



**KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ
PREFABRİK BETON KAPLAMA ELEMANI
ÜRETİMİNDE KULLANILMASI**

Gökçe TOKEL

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR

Haziran - 2021

Her hakkı saklıdır

T.C.
TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ PREFABRİK BETON KAPLAMA
ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Gökçe TOKEL

TOKAT

Haziran 2021

Her hakkı saklıdır

TEZ BEYANI

Tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu tezin yazılmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, tezin içerdiği yenilik ve sonuçların başka bir yerden alınmadığını, kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez çalışması olarak sunulmadığını beyan ederim

Gökçe TOKEL

Haziran 2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KENTSEL DÖNÜŞÜM BETON ATIKLARININ PREFABRİK BETON KAPLAMA ELEMANI ÜRETİMİNDE KULLANILMASI

Gökçe TOKEL

TOKAT GAZİOSMANPAŞA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR

Kentlerin dönüşümlerinden kaynaklı inşaat atıkları ülkemizde ve Dünya genelinde pek çok çevresel ve ekonomik soruna neden olmaktadır. Mevcut yapıların güvensizliği, şehir planlamasına uygunsuzluğu ve artan nüfusa yetersizliği gibi nedenler günümüz şartlarında önem kazandıkça dönüştürülmesi gereken yapıların sayısı da gün geçtikçe artarak bir dizi problemi de beraberinde getirmektedir. Bu atıkların geri dönüşüm ile kazanılması hem mevcut durumdaki atıklardan kaynaklı sorunların azaltılmasında hem de yeni üretilecek malzemelerin üretiminde kullanılacak hammadde ihtiyacının giderilmesinde önemli rol oynayacaktır.

İnşaat atıklarının büyük bir kısmını beton atıkları oluşturmaktadır. Beton atıkları da hacimsel olarak % 65-75 oranında agregaya içermektedir. Tüm beton ürünlerinde ihtiyaç duyulan agreganın büyük bir kısmı doğal olarak elde edilen nehir, deniz, göl yataklarından ya da taş ocaklarından elde edilen doğal taş malzemelerdir. Doğal kaynakların da sonsuz olmadığı düşünüldüğünde beton ürünlerinden elde edilen geri dönüşüm agregalarının önemi bir kat daha artmaktadır.

Şehirciliğin artmasıyla çevre düzenlemelerinde, ulaşım ağlarının genişlemesiyle de trafik yoğunluğunun düşük olduğu yollarda; prefabrik beton kaplama elemanlarının kullanımı önem kazanmaktadır. Tüm bu ihtiyaçları karşılamak için milyonlarca parke taşı üretilmekte, bunların üretimi içinde tonlarca agregaya kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, Tokat ili Merkez ilçesindeki kentsel dönüşüm projelerinden elde edilen beton atıkları standartlara uygun agregaya haline getirilip, % 25, %50, %75 oranında kullanılarak prefabrik beton kaplama elemanları üretilmiştir. Geri kazanılmış agregadan elde edilen parkelere TS 2824 EN 1334 şartnamesine göre uygunluk deneyleri [boyut ve görünüş, mukavemet tayini (yarmada çekme), su emme oranı tayini, aşınmaya karşı direnç tayini, buz çözücü tuz etkisiyle donma çözölmeye karşı direnç tayini] yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre; üretim baskı-kalıp yöntemiyle olduğu için boyut açısından büyük farklar doğurmamış, parke içerisindeki Geri Dönüşüm Agregası özelliklerinden dolayı ise mukavemet, su emme, aşınmaya karşı direnç ve donma çözünme değerlerinde şartname kriterleri yakalanamamıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Kentsel Dönüşüm Beton Atığı, Agregaya, Prefabrik Beton Kaplama Elemanı, Beton Parke

ABSTRACT

MASTER THESIS USE OF URBAN TRANSFORMATION CONCRETE WASTES IN THE PRODUCTION OF PREFABRICATED CONCRETE COATING ELEMENT

Gökçe TOKEL

**TOKAT GAZIOSMANPASA UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

SUPERVISOR: Asst. Prof. Dr. Ferit YAKAR

Construction waste caused by the transformations of cities causes many environmental and economic problems in our country and around the world. As the reasons such as insecurity of existing buildings, incompatibility with urban planning and inadequacy of increasing population gain importance in today's conditions, the number of buildings that need to be transformed increases day by day and brings along a series of problems. Considering all of these, recycling of these wastes will play an important role both in reducing the problems arising from the current wastes and in meeting the need for raw materials to be used in the production of new materials.

Most of the construction wastes are concrete wastes. Concrete wastes also contain 65-75% aggregate by volume. Most of the aggregate needed in all concrete products is natural stone materials obtained from river, sea, lake beds or quarries. Considering that natural resources are not infinite, the importance of recycling aggregates obtained from concrete products increases one more time. In landscaping with the increase of urbanism, on roads where traffic density is low with the expansion of transportation networks; The use of prefabricated concrete coating elements is gaining importance. To meet all these needs, millions of paving stones are produced during the day, and tons of aggregate are used in their production. Since the aggregate obtained from construction waste and the aggregate content of the prefabricated concrete pavement element to be used in park and road pavements will increase proportionally over time, the use of recycled materials will help to eliminate the problems mentioned above.

In this study, with the idea of eliminating the aforementioned problems, concrete wastes obtained from urban transformation projects in Tokat city Merkez district were turned into aggregate in accordance with the standards, and by using 25%, 50%, 75%, prefabricated concrete coating elements were produced. According to the 1334 specification, conformity tests [size and appearance, strength determination (shrinkage in splitting), determination of water absorption rate, determination of resistance to abrasion, determination of resistance to freeze-thaw due to de-icing salt] were performed. According to the experimental results; As the production is done with the press-mold method, it did not cause big differences in terms of size, and due to the properties of the GDA in the parquet, the specification criteria in strength, water absorption, abrasion resistance and freeze-thaw values could not be achieved.

KEYWORDS: Urban Transformation Concrete Waste, Aggregate, Prefabricated Concrete Lining Element, Concrete Parquet

ÖNSÖZ

Tez çalışma sürecimde beni yönlendiren saygıdeğer danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi Ferit YAKAR' a ve Gaziosmanpaşa Üniversitesi İnşaat Mühendisliği akademisyenlerine;

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgememiş olan babam Şükrü TOKEL, annem Kıymet TOKEL ve ablam Tuğçe TOKEL'e;

Eğitim, iş ve özel hayatımda beni her zaman destekleyen eşim Ömer Faruk ARMAĞAN'a;

Tez çalışmamın fiziksel aşamalarında bana yardımcı olan şantiye çalışanlarımızdan Kadir, Ömer, İbrahim ÇINAR'a; Aratlar Yapı ve Malzeme Laboratuvarı çalışanlarına; Ay Beton Ürünleri Fabrikası çalışanlarına ve Erbaa Beton Üretim Tesisi Kalite Kontrol Sorumlusu Selim ÖZDEMİR'e ve Şirket Müdürü Mesut ER'e teşekkür ederim.

Gökçe TOKEL

Haziran 2021

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGE VE KISALTMALAR	vii
ŞEKİL LİSTESİ	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	x
1. GENEL BİLGİLER	1
1.1. Giriş	1
1.2. Literatür Taraması	2
1.3. Kentsel Dönüşüm	3
1.3.1. Kentsel Dönüşüm Nedir?	4
1.3.2. Kentsel Dönüşümün Ülkemizdeki Tarihsel Gelişimi.....	5
1.3.3. Kentsel Dönüşüm İle Meydana Gelen İnşaat-Yıkıntı Atığı Sorunları.....	5
1.3.4. İnşaat-Yıkıntı Atığı Sorunlarının Çözümü İçin Yapılan Çalışmalar.....	9
1.4. Prefabrik Beton Kaplama Elemanları (PBKE)	13
1.4.1. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Üretiminde Kullanılan Malzemeler.....	13
1.4.2. Prefabrik Beton Kaplama Elemanlarının Şartname Kriterleri.....	18
1.4.3. Prefabrik Beton Kaplama Elemanlarının Yaygın Kullanımı Ve Avantajları.....	26
2. YÖNTEM VE MATERYAL	29
2.1. Prefabrik Beton Kaplama Elemanlarının Üretimi	29
2.1.1. Kentsel Dönüşüm Atıklarından Agregâ Temini.....	30
2.1.2. GDA Elde Edilen Agregaların Uygun Boyutlara Getirilmesi.....	30
2.1.3. Prefabrik Beton Kaplama Elemanının Hazırlanması.....	32
2.1.4. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Üretimi.....	36
2.1.5. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Kürü.....	39
2.2. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Deneyleri	40
2.2.1. Boyut Ve Görünüş.....	41
2.2.2. Mukavemet Tayini (Yarmada Çekme Dayanımı).....	42
2.2.3. Su Emme Tayini.....	43

2.2.4. Aşınmaya Karşı Direnç Tayini.....	44
2.2.5. Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini.....	45
3. BULGULAR.....	47
3.1. Boyut Ve Görünüş Sonuçları.....	47
3.2. Mukavemet Tayini (Yarmada Çekme Dayanımı) Sonuçları.....	49
3.3. Su Emme Tayini Sonuçları.....	50
3.4. Aşınmaya Karşı Direnç Tayini Sonuçları	51
3.5. Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini Sonuçları	52
4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER.....	53
5. ÖNERİLER.....	56
6. KAYNAKLAR.....	57
7. EKLER.....	60
8. ÖZGEÇMİŞ.....	76

SİMGE VE KISALTMALAR

Simgeler

HCO₃

MgO

Na₂CO₃

SO₃

SO₄

Açıklamalar

Bikarbonat

Magnezyum Oksit

Sodyum Karbonat

Kükürt Trioksit

Sülfat

Kısaltmalar

Aw

EN

GDA

İYA

KDA

KGM

KK

MAM

NA

P

PBKE

TGDA

TS

Wa

TMMOB

W/C

TŞ

Açıklamalar

Su Emme Yüzdesi

Avrupa Normu

Geri Dönüşüm Agregası

İnşaat Yıkıntı Atığı

Kentsel Dönüşüm Atığı

Karayolları Genel Müdürlüğü

Kimyasal Katkı

Marmara Araştırma Merkezi

Normal Agregası

Kırılma Yüğü

Prefabrik Beton Kaplama Elemanı

Temizlenmiş Geri Dönüşüm Agregası

Türk Standartları

Su Emme

Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliğı

Su Çimento Oranı

Teknik Şartname

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1. Kentsel Dönüşüm Örneği	4
Şekil 1.2. Tokat-Yazıcıoğlu Hafriyat ve Yıkıntı Atığı Toplama Alanı.....	7
Şekil 1.3. Yıkıntı Atığı Su Kirliliği.....	8
Şekil 1.4. Boston Şehri Geri Dönüşüm ve Depolama Maliyeti Karşılaştırması.....	8
Şekil 1.5. Hacimce Katı Atık Oranları.....	9
Şekil 1.6. Hacimce Katı Atık İçerisinde İnşaat Yıkıntı Atığı(İYA) Oranları.....	10
Şekil 1.7. Atık Beton Kullanılarak Yapılan Deneme Yolu En Kesiti.....	11
Şekil 1.8. PBKE Kullanım Alanları.....	26
Şekil 1.9. Esnek-Rijit Kaplama.....	27
Şekil 1.10. PBKE Peyzaj Çalışması.....	28
Şekil 2.1. PBKE Üretim Alanı.....	29
Şekil 2.2. Beton Atıklarının Toplanması.....	30
Şekil 2.3. Beton Atıklarının Konkasörde Kırılması.....	31
Şekil 2.4. Beton Atıklarının Boyutlarına Göre Gruplandırılması.....	31
Şekil 2.5. Erbaa Beton Parke Üretim Tesisi.....	33
Şekil 2.6. Üretim Tesisinde Numunelerin Hazırlanması	34
Şekil 2.7. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Betonunu Hazırlanması.....	35
Şekil 2.8. Beton Parke Makinası.....	36
Şekil 2.9. Beton Parke Makinasına Elle Betonun Yerleştirilmesi	36
Şekil 2.10. Sıyırma-Presleme.....	37
Şekil 2.11. % 100 GDA Kullanılan PBKE.....	38
Şekil 2.12. GDA'lı Üretilen PBKE.....	38
Şekil 2.13. PBKE Kürü.....	39
Şekil 2.14. Kür Havuzu.....	39
Şekil 2.15. Erbaa Beton Sanayi Ve Tic. AŞ. Beton Test Laboratuvarı.....	40
Şekil 2.16. Numune Boy Ölçümü.....	41
Şekil 2.17. Numune Kalınlık Ölçümü.....	41
Şekil 2.18. Yarmada Çekme Deney Düzenegi.....	42
Şekil 2.19. Yarmada çekme Bilgisayar Destekli Mukavemet Tayini.....	42
Şekil 2.20. (20 ± 5)°C Sıcaklıkta Su Havuzundaki Numuneler.....	43
Şekil 2.21. Numunelerin Islak ve Etüv Kuru Tartımları.....	43
Şekil 2.22. Aşınma Direnç Tayini Cihazı ve Zımpara Tozu.....	44
Şekil 2.23. PBKE'nin Kesim Alanı.....	45
Şekil 2.24. Süre Sıcaklık Çevrimleri.....	46
Şekil 3.1. Şahit Numune ve %100 GDA Numune görselleri.....	48
Şekil 3.2. GDA Numune Kırılma Yüzeyleri.....	49
Şekil 3.3. Numune Dayanım Grafiği.....	53

Şekil 3.4. Su Emme Değeri Grafiği.....	54
Şekil 3.5. Aşınma Değeri Grafiği.....	54
Şekil 3.6. Kütle Kaybı Değeri Grafiği.....	55



ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1. Çimentoğun Kümülatif Hidratasyon Isısı.....	16
Çizelge 1.2. PBKE Sonuçlarına Etki Eden Faktörler.....	17
Çizelge 1.3. Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı İçin Genel Şartlar.....	18
Çizelge 1.4. İnce ve İri Agregaya Ait Fiziksel ve Mekanik Özellikler.....	18
Çizelge 1.5. Çimento ile ilgili TS EN standartları.....	19
Çizelge 1.6. Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri.....	19
Çizelge 1.7. Çimentoların kimyasal özellikleri.....	19
Çizelge 1.8. Beton Karma Suyu Niteliği.....	20
Çizelge 1.9. Beton Katkıları İçin Genel Şartlar.....	21
Çizelge 1.10. PBKE Boyutları Tolerans Limitleri.....	22
Çizelge 1.11. PBKE Çevre Şartlarına Göre Sınıflandırılması.....	22
Çizelge 1.12. PBKE Parti Büyüklüğüne Göre Deney İçin Alınacak Numune Sayıları.....	23
Çizelge 1.13. PBKE Deney Standartları.....	23
Çizelge 1.14. PBKE İçin İzin Verilen Boyut Sapmaları.....	24
Çizelge 1.15. PBKE Düzlük ve Bombe İçin Sapmaları.....	24
Çizelge 1.16. PBKE İçin Su Emme Sınırları.....	25
Çizelge 1.17. PBKE İçin Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Birlikte Donma Çözülme Sınırları.....	25
Çizelge 1.18. PBKE İçin Yarmada Çekme Dayanım Sınırları.....	25
Çizelge 1.19. PBKE İçin Aşınmaya Karşı Direnç Sınırları.....	25
Çizelge 2.1. Çimento Verileri.....	34
Çizelge 2.2. 1 m ³ Beton İçin Gerekli Malzeme Miktarları(kg).....	35
Çizelge 2.3. 60 dm ³ beton İçin Gerekli Malzeme Miktarları(kg).....	35
Çizelge 2.4. Deney Numune Sayıları.....	40
Çizelge 2.5. Dönme Noktaları Koordinatları.....	46
Çizelge 3.1. Şahit Numune Boyutları.....	47
Çizelge 3.2. GDA İle Üretilen Numunelerin Boyutları.....	47
Çizelge 3.3. GDA Numunelerimizin Görünüşlerinin Değerlendirilmesi.....	48
Çizelge 3.4. GDA Numune Dayanım Sonuçları.....	49
Çizelge 3.5. Şahit Numune Dayanım Sonuçları.....	49
Çizelge 3.6. GDA Numune Su Emme Sonuçları.....	50
Çizelge 3.7. Şahit Numune Su Emme Sonuçları.....	50
Çizelge 3.8. GDA Numune Aşınmaya Karşı Direnç Tayini Sonuçları.....	51
Çizelge 3.9. Şahit Numune Aşınmaya Karşı Direnç Tayini Sonuçları.....	51
Çizelge 3.10. GDA Numune Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini Sonuçları.....	52
Çizelge 3.11. Şahit Numune Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini Sonuçları.....	52

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Günümüzde, zamanla artış gösteren çevresel sorunların azaltılması için kalıcı çözümler üretmek amacıyla pek çok alanda çalışma başlatılmıştır. Sürdürülebilir kalkınmanın yapı taşlarını oluşturan; doğal kaynakların korunması ve gereksiz enerji tüketiminin önüne geçilmek istenmesi, fabrikasyon ürünlerinin üretimi sırasında ve evsel kullanımın sonucunda oluşan atıkların azaltılması gibi konuları kapsayan bu geri dönüşüm çalışmaları çağdaş mimarinin de gündemine girmiştir. Kentleşmeye ve doğal nüfus artışına bağlı olarak artan insan nüfusu başta olmak üzere bunun gibi pek çok neden, yeni yapıları özellikle konut inşaatlarının sayısını gün geçtikçe artırmaktadır. Ülkemizde gerek deprenselliğin, gerek kentlerin sosyal ve ekonomik etkenlerinin toplum üzerinde oluşturduğu negatif etkiler düşünüldüğünde, başta büyük şehirler olmak üzere kentsel dönüşüm ile hem daha kaliteli hem de ihtiyacı karşılayabilecek sayıda konut inşasına gerek duyulmaktadır.

İnşaat sektöründeki tüm bu yeni yapım çalışmaları ciddi miktarlarda yıkıntı atığı ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Yıkıntı atıklarında en yüksek orana sahip, atık betonlardır. Beton bileşiminin de hacimsel olarak % 65-75'nin agregası (kırmataş) olduğu ve kaliteli agregası kaynaklarının da zaman içerisinde tükenen olduğu düşünüldüğünde; geri kazanılmış malzemelerin önemi, yeni üretilecek beton ve beton türevi ürünler için artmaktadır. Geri kazanılmış betonlar, ilgili standartları sağlamak şartı ile gerekli işlemlerden sonra birçok yeni inşaat ürünü oluşturulabilmektedir.

Tüm bu yeni yapım çalışmalarına ek olarak ülkemiz sınırları içerisinde ulaşım ağlarında da ciddi iyileşmeler görülmektedir. Trafik yoğunluğunun durumuna göre yol yapım malzemeleri farklılık gösterebilmektedir. Trafik yükünün daha ağır ve konforun daha iyi olması gereken yollarda asfalt kaplamalar, beton kaplamalar uygulanırken trafik yoğunluğunun daha düşük olduğu yollar, meydanlar, park yerleri ve peyzaj alanlarında ise prefabrik beton kaplama elemanları tercih edilmektedir. Saydığımız bu yerlerin ülkemizde kapladığı alanlar düşünüldüğünde milyonlarca prefabrik beton kaplama elemanı üretimi gerekmektedir.

Diğer beton ürünlerinde olduğu gibi prefabrik beton kaplama elemanlarının yapısında da hacimce en fazla pay agregaya aittir.

Tüm bunlardan yola çıkılarak geri dönüşümden elde edilecek agregaların kriterleri sağlaması ile prefabrik beton kaplama elemanı üretiminde kullanılması hem çevresel hem de ekonomik açıdan faydalar sağlayacaktır.

1.2. Literatür Taraması

Kentsel dönüşümlerin hız kazanmasıyla yıkıntı atıklarının geri kazanımı, ekonominin iyileştirilmesi ve doğal çevrenin korunması yararına sonuçlar doğurması nedeni ile ilginin giderek arttığı bir araştırma alanı haline gelmektedir. Bu nedenle ülkemizde ve dünyada pek çok araştırmacı bunun üzerine çalışmalar yapmaktadır.

Savaş (2002), çalışmasında imar ve doğal afet nedeni ile yıkılan yapılardan elde edilen atık betonların, agrega olarak kullanılmasıyla maliyet ve çevresel etkilerin oluşturduğu sakıncalarını azaltmayı amaçlamıştır. Atık betonlardan elde ettiği agregalar ile farklı oranlarda beton numuneleri oluşturmuş ve standartlar ile karşılaştırmıştır. Buna göre; GDA ile üretilen betonların taşıyıcı sistemlerde kullanılamayacağı, taşıyıcı olmayan grobetonlar, koşu ve bisiklet yolu betonlarında, stabilize yolların dolgusunda kullanılabileceğini belirtmiştir.

Süme (2016), yapmış olduğu çalışmasında kentsel dönüşüm kapsamında meydana gelecek inşaat yıkıntı atıklarının geri dönüşümünü sağlayarak beton yollarda kaplama olarak kullanılabilirliğini araştırmıştır. Agregaları; temizlenmiş geri dönüşüm agregası (TGDA), geri dönüşüm agregası (GDA) ve normal agrega (NA) olarak sınıflandırmış ve %20, 40, 60, 80 oranında karıştırılarak küp numuneler oluşturulup dayanımlarını test etmiştir. TGDA'nın diğer karışım oranlarına göre en iyi sonucu verdiğini gözlemlemiştir.

Memişoğlu (2019), çalışmasında beton parke ve bordür yapı elemanlarının üretimi, taşınması, yüklenmesi ve yerleştirmesi aşamalarında oluşan atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregaları ile %20, 40, 60, 80 ve 100 oranlarında üretilen beton parkenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin aynı karışım özelliklerine sahip doğal agregalı beton parke ile karşılaştırarak GDA'nın beton parke yapımında uygunluğunu araştırmış, genel olarak % 40 ve üzeri karışım oranlarında şartname kriterlerini sağlamadığını gözlemlemiştir.

Canpolat (2018), çalışmasında Kayseri çinko-kurşun üretim tesisi atık agregası ile üretilen beton parke taşlarının fiziksel ve mekanik özellikleri araştırmıştır. Kayseri çinko-kurşun tesisi atıkları kullanılarak üretilen beton parke taşları kontrol grubuna göre kıyaslandığında birim hacim ağırlıklarının azaldığı, su emme ve boşluk oranlarını arttırdığı, yarmada çekme dayanımlarını düşürdüğü, aşınma ve donma çözülmeye karşı dirençlerini azalttığını tespit etmiştir.

Kaya ve ark (2016), çalışmalarında 5 farklı kullanım alanından ve her alan için 12 adet olmak üzere toplamda 60 adet beton kilitli parke taşı temin etmiştir. Temin edilen numunelerin TS 2824 EN1338 standardına uygun su emme ve dayanım özelliklerini incelemiştir. Numunelerden elde edilen sonuçları, standartta belirtilen sınır değerler ile karşılaştırmış; sonuç olarak bütün guruplarda su emme yüzdelerinin standartta belirtilen sınır değerinin altında olduğu görmüştür. Dayanım değerlerinde ise gurup ortalama değerleri standartın altında kaldığını tespit etmiştir.

1.3. Kentsel Dönüşüm

Geçmişten günümüze yeryüzünde yaşayan canlı nüfusunun giderek artmasıyla kentsel alanlar ve kent yaşamları da sürekli bir değişime ihtiyaç duymaktadır. İhtiyaç duyulan kentsel alanlardaki bu değişimler, kent fonksiyonlarına, artan dünya nüfusuna, arazinin kullanım tercihinine ve ekonomik şartlara göre şekil almaktadır. Artan dünya nüfusuna paralel olarak ortaya çıkan konut ihtiyacı ve ekonomik gereksinimler insanları kent yaşamına yönlendirmekte ve buna bağlı olarak da kentlerde belli başlı sorunları meydana getirmektedir.

Bu sorunlara yapısal sorunlar açısından bakacak olduğumuzda; düzensiz yerleşkeler, kent alanlarının kapasitesinin üzerinde kullanımı ve gecekondulaşma gibi önemli sorunlar karşımıza çıkmaktadır. Bu tür olumsuzluklar hem konut ihtiyacını karşılayamadığı hem de çevresel bozukluklara neden olduğu için yeni bir planlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Bunun içinde kamu kuruluşlarınca belirlenen şartlar dahilinde ihtiyaçlara yönelik kentsel yenileme projeleri ile yaşanabilir sağlıklı kentlerin oluşturulması amaçlanmaktadır.

1.3.1. Kentsel Dönüşüm Nedir?

6306 sayılı Afet Riskli Yapıların Yenilenmesi Hakkında Kanuna (2012) göre, kentteki afet riski taşıyan alanların belirlenip, sağlıklı ve de yaşanılabilir hale getirilmesidir. Kanun, Türkiye'nin her bölgesinde yer alan kent ve köylerdeki ekonomik ömrünü tamamlamış, yıkılma riski taşıyan binaların devletin sağladığı yapım kredisi, kira yardımı, belediye harç - vergi avantajlarını kullanarak yapılmasını öngörmektedir.

Kentsel dönüşüm;

- Doğal afetlerden (sel, deprem, orman yangını, heyelan vb.) doğrudan etkilenebilecek alanlardaki yapıların uzaklaştırılması ya da doğal şartlara uygun hale getirilmesi
- Kent ortasında kalan, şehir yaşamını sakıncalı duruma düşüren çalışma alanların şehir yaşamına uygun şekilde dönüştürülmesi
- İşlevini yitirmiş tarihi mekânların, koruma alanlarının dönüştürülmesi,

konularını içerir. Kısaca kentsel dönüşümle kaçak yapılaşmanın önüne geçilmesi, depreme dayanıklı olmayan, ekonomik ömrünü doldurmuş binaların yeniden yapılarak olası doğal afetler sonucu oluşacak zararların en aza indirilmesi amaçlanmaktadır.

Kentsel dönüşüm riskli binaların yıkılıp yeniden yapılması yanı sıra, yerleşim yerlerinin kongre ve kültür merkezleri, park ve eğlence alanları gibi modern ihtiyaçlarının karşılanmasını da içermektedir. Şekil 1.1'de görülen Dikmen Vadisi Kentsel Dönüşüm Projesi de gecekondular için hazırlanan ilk kentsel dönüşüm projesi örneği olarak bilinmektedir.(Bal, 2017).



Şekil 1.1. Kentsel Dönüşüm Örneği

1.3.2. Kentsel Dönüşümün Ülkemizdeki Tarihsel Gelişimi

Türkiye topraklarında kentsel dönüşümün tarihi Osmanlıya dayanmaktadır.1839 Tanzimat Fermanı, 1859 Islahat Fermanı ve 1858 Arazi Kanunnamesi ile mülk topraklarının kişilere devredilmesi, tarımsal altyapı ve tarımda mülkiyet ilişkilerinin düzenlenmesi amacıyla toprak üzerinde yeni sınırlar ve yeni yapılaşmalar meydana gelmiştir (Seydioğulları, 2016).

Cumhuriyetin ilanından sonra alınan yardımlar ile gelişen sanayi büyük şehirlere göçleri artırmış, bununla birlikte de büyük şehirlerde gecekondulaşma başlamış ve zamanla altyapı ve planlanmadan yoksun bu gecekondu bölgeleri büyük sorun haline gelmiştir.

1980'lere gelindiğinde ise, kentleşme hızı azalırken kent merkezlerinin ve gecekondu alanlarının dönüşümü, sanayi alanlarının kent dışına çıkması gibi oluşumlar kentlerde de gözlemlenmeye başlamıştır (Seydioğulları, 2016).

Türkiye'de özellikle 1999 Marmara depreminden sonra deprem riski taşıyan yapılaşma alanlarının bu riske karşı önlemlerin alınmasına ve bu doğrultuda deprem bölgelerindeki kentlerin dönüşümlerine öncelik verilmiştir. Bunun yanı sıra depremden zarar gören tarihi ve kültürel yapıların onarımı ile başlayıp tüm bu yapıları kapsayan koruma ve yaşatılarak kullanılma amaçları ile çalışmalar yapılmıştır. Böylece kamu gücü ile dönüşümler hız kazanmıştır (Seydioğulları, 2016).

2000 sonrasındaki dönemde konut, turizm ve ticaret eksenli dönüşüm uygulamaları ön plana çıkmıştır. Özel amaçlı uygulamalar ve küreselleşme sonucu yeni yasaların ortaya çıktığı kentsel dönüşüm faaliyetleri önem kazanmıştır. (Seydioğulları, 2016).

1.3.3. Kentsel Dönüşüm İle Meydana Gelen İnşaat-Yıkıntı Atığı Sorunları

Geri dönüşümlerin ve israfın önlenmesi için özenli çalışmaların başladığı bu günlerde, katı atıkların kontrolü ve yönetimi, ülkemizde ve dünyada önemli bir konu haline gelmektedir. Katı atıkların miktarı da ülkelerin ve şehirlerin gelişmişlik düzeylerine göre farklılık göstermektedir. Bu atıkların dönüştürülerek kullanılması ve geri kazanımı çevresel ve ekonomik olarak sürdürülebilirlik sağlamaktadır.

