayanımının basınç dayanımına oranı ise %9 ile %11 aralığında değerler vermektedir. Bu oranlar, geri kazanılmış PET kullanılarak elde edilen polimer betonu, standart betona göre, daha yüksek eğilme dayanımı ve yarma çekme dayanımı oranına sahip olduğunu göstermektedir [Jo ve ark., 2006]. Ortaya çıkan mekanik dayanım değerleri, standart polyester reçinesi kullanılarak elde edilen polimer beton değerlerinden aşağı değildir [Rebeiz ve ark., 1991].
2. Polimer beton; 1 günde, 7 günlük basınç dayanımı değerinin %70-80'i mertebesinde erken dayanım gösterebilmektedir.
3. Reçine, etkileşim başlatıcı kimyasallar ve kalsiyum karbonatın birbirleri ile karışım oranları, polimer betonu mekanik özelliklerini doğrudan etkilemektedir. Yüksek mekanik dayanıma ve fiziksel özelliklere sahip polimer beton elde edilmesi, içeriğinde kullanılan malzemeler arasındaki optimum oranların iyi hesaplanmasına bağlıdır. İçeriğindeki herhangi bir

maddenin fazla ya da az olması, polimer betonu niteliklerinin olumsuz olarak etkilenmesine neden olabilir. Örneğin, farklı reçine maddelerinin aynı karışım içerisinde kullanılması, ürün polimer betonun sonuç dayanım değerlerini olumsuz yönde etkilemektedir [Jo ve ark., 2006]. Kullanılan farklı geri kazanılmış PET özellikli reçineler, farklı reçine ve agrega oranları, ortaya farklı karakteristik özellik aralığında polimer beton ürünleri çıkarır. Prefabrike beton endüstrisinde kullanılacak polimer betonunda, genellikle, yüksek dayanım, yüksek elastisite modülü ve boyutsal kararlılık özellikleri aranmaktadır. Prefabrike beton endüstrisinde kullanılmaya yönelik polimer beton; işlenebilirlik, dayanım ve ekonomik açıdan irdelendiğinde en uygun karışım tasarımı, %10 oranında geri kazanılmış PET reçinesi, %45 oranında 10 mm ince çakıl, %32 oranında kum ve %13 oranında uçucu kül kullanımı olarak önerilmektedir [Rebeiz ve ark., 1991].

4. Polimer betonunun basınç dayanımı yükseldikçe, elastisite modülü, eğilme dayanımı ve yarma çekme dayanımları da yükselir. Bunun yanı sıra, kürlenme süresi ile sonuç basınç dayanımı değeri arasında da standart çimentolu betonda gözlemlenebildiği gibi, kayda değer bir ilişki ortaya çıkmıştır.
5. Yüksek miktarda atık PET kullanımı, elde edilen reçine özelliklerini olumsuz etkilememektedir. Bu nedenle polimer beton için kullanılacak reçinenin, yüksek miktarda atık kullanılarak elde edilmesi hedeflenmelidir [Jo ve ark., 2006].

Geri kazanılmış reçine içerikli polimer beton deneylerinin bir benzeri 1991 yılında Rebeiz ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Bu deneylerde hammadde olarak birçok farklı özellikte ve farklı kaynaktan elde edilmiş atıkların geri kazanımı ile ortaya çıkan reçinelerin kullanıldığı polimer beton numuneleri kullanılmış ve bu çeşitlilik nedeni ile yapılan deneylerde geniş aralıkta mekanik dayanım ve durabilite değerleri elde edilmiştir. Rebeiz ve arkadaşları tarafından yapılmış olan deneyler için tedarik edilen reçine

içeriğindeki geri dönüştürülmüş PET miktarı, tedarikçilerin üretim aralığı ile sınırlandırılmış olup, elde edilebilen tüm oranlarda PET içeren reçineler numune polimer betonu karışımlarına içerik olmuştur. Ayrıca elde edilen sonuçlara göre, reçine içeriğindeki geri kazanılmış PET miktarı arttıkça, polimer betonun eğilme dayanımı da artış eğilimi göstermektedir. Ancak reçine içeriğindeki PET miktarının artışı, polimer betonun diğer dayanım özelliklerini etkilemez.

Reçinenin saflığı, çoğu yapı malzemesinin üretiminde kullanılan polimer beton özelliklerini etkilemez, bu nedenle de atık PET'in geri kazanımı öncesi ayrıştırılması için her hangi bir ekstra işleme ihtiyaç duyulmamaktadır. Reçine elde edilmesi aşamasında azami oranda geri kazanılmış PET kullanılması hedeflenmelidir. Geri kazanılmış PET'in yüksek oranda kullanıldığı reçinenin, polimer betonu özellikleri üzerinde olumsuz bir etkisine rastlanmamıştır; aksine yüksek oranda PET atık kullanımı sayesinde ürün polimer betonu maliyetinin düşmesi ve söz konusu ürünün daha rekabetçi bir yapı malzemesi olarak ortaya çıkmasını sağlar.

Düşük akışkanlığa sahip reçine kullanımı da polimer beton kalitesi için önemlidir. İçeriğinde su bulunmayan bir kompozit yapı malzemesi olan polimer betonda, düşük akışkanlığa sahip reçine kullanımı, hem karışımda kusursuz sıvı özelliği gösterir, hem de yüksek agrega : reçine oranı ile kullanıldığında üst düzey beton işlenebilirliği sağlar. Yüksek agrega : reçine oranlı polimer beton kullanımı, pahalı olan hammadde reçine miktarının azalması nedeni ile fiyat ekonomisi sağlamanın yanı sıra, ürünün kullanıldığı prekast elemanlarda da boyutsal kararlılık özelliğinin artmasını destekler.

Polimer betonun büzüşme özelliği prefabrike beton uygulamaları için bağlayıcı bir unsurdur. Prefabrike beton imalatlarında düşük büzüşme miktarı önemlidir; çünkü yüksek büzüşme oluşumu, elemanların boyutlarında

değişmeye, dolayısı ile de kalıptan alma ve montaj uygulamalarında sorunların ortaya çıkmasına yol açar. Düşük agrega : reçine oranına sahip (4:1) polimer betonun büzüşmeye dayalı şekil değiştirme miktarı, yüksek oranlı (9:1) polimer betona göre üç kat fazla ölçülmüştür. Bu büzüşme miktarı, erken priz alma özelliği bulunan polimer beton için erken ortaya çıkmaktadır. Büzüşme olayı, beton karışımı hazırlanmasından 8 saat sonra ortaya çıkmaya başlayıp, 24 saat içerisinde sona erer. Bu süreçlerin, prefabrike betonun kalıptan alma zamanlamasının ayarlanması hususunda önemle takip edilmesi zorunludur.

Geri kazanılmış PET reçinesi kullanılarak elde edilen polimer betonun sürece bağlı dayanım özelliklerinin belirlenmesinde bir takım performans verilerinin değerlendirilmesi gereklidir. Polimer betonun; su emme değerinin ağırlıkça %1'in altında olduğu, kumlama nedenli aşınma dayanımının, sülfürik aside ve sodyum hidroksite karşı kimyasal dayanımının çok iyi olduğu göze çarpmaktadır. Düşük su emme özelliği, suyun ve tuzun ürün eleman içerisine girme oranını düşürmesi nedeni ile prefabrike beton endüstrisinde köprü kirişi ya da bordür taşı imalatında kullanımı açısından çok önemlidir. Bunun yanı sıra düşük su emme kapasitesi sayesinde, beton üzerinde, kullanım süresi içerisinde donma ve çözülme etkisi ile ortaya çıkabilecek çürüme ve yüzey çatlakları ve suyun betonarme eleman içeriğindeki demire etki ederek paslanması gibi sorunlar ortaya çıkmaz. Ayrıca polimer betonun düşük su geçirgenliği ve kimyasal maddelere karşı yüksek dayanımı nedeni ile demir donatıyı kaplayan pas payı kalınlığının, portland çimentolu standart betona göre, aşağı çekilmesi mümkün olacaktır.