İnşaat-yıkıntı atıkları, hacimce ve oranca katı atıklar arasında en büyük paya sahip olan atıklardır(Aktaş, 2015). Bu atıkların; taşınma ve depolanma maliyetlerinin artması, çevrenin korunmasına karşı hassasiyetin artması, inşaat yapımında kullanılacak doğal kaynakların sınırlı olması gibi şartlar nedeni ile geri dönüştürülerek kullanılmasının yaygınlaşması ülkemizde ve dünyada önem arz etmektedir.

18.03.2004 tarihinde ve 25406 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği’ne (2004) göre hafriyat toprağı ile inşaat ve yıkıntı atıklarının çevreye zarar vermeyecek şekilde öncelikle üretildikleri yerde yani kaynaktan azaltılması, toplanması, geçici biriktirilmesi, taşınması, geri kazanılması, değerlendirilmesi ve bertaraf edilmesi hedeflenmektedir.

Geri dönüşümden elde edilmiş ürünler, gerekli standartları sağlamak koşulu ile gerekli işlemlerden sonra karışım malzemeleri ile beraber ya da ayrı olarak, yeni beton ürünlerinde, yol alt ve üst yapısında, otopark-park, kaldırım, yürüyüş yolları, drenaj çalışmaları, kanalizasyon boruları ve kablo döşemelerinde dolgu malzemesi olarak, alt ve üst yapı inşaatlarında, spor ve oyun tesisleri inşaatları ile diğer dolgu ve rekreasyon çalışmalarında öncelikli olarak kullanılabilir.

Geri kazanılmayan inşaat/yıkıntı atıkları gerekli ayrıştırma ve boyut küçültme yapıldıktan sonra katı atık depolama alanında günlük örtü malzemesi olarak kullanılabilir.

AB’nin Atık Çerçeve Direktifi kapsamında 2020 yılına kadar inşaat atıklarının %70’inin geri dönüşüme kazandırılması hedeflenmektedir.. Mevcut durumda ülkemizde inşaat ve yıkıntı atıkları miktarının 4-5 milyon ton/yıl olduğu görülmektedir. 6306 sayılı “Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun”un yürürlüğe girmesiyle birlikte sayıları artacak kentsel dönüşüm uygulamaları ile birlikte inşaat ve yıkıntı atıkları miktarının ilk 3 yıl boyunca yıllık hedefin %40’ı esas alınarak 10 milyon ton/yıl ve geri kazanılacak malzeme miktarının 6 milyon ton/yıl civarında oluşacağı öngörülmektedir (Bilim Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2014).

Çevresel sorunlar

İnşaat yapım ve yıkım aşamalarında pek çok çevresel sorun ortaya çıkabilmektedir. İnşaat yapım aşamasında meydana gelen sorunların çevresel etkilerinin değerlendirilmesi için rapor oluşturulması, incelenmesi ve gerekli ise yapımına engel olunması için yasal dayanaklar mevcuttur. Ancak kentsel dönüşümde, zorunlu alanlardaki yıkımlar söz konusu olduğu için çevresel sorunlar doğursa dahi yıkımların gerçekleşmesine, buna bağlı olarak da yıkıntı atıklarının oluşmasına engel olma söz konusu olmamaktadır.

İnşaat yıkıntı aşamasında meydana gelecek çevresel sorunları azaltabilmek amacıyla Hafriyat Toprağı, İnşaat Ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği (2004) çıkarılmıştır. Bu yönetmeliğe göre amaç, ilk olarak yıkıntı atıklarının yıkım alanında bertaraf edilmesi daha sonra ilgili kurumların gösterdiği alanlarda depolanmasıdır. İnşaat yıkım aşamasında; kullanılabilir durumdaki PVC ya da ahşap; borular, doğramalar, kablolar, diğer taşınmazlar mevcut haliyle ya da geri dönüştürülüp kullanılmak üzere yıkım alanından gerekli kişiler tarafından alınır. Geriye beton ve demirden oluşan karkas yapı atıkları kalır. Bunun içinden de maliyeti nedeniyle demir alınarak büyük bir atık şeklinde beton yığınları kalır. Bu beton atıkları kurumların gösterdiği alanlara taşınıp orada depolanmaktadır. Tokat-Yazıcıoğlu Hafriyat ve Yıkıntı Atığı Toplama Alanı Şekil 1.2’de görülmektedir.



Şekil 1.2. Tokat-Yazıcıoğlu Hafriyat ve Yıkıntı Atığı Toplama Alanı

Atık durumdaki betonlar depolandıkları alanda görüntü kirliliğine ve zamanla doğa ile sürekli temas halinde olduğu için Şekil 1.3'te de görüldüğü gibi hava, toprak ve su kirliliğine; her geçen gün atıkların depolanması gereken alanlara ihtiyacın artmasıyla da arazi kirliliğine neden olmaktadır.

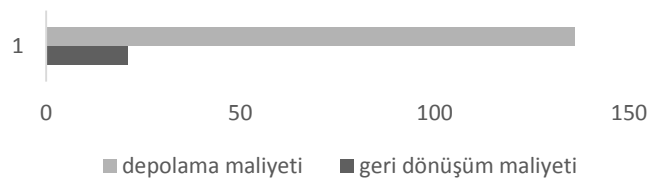


Şekil 1.3. Yıkıntı Atığı Su Kirliliği

Ekonomik sorunlar

Birim hacimdeki betonun maliyeti içerisinde en büyük pay % 40-45 ile çimentoya aitken, ikinci sırada % 20 ile doğal agrega yer almaktadır. Hacimsel olarak ise; agrega toplam hacmin % 75'ini oluşturmaktadır. Bu iki veriye göre inşaat yıkıntı atığı içerisinde milyonlarca ton agreganın çöp olduğu görülmektedir. Buna göre atık durumdaki betonlardan elde edilen agregaların yeniden kullanımını büyük ölçüde ekonomik kazanç sağlayacaktır.

Ayrıca, gelişmiş ülkelere bakıldığında beton atıklarının taşıma ücretleri, depolama alanı ücretleri ve çeşitli vergiler sebebi ile depolama alanlarına atılmaları, geri kazanım maliyetine göre çok daha pahalı duruma gelmiştir. Örneğin, Amerika Birleşik Devletleri'nin Boston şehrinde yapılan bir araştırmaya göre, ayrılmış beton atıklarının geri kazanım maliyeti Şekil 1.4'deki verilere göre ton başına 21 dolar, depolama alanlarına atılmalarının maliyeti ise ton başına 136 dolar olduğu görülmektedir. (Lennon, 2005)



Şekil 1.4. Boston Şehri Geri Dönüşüm ve Depolama Maliyeti Karşılaştırması

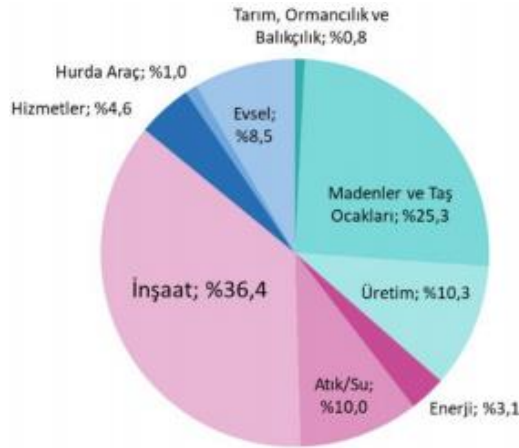
Doğal kaynakların aşırı tüketimi

Beton ürünlerinin hacminin % 75'ini oluşturan agregalar, mineral kökenli ve 100000 mikrona (100 mm)kadar farklı tane büyüklüğünde kırılmamış veya kırılmış doğal tane yığınları olarak tanımlanmaktadır. Dünya genelinde üretilen tüm madenler içerisinde % 58'lik payla birinci sırayı doğal agregalar almaktadır.

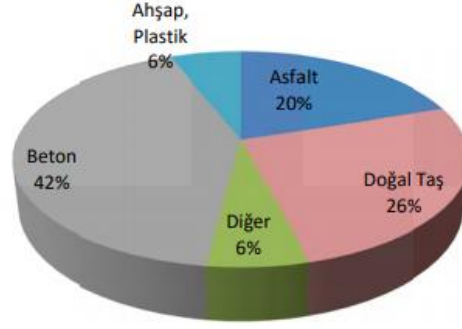
Tüm bunlar neticesinde dünyada her yıl yaklaşık olarak 8-12 milyar ton doğal agrega tüketimi olmaktadır. Doğal agregaların özgül ağırlığının 2,5 ton/m³ olması hesabına göre; dünyada yıllık ortalama 4 milyar m³'lük bir hacmi kapsayan doğal kaynaklardan agrega üretildiği ortaya çıkmaktadır.(TMMOB Maden Mühendisleri Odası, 2009) Bu da dünyada ve ülkemizde sınırsız olmayan doğal kaynakların aşırı tüketimine neden olmaktadır.

1.3.4. İnşaat-Yıkıntı Atığı Sorunlarının Çözümü İçin Yapılan Çalışmalar

Gün geçtikçe artış gösteren sanayileşme, kentleşme ve nüfus artışıyla orantılı olarak meydana gelen katı atıklar, dünya çapındaki tüm ülkelerin çalışmalarında bulunarak yönetmesi gereken bir çevresel sorun durumundadır. İnşaat yıkıntı atıkları (İYA), Şekil 1.5'de görüldüğü gibi katı atıklar içerisinde; beton atıkları da Şekil 1.6'da görüldüğü gibi inşaat yıkıntı atıkları içerisinde hacimce ve kütlece en yüksek orana sahip olan atıklardır.



Şekil 1.5. Hacimce Katı Atık Oranları



Şekil 1.6. Hacimce Katı Atık İçerisinde İYA Oranları

Son yıllarda ülkemizde hız kazanan kentsel dönüşüm projeleri, ortaya çıkan inşaat atıklarının miktarını artırmıştır. Bundan yola çıkarak Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, İller Bankası Anonim Şirketi (İLBANK), TÜBİTAK MAM, İSTAÇ A.Ş. (İstanbul Çevre Yönetimi Sanayi ve Ticaret A.Ş.), AKÇANSA, İSTON A.Ş.(İstanbul Beton Elemanları ve Hazır Beton Fabrikaları San. Ve Tic. A.Ş.), İSFALT A.Ş (İstanbul Asfalt Fabrikaları Sanayi ve Ticaret A.Ş.) kamu ve özel kurumlar geri dönüşüm metotları uygulamaya başlamıştır.

İYA'nın yeni beton üretiminde agrega olarak kullanılması

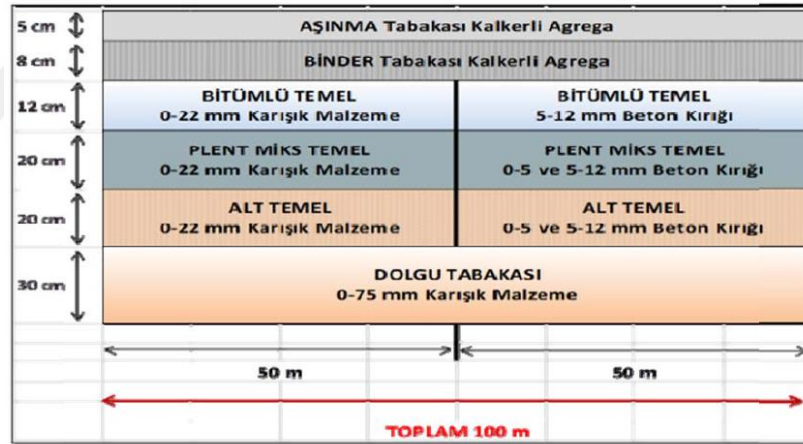
TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) ile Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından ortaklaşa yürütülen “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşümü ve Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi” kapsamında atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm agregalarının yeniden beton üretiminde agrega olarak kullanılması ele alınmıştır. Bu proje kapsamında belirli ikame oranlarında geri dönüşüm agregaları kullanılarak hazırlanan karışımlarla beton/betonarme boru, şap betonu, grobeton üretilmiştir.

Dayanım ve su sızdırmazlık test sonuçlarının şartlara uygunluğu sağlandığından, geri dönüşüm agregaları ile üretilen beton ve betonarme borular, İller Bankası projelerinde kullanılmaya başlanmıştır. Grobeton ve şap betonu üretiminde, üretilen betonlarda dayanım şartı yerine mukavemet değişimleri gözlenmiştir. % 45 geri dönüşüm agregası kullanılan grobetonda %32 basınç mukavemet kaybı, % 20 geri dönüşüm agregası kullanılan şap betonunda % 14 basınç mukavemet kaybı olduğu görülmekte ve kullanılabilirliği için çalışmalara devam edilmektedir.

İYA'nın yürüyüş yollarında, kaldırımlarda, asfalt ve beton yollarda alt yapı malzemesi olarak kullanılması

Ülkemizde geri dönüşüm tesislerinin yaygın olmaması nedeniyle yıkım sonucu ortaya çıkan malzemeler genellikle hiçbir işleme tabi tutulmadan direkt dolgu malzemesi olarak kullanılmaktadır. Teknoloji ve donanım gerektirmemesi, uygulamanın kolay olması nedenlerinden ötürü bu yöntem sıkça tercih edilmektedir. Bu da; çevre kirliliğinin yanı sıra geri dönüşüm potansiyeli olan malzemelerin kaybına ve en önemlisi mühendislik açısından uygun olmayan dolguların yapılmasına neden olmaktadır.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi (MAM) ile Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından ortaklaşa yürütülen “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşümü ve Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi” kapsamında atık betonlardan elde edilen geri dönüşüm atıkları kullanılarak 100 metrelik bir deneme yolu yapılmıştır. Yolu en kesiti Şekil 1.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7. Atık Beton Kullanılarak Yapılan Deneme Yolu En Kesiti

Yapılan çalışma sonucunda; beton atıklarının dolgu tabakasında, alt temel tabakasında, plent miks temel tabakasında ve bitümlü temel tabakasında aşağıdaki oranlarda kullanılabilceği belirtilmiş olup 5 ay sonra yapılan kontrolde yolda herhangi bir bozulma olmadığı tespit edilmiştir.