Bu üstün özellikleri ile geri kazanılmış PET kullanılarak elde edilen reçinenin kullanıldığı polimer beton; standart çimentolu beton zeminler üzerine koruyucu ve tamir edici kaplama olarak, kimyasal malzeme tanklarında ve kanalizasyon borularında koruyucu malzeme olarak, eskimiş, çürümüş yapı elemanlarını tamir edici harç olarak, prefabrike eleman, döşeme karosu ve

makine temeli imalatında ve yapı malzemelerinin birbirlerine yapıştırılmasında yoğun uygulama olanaklarına sahiptir.

Prefabrike eleman üretiminde de polimer beton kullanımının önemi gitgide artmaktadır. Ürünün hızlı priz alma özelliği, kalıpların hızlı ve verimli kullanımını sağlar. Kusursuz mekanik dayanım özellikleri, daha ince prefabrike eleman kesitlerinin kullanımına olanak sağlar; bu şekilde bina ölü yükünü azaltarak deprem dayanımını artırır; altyapı, nakliye ve montaj maliyetlerini azaltır. Bu üstün mekanik özellikleri ve erken dayanım değerleri ile polimer betonu, prekast betonu içeriğinde, özellikle de yüksek dayanım gerektiren köprü kirişleri, ya da geniş açıklıklı binaların döşeme ya da makas kirişlerinde kullanımı açısından önemli bir ürün olarak ortaya çıkmaktadır. Polimer betonu üzerinde yapılan basit renklendirme işlemleri ve içeriğinde farklı malzemelerin kullanılması, cephe paneli üretiminde kullanılan polimer beton çerçevesinde, nitelikli görsellikte yapı elemanlarının ortaya çıkmasını sağlar. Elektrik direkleri gibi, yüksek mekanik dayanım ve durabilite özelliği gereken prefabrike beton uygulamalarında; yüksek eğilme dayanımına sahip polimer beton sayesinde, demir donatı kullanımı ihtiyacı ortadan kalkabilir. Demiryolu traverslerinde polimer beton kullanımı, yüksek eğilme dayanımı ve yüksek titreşim sönümlendirme kapasitesi sayesinde avantajlı bir uygulama olarak göze çarpmaktadır.

Mekanik özelliklerinin yanı sıra geri kazanılmış PET şişelerin kullanımı yolu ile elde edilen reçinenin kullanıldığı polimer beton, hem sürdürülebilir çevre açısından, hem de ekonomik özellikleri açısından avantajlı bir uygulama olarak ortaya çıkmaktadır. PET'in geri kazanılması yolu ile elde edilen reçinenin kullanıldığı polimer beton uygulaması, polimer betonundan üretilen yapı elemanlarının maliyetlerinin düşmesine ve doğada kaybolması 50 yıldan fazla süren PET atıklarının bertaraf edilmesine yardımcı olur. Bu durum, geri dönüşüm uygulamaları yaklaşımında, göz önünde bulundurulması gereken önemli bir husustur.

5. SONUÇ

150 yıllık uygulama geçmişi ile prefabrike beton inşaat sistemi, yıllık Dünya ortalamalarına bakıldığında hazır beton üretimi ile eşit miktarda üretim değerlerine ulaşmıştır. Söz konusu değerlere ülkemiz çerçevesinde bakıldığında ise prefabrike beton endüstrisinin, konvansiyonel inşaat yöntemlerine göre çok geride kaldığı gözlemlenmektedir. Halbuki prefabrike beton üretim yöntemleri hem mevcut olarak barındırdığı olumlu özellikleri ile hem de üretim sistemi yapısının içerdiği potansiyel ile konvansiyonel yöntemlere kıyasla, birçok açıdan tercih edilebilirliğini sağlayan avantajlara sahiptir.

Giriş bölümünde de belirtildiği gibi, araştırmanın öncelikli amacı prefabrike beton endüstrisi uygulamalarının atık yönetimi ve atık geri kazanımı çalışmalarının tanımlanması ve bu doğrultuda elde edilen bulguların ülkemizdeki prefabrike beton endüstrisi uygulamalarında kullanımı için bir kaynak kitap oluşturmaktır. Bu tez kapsamında, prefabrike beton endüstrisinin, sürdürülebilirlik çerçevesindeki atık yönetimi ve geri dönüşüm uygulamaları çerçevesinde sahip olduğu potansiyel ve ortaya çıkabilecek avantajlar araştırılmıştır. Çalışma öncelikli olarak prefabrike beton üretim sektörünün atık yönetimi uygulamaları ile ilişkileri çerçevesinde yapılmış ve atık yönetimi temelli uygulamaların barındırdığı potansiyeller ortaya konulmuştur. Daha sonra ise sektörün açığa çıkardığı atık malzemelerin, öncelikle sektör içerisinde olmak üzere geri kazanım yöntemleri ve dünya çapında yoğun olarak açığa çıkan katı atıkların sektör içerisinde hammadde olarak kullanım olanakları tanımlanmıştır. Bu araştırmalar neticesinde ortaya çıkan temel sonuçlar aşağıdaki gibidir:

1. Prefabrike beton yapı uygulamaları, konvansiyonel sistemlere göre %50 oranında daha az inşaat atığı salınımı ortaya çıkarmaktadır. Bu durumun başlıca sebepleri; prefabrikasyonun endüstriyel bir inşaat yöntemi olması

nedeni ile sanayi sektörünün bünyesinde barındırdığı kalite, dolayısı ile de atık yönetimi uygulamalarını hayata geçiriyor olması, imalat esnasında daha az miktarda yapı malzemesine ihtiyaç duyması ve bu malzemeleri de nispeten kontrollü ortamda kullanıyor olması olarak gösterilebilir.

2. Prefabrike beton üretimi, uzun tarihi nedeni ile olgunlaşmış bir üretim sistemi olduğu için kaynaklarını, ar-ge, atık yönetimi ve sürdürülebilir yaklaşımlar üzerine yönlendirebilmektedir. Tez içeriğinde de belirtildiği gibi, bu tip ar-ge çalışmaları, sektör içerisinde, proje aşamasından, montaj aşamasına kadar geçen tüm süreçlerde birçok çevre duyarlı uygulamanın hayata geçmesini sağlayabilmektedir.
3. Prefabrike beton yapı endüstrisi şantiyede kullanılan geçici kalıp, iskele vb. ekipmanlara ihtiyaç duymamaktadır. Böylece bu ekipmanların kullanımı sonucu ortaya çıkan çevre kirliliği, zaman kaybı ve güvenlik sorunları ortadan kalkmaktadır.
4. Prefabrike yapı elemanları sevkiyat esnasında ambalajlamaya ihtiyaç duymamaktadır ve şantiyede ambalajların çıkarılması sonucunda meydana gelebilecek atık salınımı ortadan kalkmaktadır.
5. Prefabrike beton yapı elemanlarının üretiminde açığa çıkan atıkların birçoğu geri kazanılabilir özellik göstermektedir.
6. Prefabrike beton yapı elemanları, ilk kurulduğu noktadaki işlevi sona erdiğinde, bir kere sökülüp başka bir noktaya monte edilebilir özellik gösterebilmektedirler. Bu özellik, işe yaramaz hale gelmiş yapı elemanının bütüncül olarak geri kazanımı ile ilgili son derece önemli bir atık yönetimi uygulamasına referans vermektedir.
7. Prizini almış prekast beton atıkları agrega olarak geri dönüştürülebilir ve elde edilen geri dönüştürülmüş agrega öncelikle prefabrike beton endüstrisinde olmak üzere; betona, asfalta ve dolgu malzemelerine ihtiyaç duyulan tüm uygulamalarda faydalı geri kazanım olanaklarına sahiptir. Prefabrike bina atıklarının değerlendirilerek inşaat sektöründe geri kazanılması; hem agrega temini, hem de enerji tüketimi açısından

önemlidir. Bu nedenle geri dönüştürülmüş agrega sektörü, Avrupa Birliği ülkelerinde uygulandığı gibi oluşturulmalı ve geliştirilmelidir [Arıoğlu ve ark., 2009].