- Dolgu Tabakasında; Karışık İYA Olarak % 100
- Alt Temel Tabakasında; Karışık İYA % 50, Beton Blok Kırığı % 50
- Plent Miks Temel Tabakasında; Karışık İYA % 40, Beton Blok Kırığı % 60
- Bitümlü Temel Tabakasında; Karışık İYA % 10, Beton Blok Kırığı % 15

İYA'nın gabion malzemesi olarak kullanılması

Gabionları doldurmak amacıyla kullanılan malzemeler dere yataklarından temin edilmektedir. Akarsu ve dere yataklarından malzeme çıkartılması ile ilgili yasal düzenlemeler ve çevresel etkileri bu tür malzemelerin teminini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle İLBANK Trabzon Bölge Müdürlüğüne yürütülen Beşikdüzü (TRABZON) Derin Deniz Deşarj İnşaatı bünyesinde 1100 metre uzunluğundaki derin deniz deşarj hattı için, her bir katı 100 m² ve 4 katlı 18 betonarme binadan çıkarılan beton atıkları doğal çakıl taşları ile karıştırılarak deneme amaçlı gabion dolgusu olarak kullanılmıştır ve bununla ilgili çalışmaları devam etmektedir.

İYA'nın drenaj sisteminde ve kanalizasyon borularında yataklama, gömlekleme ve geri dolgu malzemesi olarak kullanılması

Alt yapı sistemlerinde yerleştirilen borular için uygun zemin şartlarının sağlanması amacıyla dolgu malzemeleri ile alttan destek ve uygun eğim için yataklama, üstten yapıyı korumak ve üzerinin kapatılması amacıyla da gömlekleme yapılmaktadır.

TÜBİTAK Marmara Araştırma Merkezi ile Altyapı ve Kentsel Dönüşüm Hizmetleri Genel Müdürlüğü tarafından ortaklaşa yürütülen “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşümü ve Kullanım Kriterlerinin Belirlenmesi Projesi” kapsamında yapılan çalışmalar neticesinde; boruların desteklenmesini, trafik yüklerinin düzenli dağıtılmasını sağlamak ve trafik yükleri altında borunun zarar görmesini engellemek amacıyla inşaat yıkıntı atıklarının kullanılabilirliği üzerinde çalışılmaktadır.

İYA'nın erozyon önleyici olarak kullanılması

Yer kabuğu üzerinde bulunan zeminin; akarsular, mevsimsel yağışlar ve kar erimelerinin etkisiyle hareket etmesiyle meydana gelen göçmelere engel olmak amacıyla yapılan gabion duvarlar için doğal taşlar kullanılmak yerine su emmesi ve özgül ağırlığı standartları sağlayacak inşaat yıkıntı atığı kullanımı çalışmaları yapılmaktadır (Fonteboa, 2007).

1.4. Prefabrik Beton Kaplama Elemanları (PBKE)

Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Şartnamesi (2013) (KGM TŞ (2013)) kısım 316'da Prefabrik Beton Kaplama Elemanları tanımı; '*Yol, yaya kaldırımı, meydan, park gibi açık alanlarda; depo, garaj, park alanı vb. araç trafiğine açık ya da kapalı alanlarda zemine döşenmek amacıyla betondan imal edilen yapı elemanlarıdır.*' olarak yapılmıştır.

Prefabrik Beton Kaplama Elemanları ikiye ayrılır:

- Beton Döşeme Plakları ya da Beton Parke Taşları

Bu elemanlar; yaya kaldırımı, tretuvar veya refüj gibi hafif yük ya da yaya trafiğine maruz yerlerde kullanılır.

- Beton Parke Taşları

Bu elemanlar; yol, meydan, park yeri gibi ağır yük ve taşıt trafiğine kapalı yerlerde kullanılır. Parke taşları betondan tek parça ya da yüzeyi tabakalı ve gövde betonlu olarak imal edilebilirler.

Üst yapı kaplama elemanı olarak kullanıldığında prefabrik beton kaplama elemanlarından beklenen performans aşağıdaki gibidir;

- Trafik yükünden dolayı oluşacak gerilmeleri, tabakalar boyunca dağıtmak ve taban zeminine aşırı yük gelmesini önlemek.
- Üzerinde konfor ve güvenlik sağlayabilecek, trafiğin akabileceği düzgün bir yüzey oluşturmak.
- Yol gövdesini ve yol altyapısını çevresel etkilere karşı korumak.

1.4.1. Prefabrik beton kaplama elemanı üretiminde kullanılan malzemeler

Prefabrik beton kaplama elemanları; gerekli dayanım ve dayanıklılığı sağlayabilecek çimentolar (% 12), atmosfer etkilerine dayanıklı doğal agregalar ya da doğal taşların yapay olarak parçalanması suretiyle meydana gelen agregalar veya geri dönüşümden elde edilen agregalar (%80), su (%8) ve gerektiği takdirde katkı maddeleri (taze ve sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirmek amacıyla % 0,005'i aşmayacak şekilde) ve boya ile karıştırılarak meydana gelen betondan yapılır. Bu elemanlar tesviyesi tamamlanmış temeller üzerine projesinde belirtilen şekil, eğim ve kesitte kullanılır.

Agrega

Prefabrik beton kaplama elemanlarının içeriğinde yer alan agregalar, betonun hacimce % 70'ini, ağırlıkça yaklaşık %80'ini oluşturmaktadır. Ayrıca betonun işlenebilirlik, durabilite ve mukavemet özelliklerine önemli ölçüde etki ettiklerinden dolayı agrega önemli bir malzemedir.

Agregaların sahip olduğu mekanik özellikler, betonun aşağıdaki özellikleri üzerinde etkin bir rol oynamaktadır.

- *Betonun mukavemeti*; Dane şekli ve yüzey yapısı, maksimum dane boyutu, gradasyon, kil içeriği
- *Betonun yoğunluğu*; Agreganın özgül ağırlığı, dane şekli, maksimum dane boyutu, gradasyon, yoğunluk
- *Betonun durabilitesi*; Agreganın porozitesi, cilalanma direnci, don direnci, aşınma direnci, dane şekli, yüzey yapısı
- *Betonda rötre*; Agreganın maksimum boyutu, gradasyon, dane şekli, kil içeriği

Prefabrik beton kaplama elemanları için kullanılacak agregaların fiziksel özellikleri de aşağıdaki gibi olmalıdır; (KGM TŞ, 2013):

- Çimento ile agrega arasındaki aderansın kuvvetli olabilmesi için; agreganın şekli sade olmamalıdır, yüzey pürüzlülüğü fazla olmalıdır. Maksimum dane çapı, porozitesi, yoğunluğu, su içeriği, su emme kapasitesi, aşınma ve basınç dayanımları standartlarına uygun olmalıdır.
- Kil, silt, donatı korozyonuna sebep olabilen tuzlar ve klorür gibi maddeler ile betonda ani genişmelere (alkali silika reaksiyonu) sebep olabilen aktif silis maddeleri agrega taneleri üzerinde bulunmamalıdır. Bu zararlı maddeler agrega tanelerinin yüzeyinden ve içeriğinden arındırılmış olmalıdır.
- Agregatanelerinin içeriğinde iri ve kılcal çatlak mümkün olduğunca bulunmamalıdır. Agregatanelerinin çatlak yapısı ve oranı, betonun dayanımını ve betonda büzülme ve genişleme sonucu oluşan hacim değişikliklerini yakından etkilemektedir.

Çimento

Prefabrik beton kaplama elemanlarının beton mukavemeti, çimento tarafından sağlandığından çimentoya ait özellikler standartlarına uygun olmalıdır.

Çimentonun hammaddesi kireç, demir, silis ve alümin bileşiklerdir. Çimento üretimi için bu hammaddeler uygun oranda 1450° ile 1550°'ye kadar pişirildiğinde kimyasal değişikliğe uğrayarak klinker elde edilir.

Prefabrik beton kaplama elemanları için kullanılacak çimentonun fiziksel özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır:

- İncelik; Çimentonun bağlayıcılık özelliği kazanabilmesi için çimento tanelerinin ince olarak öğütülmesi gerekir. Çimento ne kadar öğütülürse;
 - Hidratasyon hızının artmasıyla 7 günlük mukavemet artışı iyileşir
 - Hidratasyon ısısının artmasıyla çatlaklar ve rötre artar
 - Aynı ağırlıktaki çimentonun tane sayısı artacağından agrega tanelerini sarma miktarı artar. Böylece agrega ve çimento arası aderans artar.

Sonuç olarak çimento mukavemeti için yeterince öğütülmeli fakat hidratasyon ısısını çok fazla artırmamak için öğütme işlemleri standartlara uygun olmalıdır.

- Hacim genişmesi; Çimentonun hacimce genişleme miktarı, sertleşmiş çimentonun dayanıklılığının göstergesidir. Fakat genişmeye neden olan çimento içerisindeki serbest kireç ve MgO suda çözünen maddeler olduğu için betonun mukavemeti ve durabilitesi üzerinde olumsuz etki gösterir.
- Priz süresi; Çimento hamurunun prize başlaması çok erken olmamakla birlikte priz tamamlanma süresi de çok geç olmamalıdır. Aksi takdirde çimento hamuru hidratasyonunu tamamlayamayacak ve beton mukavemetini düşürecektir.
- Çimento hamurunun priz süresine etki eden faktörler;
 - Sıcaklık (Ortam ısısı arttıkça kimyasal bir reaksiyon olan hidratasyonun da artmasına neden olduğundan priz süresi kısalmaktadır.)
 - W/C oranı (Çimentoya katılan su miktarı arttıkça priz süresi uzar)
 - Çimentonun kullanılmadan önce uzun süre bekletilmesi (Bulunduğu ortamdan rutubet kapması priz başlangıcını geciktirecektir.)

Prefabrik beton kaplama elemanları için kullanılacak çimentonun mekanik özellikleri aşağıdaki gibi olmalıdır.

- Hidratasyon; Çimentonun suyla yaptığı reaksiyon olarak tanımlanır. Hidratasyonun gerçekleşebilmesi için klinkerin uygun incelikte öğütülmesi gerekmektedir. Hidratasyon sırasında kimyasal tepkimeler ile ısı açığa çıkar. Hidratasyon ısısının zamana bağlı değişimi Çizelge 1.1’de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Çimentonun Kümülatif Hidratasyon Isısı (KGM TŞ (2013))

Süre	3-gün	7-gün	28-gün	90-gün	1- yıl	6- yıl
Isı (Cal/gr)	61	80	96	104	109	117

- Priz Süresi; Çimento hamurunun katılaşmaya başlaması ile plastikliğini kaybetmesi arasında geçen süreye denir. Sıcaklık, su miktarı ve çimentonun kullanılmadan önce geçen süre çimento prizi ile doğrudan ilişkilidir.
- Mukavemet kazanımı; Priz sonucunda oluşan hidratasyon ürünleri boşluklu bir yapıya sahip olup sertleşme sırasında hacimsel olarak büyüyerek kılcal boşlukları doldurmasıyla meydana gelir. Mukavemet kazanımına; Çimento özelliklerinin yanı sıra, çevresel faktörler, uygulama yöntemleri ve kür şartları da etkilidir.

Karışım suyu

İçilebilir nitelikteki her su, beton karma suyu olarak kullanılabilir. Ancak karma suyu için aşağıdaki hususlar göz önünde bulundurulmalıdır: (KGM TŞ (2013))

- Asidik özellikte olmamalıdır. (PH \geq 7 olmalıdır.).
- Madeni tuzlar bulundurmamalıdır.
- Na₂CO₃ ve HCO₃ hızlı prize neden oldukları için içeriğinde olmamalıdır.
- % 2’den fazla yağ içeren sular beton mukavemetini %20’den fazla azalttığından test edilmeden kullanılmamalıdır.
- Deniz suyu yukarıdaki şartları sağlıyorsa ve içme suyu ile yapılan betona göre %90’dan fazla mukavemet veriyorsa kullanılabilir.
- Korozyona neden olduğundan dolayı SO₄ ve alkali oksitler max % 1 olmalıdır.

Katkı maddesi

Beton katkı maddesi beton karışımı sırasında farklı amaçlar için uygun miktarlarda katılan kimyasal maddelerdir.

Betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini geliştirmek amacıyla çimento kütlelerinin % 5'ini geçmeyecek şekilde ilave edilmektedir.

- İşlenebilirliği artırıcı katkı maddeleri, taze betonun kalıbına yerleştirilmesi ve sıkıştırılması için iyileştirici etki yapar.
- Priz hızlandırıcı katkı maddeleri, taze betonun priz süresini azalttıklarından ve erken mukavemet kazandırdıklarından dolayı prefabrik beton kaplama elemanları gibi ön üretimli maddeleri daha çabuk üretmek için tercih edilir.

Prefabrik beton kaplama elemanlarının beton bileşenleri, her ne kadar aranan özellikleri taşıyor olsalar dahi beton hazırlanmasında ve test aşamasında aşağıdaki sorunlarla karşılaşılması prefabrik beton kaplama elemanlarının istenilen sonuçlarda olmasını engelleyebilmektedir.

Çizelge 1.2. PBKE Sonuçlarına Etki Eden Faktörler (KGM TŞ (2013))

Beton Hataları	Test Hataları
<i>W/C Oranında Değişim</i>	<i>Hatalı Örneklem</i>
• Karışım Suyu	
• Agrega Rutubeti	
• Su İlavesi	
<i>Su İhtiyacında Değişim</i>	<i>Numune Alım Hataları</i>
• Gradasyon, Absorbsiyon ve Dane Şekli	• Sıkılaştırma
• Çimento ve Katkı Mad. Özellikleri	• Kalitesiz Kalıp
• Hava Miktarı	• Kür Şartları ve Depolama
• Ortam Isısı	
<i>Beton Bileşen Oranları</i>	<i>Kür Şartlarında Değişim</i>
• Agrega	• Isı
• Çimento	• Rutubet
• Su	
<i>Diğer</i>	<i>Diğer</i>
• Yerleştirme	• Taşıma
• Sıkılaştırma	• Test Makinaları Doğru Çalışmaması
• Kür Şartları	

1.4.2. Prefabrik Beton Kaplama Elemanlarının Şartname Kriterleri

Prefabrik beton kaplama elemanları ön üretimli malzemeler olmalarından ötürü şartnamelerinde belirtilen kriterlere uygun üretim yapıldığı takdirde uygulama esnasında meydana gelebilecek sorunlar minimize olmaktadır.

Prefabrik beton kaplama elemanları için ülkemizde uyulması zorunlu olan iki ana şartname bulunmaktadır. Bu şartnameler;

- KGM Teknik Şartnamesi
- TS 2824 EN 1338

Karayolları genel müdürlüğü teknik şartnamesi

Malzeme özellikleri

Agrega

Agrega seçiminde KGM TŞ (2013) göre Çizelge 1.3 ve Çizelge 1.4 dikkate alınmalıdır.