8. Prefabrike beton endüstrisinin açığa çıkardığı yoğun su içerikli atıklar, yoğunlaştırılarak geri kazanılabilir özelliğine sahiptir. Yoğunlaştırma prosesi sonrası ortaya çıkan su arıtılarak; öncelikle kontrollü olarak prefabrike eleman beton üretiminde olmak üzere, bahçe sulama, araç yıkama ve temizlik amaçları için kullanılabilir. Yoğunlaşmış katı beton içeriği ise, CLSM özellikli beton olarak, evsel pis su atıklarını arıtıcı etken madde olarak ya da evsel pis su atıkları ile karıştırılması sonucunda tarımsal gübre olarak geri dönüşüm olanaklarına sahiptir.
9. Prefabrike beton üretim sistemi, üretim prosesinin ve yapı elemanlarının yapısı gereği geri kazanılabilir nitelikteki ürünlerin hammadde olarak kullanımına izin veren bir imalat şeklidir.
10. Prekast betonu içeriğinde geri dönüştürülmüş atık cam kullanımı; hem dekoratif açıdan yenilikçidir, hem de çevre duyarlı yapı elemanlarının elde edilmesini sağlamaktadır.
11. Uçucu kül, yüksek fırın cürufu ve silis tozu gibi katı yakıt atıkların prekast betonu içeriğinde çimento yerine bağlayıcı olarak kullanılmaları, hem üretimi aşamasında çevreye çok fazla zarar veren çimentonun kullanım miktarının azalmasına, hem de katı atık olarak ortaya çıkan söz konusu ürünlerin geri kazanılmasına neden olur. Bu çevre duyarlı uygulama, prekast beton elemanların sonuç mekanik dayanımlarının da yükselmesine yardımcı olmaktadır.
12. Plastik atıkların geri kazanımı yolu ile elde edilen reçine, polimer beton için hammadde olarak kullanılabilir. Bu geri kazanım uygulaması sayesinde söz konusu yüksek maliyetli ürünün maliyeti düşürülerek, prefabrike beton endüstrisi için; hem mükemmel mekanik dayanım değerleri, hem de yüksek durabilite özellikleri ile öne çıkan, özellikle dış etkiye maruz kalan yapı elemanlarında kullanımı hususunda önemli faydalara sahip bir yapı elemanının ortaya çıkması sağlanmaktadır.

13. Elde edilen bulgular; bahsedilen tüm geri kazanım yöntemlerinin ülkemizde hayata geçebilmesi için, tez kapsamında verilen ön bilgileri temel kabul ederek, yerel malzeme koşullarına göre uygulamaya yönelik daha detaylı deneyler yapılmasını gerektiğini ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışma kapsamında prefabrike beton endüstrisi çerçevesindeki atık yönetimi ve geri dönüşüm olanakları üzerine yapılan araştırmalar sonucunda elde edilen bulgular, mümkün olduğunca kimyasal, biyolojik vs. detaylara girilmeksizin, mimarlık disiplini çerçevesinde ihtiyaç duyulacak miktarda detaylandırılarak özetlenmiştir. Elde edilen bilgilerin derlenmesi yolu ile prefabrike beton endüstrisi için, hem akademik hem de profesyonel çalışma alanları ile bağı olan ve birçok farklı disiplin içerisinde kullanılabilecek bir kaynak oluşturulmaya çalışılmıştır.

Bu tez kapsamında yapılan araştırma, sektörel bazda sınırları çizilmiş bir akademik çalışmadır ve prefabrike beton endüstrisinin, ülkemizde yeterince farkına varılmamış olan birtakım olumlu özelliklerinin göz önüne çıkartılması ve günümüz koşullarında yüksek önem arz eden sürdürülebilir altyapıların sektöre adapte edilmesi yolu ile hem ticari açıdan sektöre katkıda bulunan, hem sürdürülebilir çevre açısından ülkemiz geleceğine katkıda bulunan bir çalışma ortaya çıkarılması hedeflenmiştir. Çalışmanın ortaya koyduğu bu değerler; ileride, farklı sektörler bazında yapılacak olan akademik çalışmalara da ön ayak olmalıdır.