Çizelge 1.3. Agregaların Tane Büyüklüğü Dağılımı İçin Genel Şartlar (KGM TŞ (2013))

Agrega	Tane büyüklüğü	Elekten Geçen Kütlece Yüzde					Kategori G ^d
		2 D	1,4 D ^{ab}	D ^c	d ^b	d/2 ^{ab}	
İri	D/d ≤ 2 veya D ≤ 11,2 mm	100	98 - 100	85 - 99	0 - 20	0 - 5	G _c 85/20
	D/d > 2 ve D > 11,2 mm	100	98 - 100	80 - 99	0 - 20	0 - 5	G _c 80/20
İnce	D ≤ 4 mm ve d=0	100	95 - 100	85 - 99	-	-	G _f 85
	Doğal olarak Sınıflandırılmış 0/8	100	98 - 100	90 - 99	-	-	G ₁₀ 90
Karışık	D ≤ 45 ve d = 0	100	98 - 100	90 - 99	-	-	G ₉₀
		100	98 - 100	85 - 99	-	-	G _A 85

Çizelge 1.4. İnce ve İri Agregaya Ait Fiziksel ve Mekanik Özellikler (KGM TŞ (2013))

Deney	Şartname Limitleri	Deney Standardı
Yumuşak parçalar, kömür, linyit ve şist gibi diğer yabancı malzemelerin toplam oranı.	≤ % 1,0	AASHTO T 113
Metilen Mavisi Deneyi (MB)	Magmatik kökenli kayalarda ≤ 2,0	TS EN 933-9
	Kireçtaşı kökenli kayalarda veya dere malzemelerinde ≤ 1,5	
0,063 mm Elekten Geçen Çok İnce Malzeme Muhtevası (%)*	≤ 4,0	TS EN 933-1
a. Yüzeysel Aşınmaya Maruz Betonlarda b. Diğer Tip Betonlarda	≤ 5,0	
Organik Madde (% 3'lük NaOH ile) **	Standart Renkten Koyu Olmayacak	TS EN 1744-1
Alkali Silika Reaksiyonu Harç Prizmalarının 14 Günlük Genleşme (%)'si ***	≤ 0,15	(CANADA CSA A23.2-25A)
**** İncelik Modülü (FM)	2,4 - 4,0	TS 706 EN 12620 EK B
Su Emme %'si	TS EN 1097-6	< 3,0
Doygun Yüzey Kuru Birim Hacim Ağırlık (g/cm ³)		> 2,55

Çimento

Çimento seçiminde Çizelge 1.5 Çizelge 1.6 ve Çizelge 1.7 de yer alan şartname kriterlerine ek olarak; beton yapının kullanım amacı, kür şartları, yapı boyutları, yapının maruz kalacağı çevre şartlarına dikkat edilmedilir. (KGM TŞ, 2013)

Çizelge 1.5.. Çimento ile ilgili TS EN standartları (KGM TŞ (2013))

Standart No	Standart Adı
TS EN 196-1	Çimentolarda Dayanım Tayini
TS EN 196-2	Çimentolarda Kimyasal Analiz Metotları
TS EN 197-1	Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri
TS EN 196-3	Çimentoların Priz Süresinin ve Hacim Genleşmesinin Tayini
TSE CEN/TR 196-4	Çimentolarda Katkı Miktarı Tayini
TS EN 196-5	Puzolanik Çimentolarda Puzolanik Özellik Tayini
TS EN 196-6	Çimentolarda İncelik Tayini
TS 23 EN 196-7	Çimentolarda Numune Alma ve Hazırlama Metotları
TS 22-2 EN 413-2	Harç Çimentosu Deney Metotları
TS EN 197-2	Çimento Uygunluk Değerlendirmesi
TS 13353	Borlu aktif belit (BAB) Çimentosu-Tarifler, bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri
TS EN 14216	Çimento - Özel çimentolar-Çok düşük ısılı - bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri

Çizelge 1.6. Çimentoların fiziksel ve mekanik özellikleri (KGM TŞ (2013))

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (Mpa)				Test Metodu	Prize Başlama		Genleşme	
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			Süre (dk)	Test Metodu	(mm)	Test Metodu
	2 Günlük	7 Günlük	28 Günlük						
32,5 L ^a	-	≥ 12,0	≥ 32,5	≤ 52,5	TS EN 196 - 1	≥ 75	TS EN 196 - 3	≤ 10	TS EN 196 - 3
32,5 N	-	≥ 16,0							
32,5 R	≥ 10,0	-							
42,5 L ^a	-	≥ 16,0	≥ 42,5	≤ 62,5		≥ 60			
42,5 N	≥ 10,0	-							
42,5 R	≥ 20,0	-							
52,5 L ^a	≥ 10,0	-	≥ 52,5	-		≥ 45			
52,5 N	≥ 20,0	-							
52,5 R	≥ 30,0	-							

Çizelge 1.7. Çimentoların kimyasal özellikleri (KGM TŞ (2013))

Kimyasal Özellik	Deney Standardı	Çimento Tipi	Dayanım Sınıfı	Şartname Limitleri (*a)
KIZDIRMA KAYBI	TS EN 196-2	CEM I CEM III	HEPSİ İÇİN	≤ % 5,0
ÇÖZÜNMEYEN KALINTI	TS EN 196-2 (*b)	CEM I CEM III	HEPSİ İÇİN	≤ % 5,0
SÜLFAT MİKTARI (SO ₃ olarak) TS EN 196-2		CEM I CEM II (*c) CEM IV CEM V	32,5 N 32,5 R 42,5 N	≤ % 3,5
			42,5 R 52,5 N 52,5 R	≤ % 4,0
		CEM III (*d)	HEPSİ İÇİN	
KLORÜR İÇERİĞİ	TS EN 196-2	HEPSİ İÇİN (*e)	HEPSİ İÇİN	≤ % 0,10 (*f)
PUZOLANİK ÖZELLİK	TS EN 196-5	CEM IV	HEPSİ İÇİN	DENEYİ SAĞLAR

Karma Suyu

Beton karma suyunun içme suyu niteliğinde olması gerekmektedir. Daha önce beton imalatında kullanılarak denenmiş ve iyi sonuç vermiş sular idare onayı ile kullanılabilir. Kalitesi belirlenmeyen sulardan numuneler alınarak Çizelge 1.8'deki deneylere tabi tutulmalıdır. (KGM TŞ, 2013)

Çizelge 1.8. Beton Karma Suyu Niteliği (KGM TŞ (2013))

DENEY	Deney Metodu (EN 1008)	Karşılaştırmalı Bir Beton Testi Olmaksızın Uygunluk Kriteri	Bazı Durumlarda Kullanım İçin Uygunluk Kriteri ⁽¹⁾	Uygun Olmayan Durum
1. Renk	Gözle muayene ölçülü bir mezürde katı taneciklerin çökmesi beklenir.	Renksizden açık saman rengine	Koyu ve renkli (Kırmızı, yeşil, mavi)	-
2. Yağ/Gres	Gözle Muayene	Eser miktarda	Yağ filmi veya yağ emülsiyonu var.	-
3. Deterjan	Mezür yarısına kadar numune ile doldurulup iyice çalkalanır.	Çok az köpük oluşumu var ya da köpük stabilitesi ≤ 2 dk	Çok köpük oluşumu var.Ya da köpük stabilitesi ≥ 2 dk	-
4. Askıda katı madde	80 cm ³ lük numunede	Çökelti miktarı ≤ 4 cm ³	> 4 cm ³	-
5. Koku	HCl ilave edilir.	Koku yok veya çok az	Koku çok (Örneğin Hidrojen Sülfür gibi)	-
6. pH Değeri	pH metre ile	≥ 4	< 4	-
7. Klorür(Cl ⁻) ⁽²⁾		≤ 500 mg/l	-	> 500 mg/l ⁽³⁾
Çelik Donatılı Betonda		≤ 1.000 mg/l	-	> 1.000 mg/l ⁽³⁾
Donatısız Betonda		≤ 4.500 mg/l	> 4.500 mg/l ⁽³⁾	
8. Sülfat(SO ⁻²) ⁽²⁾		≤ 2.000 mg/l	> 2.000 mg/l	-
9. Şeker ⁽²⁾ Ghukoz Sakkaroz		≤ 100 mg/l ≤ 100 mg/l	> 100 mg/l > 100 mg/l	-
10. Fosfat(P ₂ O ₅) ⁽²⁾		≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
11. Nitrat(NO ₃) ⁽²⁾		≤ 500 mg/l	> 500 mg/l	
12. Çinko(Zn ⁺²) ⁽²⁾		≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
13. Sülfid(S ⁻²) ⁽⁴⁾		≤ 100 mg/l	> 100 mg/l	
14. Sodyum Na ⁺ Potasyum K ⁺ ⁽⁵⁾		Toplam ≤ 1.500 mg/l		> 1.500 mg/l
15.Humus(Organik) Maddeleri	Suya NaOH (% 4-5) 5 cm ³ ilave et, iyice çalkala 3 dk sonra gözle muayene et.	Sarımsı-kahverengiden daha açık.	Sarımsı-kahverengiden daha koyu.	

(1) İzin verilen hızlı bir metot kullanılarak karar verildiğinde.

(2) Bazı durumlarda kullanılabilir" kriteri, her olayda değerlendirme yapmaya ve/veya karşılaştırmalı beton testlerine bağlı olarak nihai değerlendirmeyi ifade eder.

(3) Her bir olay için bağımsız değerlendirme yapmak mümkündür. Ancak tüm beton bileşenlerinden ileri gelen toplam klorür miktarı

TS EN 206-1'deki limitleri geçmeyecektir.

(4) Öngörilmeli beton ve şerbet harçları için gereklidir.

(5) Alkali-Silika reaksiyonu riski varsa gereklidir.

Kimyasal Katkı Maddeleri

Betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini geliştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlelerinin %5'ini geçmemek üzere eklenen malzemedir. Kimyasal katkı (KK) kriterleri Çizelge 1.9'da verilmiştir.

- Su Azaltıcı / Akışkanlaştırıcı KK

Belirli bir beton bileşiminde kıvam değiştirmeden su miktarının azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi/yayılmayı arttıran katkılardır.

- Priz Hızlandırıcı / Geciktirici KK

Plastik halden katı hale geçişin başlama süresini kısaltan / uzatan katkılardır.

- Hava Sürükleyici KK

Karıştırma sırasında taze betona kontrollü miktarda küçük, üniform olarak dağıtılmış ve sertleşme sonrasında da kalıcı hava kabarcığı sürükleyen katkılardır.

- Su Geçirimsizlik KK

Sertleşmiş betonun kılcal su emmesini azaltan kimyasal katkılardır.

- Su Tutucu KK

Terlemeyi azaltarak su kaybını minimize eden katkılardır.

- Sertleşme Hızlandırıcı KK

Priz süresini etkileyerek betonun erken dayanım kazanma hızını artıran katkılardır.

Çizelge 1.9. Beton Katkıları İçin Genel Şartları (KGM TŞ (2013))

İstenilen Özellik	Test Metodu	Kriterler
Homojenlik	Gözle	Kullanıldığında homojen olacak. Ayrışma, üretici tarafından belirtilen sınırı aşmamalıdır.
Renk	Gözle	Üniform ve üreticinin ifade ettiği tanıma benzer.
Etkin Bileşen	EN 480-6	Üretici tarafından temin edilen referans spektrumla kıyaslandığında IR spektrasi etkin bileşene göre değişiklik göstermemelidir.
Yoğunluk (D)	ISO 758	$D > 1,10$ ise $D \pm 0,03$ $D \leq 1,10$ ise $D \pm 0,02$ D: Üreticinin belirttiği değer
Geleneksel Katı Malzeme Miktarı	EN 480-8 ¹⁾	$T \geq \% 20$ için $0,95 T \leq X < 1,05 T$ $T < \% 20$ için $0,90 T \leq X < 1,10 T$ T: Üreticinin belirttiği değer % (ağırlıkça) X: Test sonucu % (ağırlıkça)
pH değeri	ISO 4316	Üreticinin belirttiği değer ± 1 veya üreticinin belirttiği aralık içinde.
Önerilen Maksimum Dozajda Prize Etkisi	EN 480-1'deki 4 farklı çimentolu şahit harçtaki tavsiye edilen maks. dozajı kullanarak EN 480-2	Rapor sonuçları.
Toplam Klor ²⁾	EN ISO 1158	$\leq \% 0,10$ (Ağırlıkça) veya üreticinin belirttiği değer in altında.
Suda Çözünebilir Klor (CI ⁻)	EN 480-10	$\leq \% 0,10$ (Ağırlıkça) veya üreticinin belirttiği değer in altında.
Alkali Miktarı (Na ₂ O eşdeğeri)	EN 480-12	Üreticinin belirttiği maksimumun üzerinde olmamalı.
Korozyon Davranışı	EN 480-14	Beton içine gömülü çeliklerde korozyonu artırma etkisi göstermemelidir.

Prefabrik beton kaplama elemanlarının genel özellikleri

PBKE çalışma boyutu, üretici tarafından belirlenir. Ürünlerin, standart bir şekilde muayene edildiğinde üretici tarafından bildirilen boyutları, Çizelge 1.10'da verilen tolerans değerleri arasında kalmalıdır.

Çizelge 1.10. PBKE Boyutları Tolerans Limitleri (KGM TŞ (2013))

Parke Taşı Kalınlığı (mm)	Uzunluk ve Genişlik (mm)	Kalınlık (mm)
≤ 100	± 2	± 3
> 100	± 3	± 4

Yüzey tabakalı olarak imal edilecek PBKE yüzey tabaka kalınlıkları üreticinin gösterdiği alan üzerinde 4 mm'den az olmamalı, gövde betonundan ayrılmayacak şekilde yapışmalıdır.

PBKE'nin kullanma yüzü, beton parke taşının döşendiğinde üste gelecek olan ve aşınmaya maruz kalan yüzüdür.

PBKE çevre şartlarına göre sınıflandırılması

PBKE kullanım yerine göre çevre şartlarına uygunluğunu belirlemek amacıyla Çizelge 1.11'e bakılmalıdır.

Çizelge 1.11. PBKE Çevre Şartlarına Göre Sınıflandırılması (KGM TŞ (2013))

1. SINIF	a	Kar-buz mücadelesi yapılmayan ve bu nedenle tuz etkilerine maruz kalmayan
	b	Sık donma-çözünme tekrarı olmayan
	c	Deniz suyunun aşındırıcı mekanik etkilerine maruz kalmayan ılıman iklim bölgeleri ve sahillerde kullanılacaktır
2. SINIF	a	Kar-buz mücadelesi yapılmayan ve bu nedenle tuz etkilerine maruz kalmayan,
	b	Sık donma-çözünme tekrarı olan iklim bölgelerinde kullanılacaktır.
3. SINIF	a	Sert karasal iklimi olan
	b	Trafik ve/veya iklim ya da deniz nedeniyle sık tekrarlanan ıslanma-kuruma etkileri olan
	c	Çok sık donma-çözünme tekrarı olan
	d	Kar-buz mücadelesi nedeniyle tuz etkilerine maruz bölgelerde kullanılacaktır

PBKE için numune alımı

Deney için alınan prefabrik beton kaplama elemanı numuneleri temsili olmalıdır. Parti büyüklüğüne göre deneyler için alınacak numuneler, değişik sıralardan ve sondaj yöntemi ile rasgele seçilerek Çizelge 1.12’de belirtilen esaslara uygun olmalıdır.