Buna benzer çalışmaların ülkemizde daha yoğun ele alınması için bazı otoritelerin harekete geçmeleri zorunludur. Kamusal yönetimlerin, geri dönüşüm uygulamaları ile ilgili çalışmaların Avrupa standartlarına çıkartılması ve sektörlerin bu konuda daha fazla bilgilendirilebilmesi için tanıtım çalışmalarının hızlandırılması, yönetmelik, şartname ve sözleşmelere, geri kazanılmış malzeme kullanımını teşvik edecek düzenlemelerin eklenmesi gibi hususlara önem vermesi gerekmektedir. Bu yolla yatırımcıların sürdürülebilir

nitelikteki yaklaşımlarına yönlendirmelerinin sağlanabilmesi daha da kolaylaşacaktır. Yatırımcılar ve sektör yetkililerinin ise, hem çevre duyarlı yaklaşımlar çerçevesinde, hem de ekonomik koşullar noktasında ar-ge çalışmalarını hızlandırması önem arz etmektedir. Ar-ge çalışmaları sayesinde elde edilecek katkı, ülkemiz sanayi sektörünü dolayısı ile de; ülke ekonomisinin de güçlenmesine yardımcı olacaktır.

KAYNAKLAR

Aktan, C.C., “Değişim çağında yönetim”, **Sistem Yayıncılık**, İstanbul, 141 (2003).

Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Kurt, G., “Geri kazanılmış agregalı betonların kimi mekanik büyüklüklerinin incelenmesi”, **Beton Prefabrikasyon**, (89): 5-9 (2009).

Aydemir, B., “Prefabrike betonarme iskelet sistemlerle inşa edilen endüstri yapılarında prefabrike döşeme bileşenlerinin yük ve açıklık kriterleri açısından irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İzmir, 3-4 (2005).

Bakır, E., “Prefabrike betonarme yapıların tasarım ilkeleri kılavuzu”, **Türkiye Prefabrik Birliği**, Ankara, 1-3 (1990).

Baytin, D., Tokman, B., “Çağdaş yapım sistemleri seri konferansları”, **TÜBİTAK Yapı Araştırma Enstitüsü Yayınları**, Ankara, 12 (1981).

BRE, TRL, “Recycled roads”, **Waste & Resources Action Programme, Banbury**, 1-21 (2005).

Chitra, G., “Beneficial reuse of a precast industry concrete sludge”, Yüksek Lisans Tezi, **University of Windsor Faculty of Graduate Studies and Research**, Ontario, 1-97 (2005).

Corinaldesi, V., Moriconi, G., “Behaviour of cementitious mortars containing different kinds of recycled aggregate”, **Construction and Building Materials**, 29: 289-294 (2009).

Coşkun, U., “Hazır beton santrallerinde geri dönüşüm sistemi ile kazanılan atık suyun (milli su) beton üretiminde değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Afyon, 11-12 (2007).

Çetin, C., Akin, B., Erol, V., “Toplam kalite yönetimi ve kalite güvence sistemi”, **Beta Yayınları**, İstanbul, 363-364 (2001).

Çorlu, B., “Kalite çevre iş sağlığı ve güvenliği entegre yönetim sistemleri ve bir uygulama”, Yüksek Lisans Tezi, **Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü**, İstanbul, 13-14 (2006).

Eguchi, K., Teranishi, K., Nakagome, A., Kishimoto, H., Shinozaki, K., Narikawa, M., "Application of recycled coarse aggregate by mixture to concrete construction", **Construction and Building Materials**, 21 (7): 1552-1551 (2005).

Garvin, D.A., "Competing on the eight dimensions of quality", **IEEE Engineering Management Review**, Spring, 15-23 (1996).

Griffiths, D., "Precast concrete sites benefit from filtration technology", **Concrete**, 40 (3): 38-39 (2006).