Çizelge 1.12. PBKE Parti Büyüklüğüne Göre Deneyler İçin Alınacak Numune Sayıları (KGM TŞ (2013))

Partideki Beton Parke Sayısı (Adet)	Alınacak Numune Sayıları (Adet)	Yapılacak Deney Sayısı				
		Boyut ve Toleranslar	Su Emme Oranı	Dona Dayanıklılık	Sürtünme Aşınmasına Dayanıklılık	Mukavemet
52 - 5.000	13	13	3	3	3	7
5.001 - 50.000	20	20	5	5	5	10
50.001 - 200.000	32	32	8	8	8	16
> 200.000	50	50	10	15	10	25

PBKE için uygunluk kriterleri

Prefabrik beton kaplama elemanları için yapılacak deneyler ve uygunluk kriterleri Çizelge 1.13.’te gösterilmektedir.

Çizelge 1.13. PBKE Deney Standartları (KGM TŞ (2013))

Deney	Uygunluk Kriteri
1. Fiziksel Görünüş (Tüm Numune)	Parke taşlarının yüzeyinde çatlak, kırık, çukur, döküntü, pullanma veya soyulma bulunmamalı ve yüzleri düzgün ve köşeleri muntazam olmalı, simetri ve biçim bozuklukları bulunmamalıdır.
2. Malzeme Özellikleri	Üretimlerde kullanılacak olan agregası, çimento, su , kimyasal katkıları ve boya katkıları Kısım 316.01.02’de belirtilen kriterlere uygun olacaktır.
3. Boyutlar Yönünden Uygunluk (Tüm Numune)	Kısım 316.01.03’e uygun olmalıdır.
4. Su Emme Oranı (Parça Numune)	1. Sınıf Parke Performans ölçümü gerekmez. 2. Sınıf Parkelerde kütlece % 6 (ortalama olarak)’dan fazla olmayacaktır.
5. Aşınma Dayanımı (Parça Numune)	1. Sınıf Parkelerde Performans ölçümü gerekmez. 2. ve 3.sınıf parkelerde deney sonuçlarından hiçbirisi, aşağıdaki değerden daha büyük olmamalıdır. Geniş Diskli Aşınma deney metodu kullanılarak ölçülen değer ≤ 23 mm Alternatif olarak Böhme deney metodu kullanılarak ölçülen değer $\leq 20.000 \text{ mm}^3 / 5.000 \text{ mm}^2$ olmalıdır.
6. Mukavemet (Tüm Numune)	Mukavemet tayini; TS 2824 EN 1338 standardına göre Yarmada-çekme deneyi yapılarak belirlenecek olup, Kısım 316.01.06.01’de belirtilen kriterlere uygun olacaktır.
7. Donma ve Çözülme Dayanımı (Parça Numune)	1. Sınıf Parke Performans ölçümü gerekmez. 3. Sınıf Parkelerde: Donma çözülme deneyinden sonra kütle kaybı: (kg/m^2) $\leq \% 1,0$ (ortalama olarak) olmalıdır. Tek numune sonuçlarından hiçbirisi % 1,5’den büyük olmamalıdır.

TS 2824 EN 1338

Standart Kapsamı

Bu standart, zemin döşemesi için kullanılan, donatısız, çimento bağlayıcılı beton kaplama bloklarının malzemelerini, özelliklerini, sahip olması gerekli şartları ve deney metotlarını kapsar. Bu standart, kaldırım, bağlantı yolu, bisiklet yolu, otoparklar, yollar, otoyollar, endüstriyel alanlar (limanlar ve iskeleler), havaalanı kaplamaları, otobüs istasyonları, petrol dolum istasyonları gibi yaya kullanım alanları, taşıtlara açık alanlar ve çatı kaplamasında kullanılan öndökümlü beton kaplama bloklarına ve tamamlayıcı parçalarına uygulanır.

Malzemelerle ilgili gerekli şartlar

Beton kaplama bloklarının imalâtında, özellikler ve performans bakımından uygunlukları belirlenmiş malzemeler kullanılmalıdır.

Mamullerle ilgili şartlar

- ❖ Fiziksel Özellikler
 - Biçim ve Boyutlar

Çalışma boyutları imalâtçı tarafından beyan edilmelidir. İmalâtçı tarafından beyan edilen anma boyutlarından izin verilen sapmalar Çizelge 1.14’te verilmiştir.

Çizelge 1.14. PBKE İçin İzin Verilen Boyut Sapmaları

Blok kalınlığı mm	Uzunluk mm	Genişlik mm	Kalınlık mm
< 100	± 2	± 2	± 3
≥ 100	± 3	± 3	± 4

Bir bloğun kalınlığındaki herhangi iki ölçme değeri arasındaki fark ≤ 3 mm olmalıdır.

Bloğun en büyük boyutunun 300 mm’den daha büyük olması hâlinde, düz olması tasarlanan üst yüzde düzlük ve bombeden sapma için uygulanacak sınırlar Çizelge 1.15’de verilmiştir.

Çizelge 1.15. PBKE Düzlük ve Bombe İçin Sapmaları

Mastar uzunluğu mm	En büyük dış bükeylik mm	En büyük iç bükeylik mm
300	1,5	1,0
400	2,0	1,5

❖ Mekanik özellikler

Hava etkileri nedeniyle yıpranmaya karşı direnç, Çizelge 1.16. Çizelge 1.17. Çizelge 1.18. ve Çizelge 1.19.'daki uygunluk kriterlerine göre tayin edilir.

- Su Emme;

Çizelge 1.16. PBKE İçin Su Emme Sınırları

Sınıf	Sınıf gösterimi	Su emme Kütlece %
1	A	Performans ölçülmez
2	B	≤ 6 (ortalama olarak)

- Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Birlikte Donma Çözülme Etkisine Direnç;

Çizelge 1.17. PBKE İçin Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Birlikte Donma Çözülme Sınırları

Sınıf	Sınıf gösterimi	Donma çözülme deneyinden sonra kütle kaybı kg/m ²
3	D	≤ 1,0 Tek numune sonuçlarından hiçbirisi 1,5'ten büyük olmamalıdır

- Yarmada Çekme Dayanımı

Çizelge 1.18. PBKE İçin Yarmada Çekme Dayanım Sınırları

Sınıf	Sınıf Gösterimi	Yarmada Çekme Dayanımı MPa
Tümü	Tümü	≤ 3,6 Tek Numune sonuçlarından hiçbirisi 2,9'dan küçük olmamalıdır

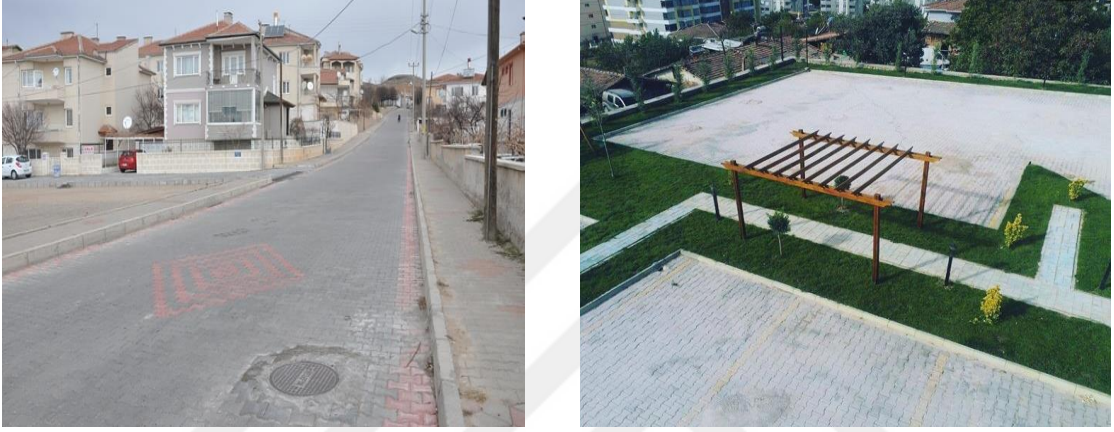
- Aşınmaya Karşı Direnç Tayini

Çizelge 1.19. PBKE İçin Aşınmaya Karşı Direnç Sınırları

Sınıf	Sınıf gösterimi	Gerekli şartlar	
		Ek G'de tarif edilen deney metodu kullanılarak ölçülen değer	Alternatif olarak Ek H'da tarif edilen deney metodu kullanılarak ölçülen değer
1	F	Performans ölçülmez	Performans ölçülmez
3	H	≤ 23 mm	≤ 20 000 mm ³ / 5 000 mm ²
4	I	≤ 20 mm	≤ 18 000 mm ³ / 5 000 mm ²

1.4.3. Prefabrik Beton Kaplama Elemanlarının Yaygın Kullanımı Ve Avantajları

Prefabrik beton kaplama elemanları trafik yoğunluğunun düşük olduğu şehir içi yollarda ve köy yollarında üst kaplama elemanı olarak; trafiğe kapalı alanlar olan park ve bahçeler gibi estetiğin ön plana çıktığı alanlarda ise çevre düzenlemesi amacı ile kullanılmaktadır. Şekil 1.8’de PBKE kullanım alanlarından örnekler görülmektedir.



Şekil 1.8. PBKE Kullanım Alanları

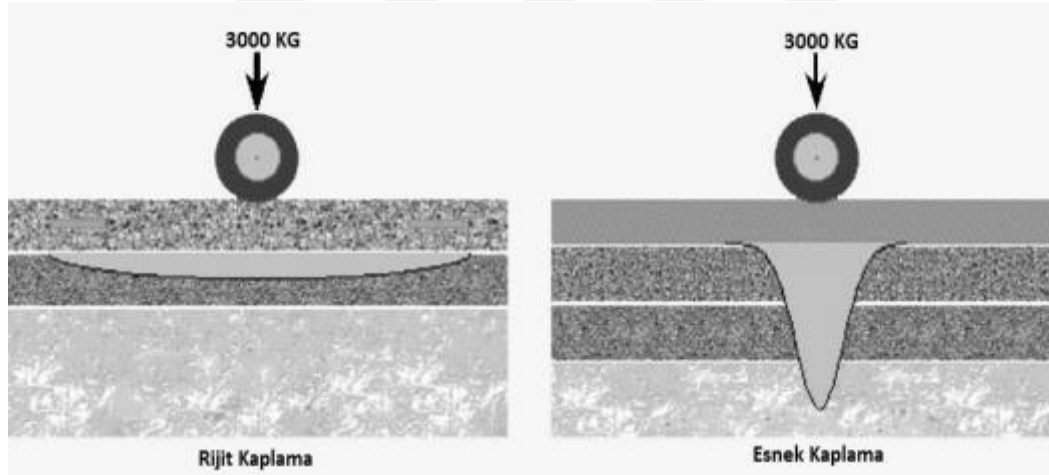
Prefabrik beton kaplama elemanlarının avantajları şunlardır;

- Fabrikalarda ön üretimli malzemeler oldukları için üretim sırasında diğer dış etkenlerden daha az etkilenerek istenilen dayanıma ve özelliklere sahip PBKE üretimi sağlanabilmektedir.
- Prefabrike parke elemanlar, makinalara uygun kalıpların yerleştirilmesi ile istenilen şekilde elde edilebilmektedir.
- Üretimleri hızlı olmaktadır.
- Yerli malzeme kullanımı sayesinde hem daha ekonomik hem daha milli bir üretim sağlanmaktadır.
- Trafiğe açık ya da kapalı alanlarda kaplama işlemi tamamlandıktan sonra kullanıma açılabilir.
- Kaplamanın yapımı atmosfer koşularından etkilenmemekte, her türlü hava koşulunda bu kaplamanın yapımı gerçekleştirilebilmektedir.
- Düzgün yüzeyleri sayesinde taşıtlar ve yolcular için istenen konforu sağlayabilmektedir.

- ° Taşıtların fren uzunluğu üzerinde etkili olan kayma sürtünme katsayısı, diğer kaplamalarda görülen değerlerdedir. Bu nedenle de güvenlidir.
- ° Prefabrik beton kaplama elemanlarının, yan yana dizilmesiyle meydana gelen girinti ve çıkıntılar araçların fren yapma ve hızlanma gibi durumlarında oluşan yatay kayma gerilmelerini kolayca karşılayabilmektedir.

PBKE'nin yol üst yapı kaplama elemanı olarak kullanımı

Prefabrik beton kaplama elemanları, birbirine kenetlenmiş rijit parçalardan oluşması nedeni ile rijit kaplama kategorisine dâhil edilirken buna karşılık alttaki tabakalara dokunma yüzeyleri sayesinde yükü alt tabakalara iletmesi yönüyle elastik davranış göstermekte ve esnek kaplama niteliği de taşımaktadır. Bu nedenle prefabrik beton kaplama elemanları, bazen asfalt bazen de beton kaplamaya yaklaşması nedeni ile rijit ve esnek kaplamalar arasında bir kategoride yer almaktadır.



Şekil 1.9. Esnek-Rijit Kaplama

PBKE trafik yoğunluğunun fazla olmadığı cadde, sokak, mahalle arası yollarda yol üst yapısı kaplama elemanı olarak kullanılmaktadır. Bu yollarda istenilen verimi elde edebilmek için önemli olan husus trafik yoğunluğuna göre ve zemin durumuna göre eleman kalınlığının seçilmesidir.

PBKE yol kaplamasında kullanımının diğer bir artısı ise; belirli bir bölgede altyapı sorunu meydana geldiğinde, sadece o kısımdaki kaplama elemanlarının sökülmesi ile soruna müdahale edilebilecektir. Sökülen kaplama elemanları, işlem sonunda zarar görmemiş ise yeniden kullanılabilir için malzemedeki tasarruf edilmiş olacaktır.

PBKE park ve bahçelerde peyzaj elemanı olarak kullanımı

Kent yaşamında; daha güzel, estetik ve temiz mekanların oluşturulmasında önemli bir etken olarak görsellik sağlayan kaplama elemanları, günümüzün modern şehirlerinin vazgeçilmez bir unsuru olmaktadır. İstenilen renk ve desenlerde üretilen PBKE uygulanacak alanın fonksiyonuna göre şekillendirilebilmekte ve Şekil 1.10'da da görüldüğü gibi peyzaj alanlarını özelleştirmektedir.