Hartley, A., Blagden, A., "Current practices and future potential in modern methods of construction", **Waste & Resources Action Programme WAS 003-001, Banbury**, 53-55 (2007).

Ho, D.V.S., Chua, C.W., Tam C.T., "Steam cured concrete incorporating mineral admixtures", **Cement and Concrete Research**, 33 (4): 595-598, 601 (2003).

International Council for Research and Innovation in Building and Construction, "Agenda 21 on sustainable construction", **CIB Report Publication 237, Rotterdam**, 35-36 (1999).

Internet: Avrupa Birliği Genel Sekreterliği "2009 yılı Türkiye ilerleme raporu"
http://www.abgs.gov.tr/files/AB_Iliskileri/AdaylikSureci/IlерlemeRaporlari/turkiye_ilerleme_rap_2009.pdf (2010).

Internet: Bibko System "Bibko®-Clarification system: For the recycling of water and sludge"
<http://www.bibko.com/produkte.php?sprache=EN&inhalt=02&detail=02#> (2010).

Internet: Bibko System "Bibko®-Clarificationmachine"
<http://www.bibko.com/produkte.php?sprache=EN&inhalt=02&detail=03> (2010).

Internet: Bibko System "RWS Concrete washer"
<http://www.bibko.com/produkte.php?sprache=EN&inhalt=02&detail=01> (2010).

Internet: Dennert Poraver GmbH "Lightweight Concrete"
http://www.poraver.de/downloads/PDF/leichtbeton/100201_IB_brochure_lightweight_concrete.pdf (2010).

Internet: DOCUmedia.at GmbH "Poraver® erobert die Kunststoffindustrie"
http://www.bau-docu.at/5/pdcnewsitem/01/27/98/index_5.html (2010).

Internet: Doğan Hasol “Yapının endüstrileşmesi”
http://www.doganhasol.net/Articles/yapinin-endustrilesmesi_10686.html
 (2010).

Internet: Fibra Solutions Limited “Concrete Industry Applications”
http://www.fibrasolutions.com/downloads/concrete_industry_apps.pdf (2010)

Internet: Fibra Solutions Limited “The fibra filter Nigel J D Graham”
http://www.fibrasolutions.com/downloads/fibra_filter_graham.pdf (2010)

Internet: Freefoto LLC “Demolition excavator with long-reach arm and specialised concrete pulverising attachment”
<http://www.freefoto.com/preview/13-54-71> (2010).

Internet: International Monetary Fund “IMF emerging and developing economies list. World Economic Outlook database, October 2009”
<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2009/02/weodata/groups.htm#oem>
 (2010).

Internet: Kamil B. Varınca “Entegre atık yönetimi kavramı ve AB uyum sürecinde atık çerçeve yönetmeliği”
<http://www.yildiz.edu.tr/~kvarınca/Dosyalar/Yayinlar/yayin018.pdf> (2010).

Internet: Tunçkül Çimento “Mineral Çimento Katkıları...”
<http://www.tunckulcimento.com.tr/cimntokatki.html> (2010).

Internet: Türk Standartları Enstitüsü “TS EN ISO 9000:2000 Kalite Yönetim Sistemi/ Genel Bilgilendirme”
<http://www.tse.org.tr/Turkish/kaliteYonetimi/9000bilgi.asp> (2010).

Internet: Schuster Concrete “Resources”
<http://www.schusterconcrete.com/resources.html> (2010).

Internet: Shanghai Shibang Machinery Co. Ltd. “Vibrating Screen”
<http://www.unisbm.com/products/images/vibrating-screen2.jpg> (2010).

Internet: Spiroll Precast Services Ltd. “Crosscut saw”
<http://www.spiroll.co.uk/products/hollowcore-production/crosscut-saw/> (2010).

Internet: Türkiye Prefabrik Birliği “Rakamlarla prefabrike beton - 2008”
<http://www.prefab.org.tr/sektor/sr2008.pdf> (2010).

Internet: WRAP “Aggregain” <http://aggregain.wrap.org.uk> (2010).

Jo, B.W., Park, S.K., Kim, C.H., “Mechanical properties of polyester polymer concrete using recycled polyethylene terephthalate”, **ACI Structural Journal**, 103 (2): 219-220, 224-225 (2006).

Johnson, D., "Basics of prefabricated walls and partitions", ***Plant Engineering***, 46: 60-65 (1992).

Kayıhan, K.S., "Sürdürülebilir mimarlığın yarı nemli Marmara ikliminde tasarlanacak temel eğitim binalarında irdelenmesi ve bir yöntem önerisi", Doktora Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 225 (2006).

Klemens, T., "From trash to filler", ***Concrete Producer***, 21 (9): 18 (2003).

Küçüker, F., "Prefabrike ve konvansiyonel bir yapının üretim yöntemlerinin karşılaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Manisa, 13 (2006).

Lockwood, J., Jan. 31, ***The Star Ledger***, (2008).

Marsh, D., "Waste reduction", ***Concrete Products***, 110 (4): 22 (2007).

Meyer, C., Xi, Y., "Use of recycled glass and fly ash for precast concrete", ***Journal of Materials in Civil Engineering***, 11 (2): 89-90 (1999).

Mtech Consult Limited, "Waste reduction potential of precast concrete manufactured offsite", ***Waste & Resources Action Programme WAS 003-003, Banbury***, 1-11 (2008).

Polat, G., Damcı, A., "Türk inşaat sektöründe prefabrik betonarme yapı sistemlerinin kullanımını etkileyen faktörler", ***İnşaat Yönetimi Kongresi***, İstanbul, 152 (2007).

Poon, C.S., Kou S.C., "New technology of sustainability utilization of construction and demolition waste", ***Journal of Wuhan University of Technology***, 29 (1): 8 (2007).

Rebeiz, K.S., Fowler, D.W., Paul, D.R., "Recycling plastics in polymer concrete for construction applications", ***Polymer-Plastics Technology and Engineering***, 30 (8): 237-239, 242-244, 246-248 (1991).

Reiner, M., Rens, K., "High-volume fly ash concrete: Analysis and application", ***Practice Periodical on Structural Design and Construction***, 11 (1): 58-63 (2006).

Sakınç, E., "Sürdürülebilirlik bağlamında mimaride güneş enerjili etken sistemlerin tasarım ögesi olarak değerlendirilmesine yönelik bir yaklaşım", Doktora Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, 4,6 (2006).

Shepherd, S.T., "From trash to treasure." **Professional Builder**, 71 (9): 97 (2006).

Stirling, R., "Concrete manufacturers doubt quality of recycled aggregates", **Contract Journal**, 429 (6539): 15 (2005).

Tam, V.W.Y., Gao, X.F., Tam, C.M., "Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two stage mixing approach", **Cement and Concrete Research**, 35 (6): 1195-1203 (2005).

Tokman, B., Eryılmaz, M.G., "Prefabrike beton endüstrisinin dünü, bugünü, yarını", **Yapı**, 271: 95-100 (2004).

Waqar, A.G., "Effect of recycled cement concrete content on rutting behavior of asphalt concrete", Yüksek Lisans Tezi, **Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, vi, 2-3, (2008).

Xie, Z., Xiang, W., Xi, Y., "ASR potentials of glass aggregates in water-glass activated fly ash and portland cement mortars", **Journal of Materials in Civil Engineering**, 15 (1): 67, 73-74 (2003).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KOCA, Selim
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 22.10.1981 Ankara
Medeni Hali : Evli
Telefon : 0 (312) 615 52 80
Faks : 0 (312) 615 51 64
e-mail : selim_koca@msn.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Gazi Üniversitesi / Mimarlık Bölümü	2003
Lise	T.E.D. Ankara Koleji	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009 -	Prekons İnşaat Sanayi A.Ş.	Maliyet Analiz Sor.
2007 – 2009	Ankyra Grup Mimarlık Ltd. Şti.	Proje Şefi
2003 – 2006	Astaş As Beton San. ve Tic A.Ş.	Satış Sorumlusu

Yabancı Dil

İngilizce