Üretim aşamasında yüzey düzgünlüğü ve renk vermesi amacıyla yapılan 4mm kalınlıktaki yüzey kaplaması, park bahçe gibi oyun alanları olarak kullanılabilir zeminlerin konforunu artırmaktadır.



Şekil 1.10. PBKE Peyzaj Çalışması

2.YÖNTEM VE MATERYAL

Geri dönüşümden elde edilen malzemeler ile yapılan prefabrik beton kaplama elemanlarının üretim süreci ve materyal temini bu bölümde ele alınmış olup üretimde kullanılan malzeme, ekipman ve özellikleri tanıtılmıştır.

Prefabrik Beton Kaplama Elemanları Malzeme Ve Ekipmanları;

- Agrega; Geri dönüşüm agregası (GDA) + Doğal Agrega (DA)
- Çimento; 42,5 MPa Portland Çimentosu
- Su; İçilebilir Şebeke Suyu
- PBKE Makinesi; YONTAR KPM-25-ÇB Beton parke taşı makinesi

2.1.Prefabrik Beton Kaplama Elemanlarının Üretimi

Geri dönüşümden elde edilen prefabrik beton kaplama elemanları ve deneylerde şahit numune olarak kullanılan prefabrik beton kaplama elemanları (Çevre ve Şehircilik Bakanlığına Bağlı İller Bankası Anonim Şirketi Tescilli) Erbaa Beton Sanayi Ve Ticaret Anonim Şirketi' nde üretilmiştir.



Şekil 2.1. PBKE Üretim Alanı

2.1.1. Kentsel Dönüşüm Atıklarından Agregaya Temini

Prefabrik beton kaplama elemanı için kullanılan geri dönüşüm agregaları, Tokat ili Merkez ilçesi Güneşli Mahallesi 416 Ada 25 Parsel’de bulunan Vali Mehmet Özgün Sitesi Kentsel Dönüşüm Projesi’nin yıkımı ile elde edilen beton atıklarının belirli dane boyutlarına getirilmiş halidir.

Vali Mehmet Özgün Sitesi inşaatına 1992 yılında başlanmış ve o yıllarda hazır beton kullanımı yaygın olmaması nedeniyle, beton inşaat alanında hazırlanıp elle beton dökümü gerçekleştirilmiştir.

2017 yılında Simay Yapı Denetim Ltd. Şti. tarafından yapılan Bina Risk Değerlendirme Raporuna göre yapı, riskli yapı grubuna dahil edilerek yıkılmıştır. Aratlar Zemin ve Yapı Laboratuvarı Karot Sonuçlarına göre beton sınıfı C9 olarak belirlenmiştir.

2.1.2. Kentsel Dönüşüm Atıklarından Elde Edilen Agregaların Uygun Boyutlara Getirilmesi

Geri dönüşüm agregası elde edebilmek için büyük beton atıklarının dişli makineler ile uygun boyutlara getirilmesi gerekmektedir. Beton atıklarını ince ya da iri agregaya ayıran konkasörlerin donanım özellikleri (gücü, hızı vs) ve kırım süresi geri dönüşüm agregalarının tane şeklini, tane dağılımını ve yoğunluğunu etkilemektedir. Prefabrik beton kaplama elemanları için kullanılan geri dönüşüm agregaları, Vali Mehmet Özgün Sitesi yıkım alanından temin edilen beton atıklarının toplanması, küçültülmesi ve elekten geçirilmesi ile uygun formlara getirilmiştir.

Beton atıklarının toplanması insan gücü gerektirmesi nedeniyle taşınabilir boyuttaki atıklar, Şekil 2.2’de görüldüğü üzere el ile toplanıp çuvallara koyularak kırım alanına pikap ile taşınmıştır.



Şekil 2.2. Beton Atıklarının Toplanması

Beton atıkları, Ay Beton Ürünleri Fabrikası'nda malzeme giriş kısmı; Şekil 2.3'te görüldüğü üzere kırıcı, malzeme çıkış kısmı; elek olan sabit konkasörde kırılarak uygun formlara getirilip elek bölmelerinde ayrı ayrı toplanmıştır.

Sabit konkasörün elek ölçüleri Şekil 2.4.'te görüldüğü üzere baştan sona doğru $0,5-2\text{ mm}$ $2-4\text{ mm}$; $4-8\text{ mm}$ olacak şekilde bölmelere ayrılmıştır. Konkasör dakikada 50 devir yaparak hem kırımı hem de eleme işlemini gerçekleştirmektedir.

Konkasörün üst kısmından çapları yaklaşık 40-50 cm olan beton atıkları atılarak kırma işlemine başlanıp beton atıkları kırılıp elenerek ilk gözde $0,5-2\text{ mm}$ çapında atıklar, ikinci bölmede $2-4\text{ mm}$ çapındaki atıklar, son bölümde $4-8\text{ mm}$ çapında malzemeler toplanmıştır.



Şekil 2.3. Beton Atıklarının Konkasörde Kırılması



Şekil 2.4. Beton Atıklarının Boyutlarına Göre Gruplandırılması

Geri dönüşüm agregalar ile ilgili yapılan önceki araştırmalarda 0-2 mm kalınlığındaki çok ince GDA tanelerinin betonun; su miktarını, boşluk oranını, porozitesini dolayısıyla geçirimsizliğini artırdığı, dayanımını ve dayanıklılığını ise düşürdüğü belirtilmektedir. (Memişoğulları, 2019). Bu nedenle prefabrik beton kaplama elemanları üretiminde 0,5-2 mm arasındaki malzemenin kum ile ikame edilerek beton içerisine katılması uygun görülmüştür. Diğer 2 bölmedeki malzemeler karıştırılmadan üretim yapılmak üzere parke fabrikasına götürülmüştür.

2.1.3. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Betonunun Hazırlanması

Bu tez çalışması için üç farklı oranda geri dönüşüm agregası ile doğal agrega karışımı kullanılmıştır;

- *%25 Geri Dönüşüm Agregası + %75 Doğal Agrega*
- *%50 Geri Dönüşüm Agregası + %50 Doğal Agrega*
- *%100 Geri Dönüşüm Agregası + %0 Doğal Agrega*

Erbaa Beton Üretim Tesisinde yer alan YONTAR KPM-25-ÇB marka ve modele ait PBKE makinesi, bilgisayar destekli tam otomatik ve seri üretim ile tek seferde 10 palet (360 adet) kilitli parke üretebilen bir makinedir. Bu da toplam üç farklı oran için 1075 kg 4-8 mm kaba agrega, 2285 kg 2-4 mm ince agrega, 504 kg çimento, 336 kg su (hava şartlarına göre değişkenlik gösterebilmektedir.) ihtiyacı demektir. Buna karşın yapılacak olan deneyler için toplamda 45 adet (15 + 15+ 15) kilitli parke taşı gerekmektedir.

Bu çalışma için yukarıdaki bilgilerden yola çıkılarak üç farklı oran için beton el yöntemi ile hazırlanıp PBKE makinesinin presleme bölümüne betonun yerleştirilmesi planlanmıştır.

Prefabrik beton kaplama elemanlarını üretilmesi için Erbaa Beton Parke Üretim Tesisinde standartlara uygun olarak üretilen 6 cm kalınlığındaki beton parkeler için karışım yüzdeleri aşağıdaki gibidir;

- *% 54,40 İnce Agrega*
- *% 25,60 Kaba Agrega*
- *% 12,41 Çimento*
- *% 7,48 Su*
- *% 0,11 Katkı Maddesi*

Beton parke makinasında elle döküm yapılan tek palet (36 adet) malzeme için beton hazırlanmıştır. Geri dönüşüm agregası ile doğal agregaya ince ve kaba agregaya olacak şekilde toplamda 112 kg, 17,5 kg 42,5 MPa Portland Çimentosu, 10,5 kg Erbaa Şebeke Suyu kullanılmıştır. Seri bir üretim yapılmadığı için katkı maddesi ve boya maddesi kullanılmamıştır.

Doğal Agregaya;

Erbaa Beton Parke Üretim Tesisi'nde Şekil 2.5'te yer alan kırmataş agregaya kullanılmıştır.



Şekil 2.5. Erbaa Beton Parke Üretim Tesisi

Geri Dönüşüm Agregası;

Kentsel dönüşüm kapsamında yıkılan beton atıklarının, 2-4 mm çapında ince agregaya ve 4-8 mm çapında kaba agregaya dönüştürülmüş halidir.

Çimento;

Tokat Artova' da üretilen TS EN 197-1 standartlarına uygun 42,5 MPa ADOÇİM Çimento kullanılmış ve özellikleri Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Çimento Verileri

Kimyasal özellikler	Oksitler	Oranlar (%)	Fiziksel özellikler	Özellikler	Değerleri
	SiO ₂	15,81		Çözünmeyen Kalıntı	1,44
	Al ₂ O ₃	4,63		Kızdırma Kaybı	1,53
	Fe ₂ O ₃	3,48		Özgül yüzey (cm ² /g)	4098
	CaO	63,88		Yoğunluk (g/cm ³)	2,94
	MgO	0,97		Priz baslama süresi (dk.)	104
	SO ₃	2,31		Priz sona erme süresi (dk.)	163
	Na ₂ O	0,33			
	K ₂ O	0,67			
	Cl-	0,0088			

Karışım Suyu;

Karışım suyu olarak içilebilir düzeyde bulunan Erbaa ilçesi şebeke suyu kullanılmıştır. Karışım suyuna ait analiz verileri Şekil 4.7'de görüldüğü gibidir.



Şekil 2.6. Üretim Tesisinde Numunelerin Hazırlanması

Beton birim hacim yoğunluğu, standartta 2000 kg/m³ ile 2600 kg/m³ arasında olmalıdır. Prefabrik beton kaplama elemanı için hazırlanan beton yoğunluğu 2235 kg/m³'tür. Çizelge 2.2'de 1 m³ beton için gerekli malzeme miktarları kg cinsinden verilmiştir.

Çizelge 2.2. 1 m³ beton için gerekli malzeme miktarları (kg)

	GDA Kaba Agrega (kg)	GDA İnce Agrega (kg)	DA Kaba Agrega (kg)	DA İnce Agrega (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)
Şahit Numune	0	0	600	1267	292	175
% 25 GDA	150	317	450	950	292	175
% 50 GDA	300	600	300	600	292	175
% 100 GDA	600	1267	0	0	292	175

Deney amaçlı üretilen (1 palet=36 adet) 60 dm³ beton için gerekli agrega, çimento ve su miktarları kg cinsinden Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. 60 dm³ beton için gerekli malzeme miktarları (kg)

	GDA Kaba Agrega (kg)	GDA İnce Agrega (kg)	DA Kaba Agrega (kg)	DA İnce Agrega (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)
Şahit Numune	0	0	36	76	17,5	10,5
% 25 GDA	9	19	27	57	17,5	10,5
% 50 GDA	18	38	18	38	17,5	10,5
% 100 GDA	36	76	0	0	17,5	10,5

Üç farklı oranda el yöntemi ile hazırlanan PBKE betonu, presleme ile şekil alacağı için normal betona göre Şekil 2.7'deki gibi kuru kıvamlı olarak hazırlanmıştır.



Şekil 2.7. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Betonu Hazırlanması

2.1.4. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Üretimi

PBKE Üretimi, Erbaa Beton Üretim Tesisinde YONTAR KPM-25-ÇB Şekil 2.9'da görülen beton parke taşı makinasında yapılmıştır.

- Makine her palette 36 adet olacak şekilde toplam 360 adet kilitli parke taşı üretebilmektedir.
- Manuel olarak kontrol panelinden yönlendirme yapılabilmektedir.
- 5 cm ile 30 cm yükseklikleri arasında kilitli parke taşı üretebilmektedir.
- Ortalama hidrolik basıncı 150 bar'dır.
- Çevrim süresi 20/30 saniyedir. Bu süre zarfında 1 palet 36 adet kilitli parke taşı üretebilmektedir. Bu da saatte 4500 adet parke taşı demektir.



Şekil 2.8. Beton Parke Makinası

Hazırlanan beton sırası ile makinanın presleme bölümündeki kalıplara Şekil 2.9'daki gibi kürek ile yerleştirildi.



Şekil 2.9. Beton Parke Makinasına Elle Betonun Yerleştirilmesi

Beton parke makinesi, presleme bölümüne yerleştirilen malzemenin fazlasını sıyırma yöntemiyle attıktan sonra, 150 bar hidrolik basınç ile presleme ve mekanik vibrasyon yaparak kalıba dökülen betonu sıkıştırıp kalıbın şeklini almasını sağlamaktadır.

Beton, sırasıyla Şekil 2.10'daki gibi presleme makinesine yerleştirilerek sıkıştırılmıştır. Kalıptan çıkan paletler otomatik bant ile dizilerek Şekil 2.12'deki gibi gruplandırılmıştır.



Şekil 2.10. Sıyırma-Presleme

Üretim aşamasında %100 geri dönüşüm agregası kullanılan numunelerde; içerisinde bulunan çimento harcı, sıkıştırma nedeniyle basınçla ufalanarak parke içerisinde boşluk oluşturmuş ve Şekil 2.11’de de görülen hacim kayıpları meydana gelmiştir.



Şekil 2.11. % 100 GDA Kullanılan PBKE



Şekil 2.12. GDA’lı Üretilen PBKE

2.1. 5. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Kürü

Beton bakımı, diğer adıyla betonun kürü; prefabrik beton kaplama elemanlarının kalıplara sıkılaştırma işleminden sonra oluşabilecek su kaybını engellemek ve hidrasyon reaksiyonlarının devam edebilmesi ve ideal sürede gerçekleşmesini sağlamak amacıyla yapılır. Hidrasyon reaksiyonlarının devamı için yeterli miktarda su ve sıcaklık gerekmektedir. Bu koşullar sağlanamaz ise; beton ürünlerinin öngörülen dayanımının ve dayanıklılığının (durabilite) elde edilmesinde sorunlar yaşanabilmektedir.

Çimentonun hidratasyonunu sürdürmesi için sürekli olarak betonun yüzeyinin nemli kalması sağlanmalıdır. Genellikle hortum ya da mekanik spreyleme sistemi ile su püskürtülmekte ya da su göleti oluşturulmaktadır.

Standart şartlarda PBKE üretim tesisinde, parke taşları belirli bir bölgede Şekil 2.13'te görüldüğü gibi mekanik spreyleme sistemi ile sürekli yüzeyleri ıslak tutularak kür şartları sağlanmaktadır.



Şekil 2.13. PBKE Kürü

Deney standartlarını en doğru şekilde sağlayabilmek amacıyla tez çalışması için üretilen numuneler 24 saatlik priz alma sürecinden sonra 7 günlük dayanımını sağlayana kadar Şekil 2.14'teki kür havuzunda bekletilmiştir.



Şekil 2.14. Kür Havuzu

2.2. Prefabrik Beton Kaplama Elemanı Deneyleri

Farklı yüzdeli geri dönüşüm agregası kullanılan prefabrik beton kaplama elemanları için şartnamede belirtilen deneyler, beton parke taşların üretimi yapılan Erbaa Beton Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi Beton Test Laboratuvarı'nda gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.15. Erbaa Beton Sanayi ve Tic. AŞ. Beton Test Laboratuvarı

Üç farklı oranda toplamda 108 adet üretilen (36 adet %25 GDA + %75 DA / 36 adet %50 GDA + %50 DA / 36 adet %100 GDA + %0 DA) prefabrik beton kaplama elemanlarından rastgele seçilen 15'er adet beton parke taşına, Çizelge 2.4'te gerekli numune sayısı verilen deneyler yapılmıştır.

Çizelge 2.4. Deney Numune Sayıları

Deneyler		%25 GDA + %75 DA	%50 GDA + %50 DA	%75 GDA + %25 DA
1-	Boyut ve Görünüş	3	3	3
2-	Mukavemet Tayini (Yarmada çekme dayanımı)	3	3	3
3-	Su Emme Tayini	3	3	3
4-	Aşınmaya Karşı Direnç Tayini	3	3	3
5-	Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini	3	3	3

2.2. 1. Boyut ve görünüş

Prefabrik beton kaplama elemanlarının, gözle görülür fiziksel özellikleri kontrol edilmiştir. Parke taşlarının yüzeyinde, KGM Teknik Şartnamesi'nin 316.01.06 sayılı bölümünde bulunan fiziksel görünüş uygunluk kriterleri olan; çatlak, kırık, çukur, döküntü, pullanma ya da soyulma ve yüzey düzgünlükleri, simetri ve biçim bozukluğu kontrol edilmiştir.(Memişoğulları, 2019) yapmış olduğu çalışmasında; parkelerine yüzey düzgünlüğü sağlayan, 4 mm kalınlığında yüzey kaplaması yapılmasından ve deney sırasında bu yüzeyin aşınmasından dolayı aşınma direnci deneyinde gerçekçi sonuçlar bulamadığını belirtmektedir. Bu bilgiden yola çıkarak deneysel amaçlı hazırlanan numuneler ve şahit numuneye 4 mm kalınlığında yüzey kaplaması yapılmamıştır.

Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleeri yapımını anlatan çalışmaya göre;

- ° Prefabrik beton kaplama elemanlarının en ve boylarının ölçümü için; parke elemanlarının en az iki farklı noktasından Şekil 2.16'da görüldüğü gibi mekanik kumpas yardımı ile ölçümleri yapılmış ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 2.16. Numune Boy Ölçümü

- ° Prefabrik beton kaplama elemanlarının kalınlık ölçümü için; zıt kenarlarda Şekil 2.17'de görüldüğü gibi dört noktadan, blok kenarından en az 20 mm içeriden olacak şekilde dört ölçüm yapılarak ortalama kalınlık hesaplanmıştır.



Şekil 2.17. Numune Kalınlık Ölçümü

2.2. 2.Mukavemet tayini (Yarmada çekme dayanımı)

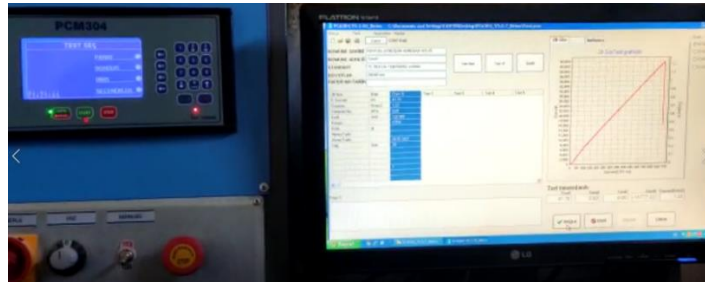
Yarmada çekme dayanımı tahkiki yapılan prefabrik beton kaplama elemanları, laboratuvar çalışanları tarafından 24 saat öncesinde $20 \pm 5^\circ \text{C}$ sıcaklıktaki suda kirlenmiştir. Deney sırasında havuzdan çıkarılan kaplama elemanlarının yüzeyi kurularak deney aşamasına geçilmiştir.

Kaplama elemanları; beton bloğun paralel ve simetrik en uzun yarıma kesiti boyunca, numunelere zarar vermemek amacıyla yerleştirme parçaları kullanılarak, yükleme başlığı eksenlerinin numunelerin yarıma kesiti ile aynı çizgi üzerinde olacak şekilde Şekil 2.18'deki gibi deney makinesine yerleştirilmiştir.



Şekil 2.18. Yarmada Çekme Deney Düzenegi

Kırılma yükü (P), $0.05 \pm 0.01 \text{ N}$ olacak şekilde düzgün ve kesintisiz olarak artırılarak ve yükleme hızı 0.05 olacak şekilde Şekil 2.19'deki gibi numuneye uygulanmıştır. Kırılmanın gerçekleştiği yük kırılma yükü olarak kayıt edilmiştir.



Şekil 2.19. Yarmada çekme Bilgisayar Destekli Mukavemet Tayini

2.2.3. Su Emme Tayini

Su emme tayini için numuneler; laboratuvar çalışanları tarafından 72 saat boyunca aralarında en az 15 cm mesafe olacak ve su; numune yüzeyini en az 20 cm geçecek şekilde $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki su havuzuna koyulmuştur (Şekil 2.20). 24 saat aralıklarla numune yüzeyleri kurularak Şekil 4.22'deki gibi elektronik tartım yapılmış, aralarındaki kütle farkı % 0.1'den küçük olduğunda sabit doygun kütleyle ulaştığı kabul edilmiştir ve bu doygun kütle (M_1) olarak kaydedilmiştir.



Şekil 2.20. $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ Sıcaklıkta Su Havuzundaki Numuneler



Şekil 2.21. Numunelerin Islak ve Etüv Kuru Tartımları

Yüzeyleri kurulan numuneler yine aralarında en az 15 cm mesafe olacak şekilde $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklıktaki etüvde kurutulmuştur. 24 saat aralıklarla numunelerin; etüvden çıkarılıp oda sıcaklığına döndükten sonra tartımları yapılarak aralarındaki kütle farkı %0.1'den küçük olduğunda sabit kuru kütleyle ulaştığı kabul edilmiştir ve bu kuru kütle (M_2) olarak kaydedilmiştir.

Tartımlar sonunda her bir numunenin su emmesi (W_a) Denklem 1'de verilmiştir;

$$W_a = \frac{(M_1)-(M_2)}{(M_2)} \% \quad (1^*)$$

olarak hesaplanmıştır.

2.2. 4. Aşınmaya Karşı Direnç Tayini

Aşınmaya Karşı Direnç Deneyi, orijinal ölçülerdeki ürünlere ya da üst yüzü en az (100×70) mm ölçülerde kesilmiş parçalara uygulanabilmektedir. Buna istinaden çalışmada numuneler Şekil 2.22'te görüldüğü gibi orijinal boyutunda kullanılmıştır.

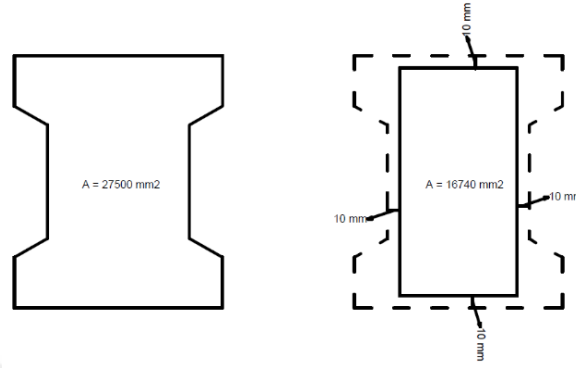
Deney düzeneği dakikada (60 ± 3) 75 devir olacak şekilde ayarlanmış, parke yüzeyi aşınmayı ölçebilmek amacıyla renklendirilmiş ve düzeneğe yerleştirilerek yüzeyinin aşındırılması sağlanmış ve deney sonucunda ölçüm yapılmıştır.



Şekil 2.22. Aşınma Direnç Tayini Cihazı ve Zımpara Tozu

2.2. 5. Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini

Numuneler şartnamede belirtilen yüzey alanı aralığında (7500 mm² den küçük, 25000 mm²'den daha büyük olmayacak) Şekil 2.23'de gösterildiği gibi kenarlarından 10'ar mm içerisinden kesilmiş ve yüzey alanı 16740 mm² olarak alınmıştır.



Şekil 2.23. PBKE'nin Kesim Alanı

Numuneler, deneye tabi tutulacak yüzeyleri hariç diğer yüzeyleri plastikle kaplanmış, çözelti teması engellenmiştir. Numune yüzeylerine, 5 ± 2 mm yükseklikte kütlice %97 su, %3 NaCl olan çözelti koyulmuş ve $(20 \pm 2)^\circ C$ sıcaklık ve % (65 ± 10) bağıl neme sahip ve buharlaşması (240 ± 5) dakikalık zamanda $(200 \pm 100) g/m^2$ olan iklim kabininde 24 saat süren çevrime 28 gün tabi tutulmuştur.

28 gün sonucunda; parke yüzeyinde pullanma sonucunda kalkan malzemeler su ile bir kap içerisine aktarılmış ve daha fazla malzeme çıkmayınca kadar yüzey fırçalanarak malzemenin tamamı toplanmıştır. NaCl çözeltisinden temizlemek amacıyla toplanan malzemeler; suyla yıkanmış, süzgeç kağıdı üzerine aktarılarak süzölmüş, 24 saat süre ile $(105 \pm 5)^\circ C$ sıcaklıkta kurutulmuştur.

Kurutulan malzeme tartılmış; Denklem 2'ye göre kütle kaybı (L), birim alandaki (A) kütle kaybı (M) olarak kg/ m^2 cinsinden hesaplanmıştır.

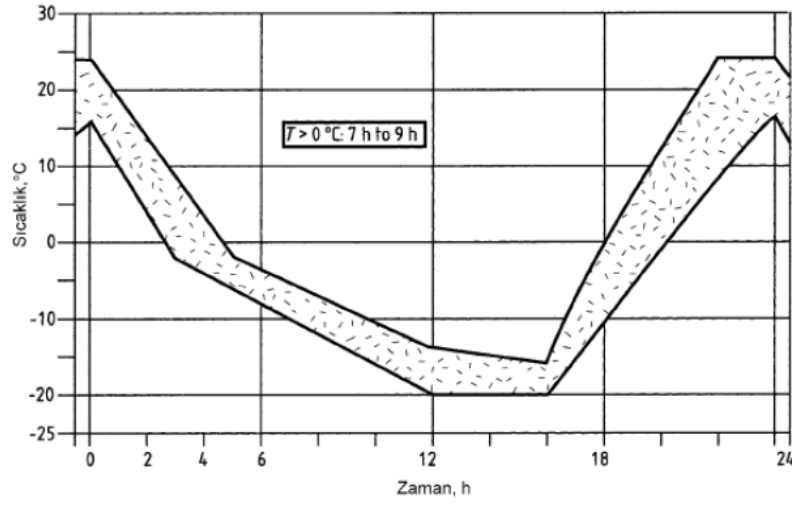
$$L = \frac{M}{A} \quad (2^*)$$

24 saatlik çevrime tabi tutulan numuneler için sıcaklık-zaman şartname kriterleri Çizelge 2.5'deki gibidir;

Çizelge 2.5. Dönme Noktaları Koordinatları

Üst Sınır		Alt Sınır	
Süre (h)	Sıcaklık (°C)	Süre (h)	Sıcaklık (°C)
0	24	0	16
5	-2	3	-4
12	-14	12	-20
16	-16	16	-20
18	0	20	0
22	24	24	16

Şekil 4.24'teki sıcaklık-zaman grafiğine göre belirlenen zamanlarda sıcaklık, taralı kısım içerisinde kalmalıdır.



Şekil 2.24. Süre Sıcaklık Çevrimleri

3. BULGULAR

Bu bölümde; farklı oranlı kentsel dönüşüm atıkları ile doğal agrega karışımdan üretilen prefabrik beton kaplama elemanlarına yapılan deney sonuçlarına göre değerlendirmelerde bulunulmuştur.

3.1. Boyut ve Görünüş Sonuçları

Boyut ve görünüş sonuçları KGM Teknik Şartnamesi ve TS 2824 EN 1338’de belirtildiği gibi şahit numuneye göre standartları kontrol edilerek yapılmıştır. Şahit numune ve GDA’lı numune sonuçları Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2’ de listelenmiştir.

Çizelge 3.1. Şahit Numune Boyutları

Genişlik a mm	Uzunluk b mm	Tolerans	Kalınlık d mm	Tolerans
165	195	±3	54	±2

Çizelge 3.2. GDA ile Üretilen Numunelerin Boyutları

Numune		Genişlik a mm	Uzunluk b mm	Kalınlık d mm
% 100 GDA	1	165	195	46
	2	165	194	46
	3	165	194	45
% 50 GDA	1	165	195	50
	2	165	195	50
	3	165	194	49
% 25 GDA	1	165	194	51
	2	165	195	51
	3	165	195	52

Çizelge 3.1 ve Çizelge 3.2. incelendiğinde, üretilen numunelerin şahit numuneler tolerans limitleri aştığı görülmektedir. Buna göre boyutlar uygun değildir.

Çizelge 3.3. GDA Numunelerimizin Görünüşlerinin Değerlendirilmesi

Numune		Çatlak	Tabakalanma	Pullanma
% 100 GDA	1	YOK	YOK	VAR
	2	YOK	YOK	VAR
	3	YOK	YOK	VAR
% 50 GDA	1	YOK	YOK	VAR
	2	YOK	YOK	VAR
	3	YOK	YOK	VAR
% 25 GDA	1	YOK	YOK	VAR
	2	YOK	YOK	VAR
	3	YOK	YOK	VAR



Şekil 3.1. Şahit Numune ve GDA'lı Numune Görselleri

Şartnamelerde; 'parke taşının yüzeyleri gözle muayene edildiğinde çatlak, tabakalanma veya pullanma gibi bozukluklar göstermemelidir' ifadesine göre parke taşları Çizelge 3.3 ve Şekil 3.1'de görüldüğü üzere görünüş olarak uygun değildir.

3.2. Mukavemet Tayini (Yarmada Çekme Dayanımı) Sonuçları

Bilgisayar kontrollü otomatik beton pres makinesinde kırılan ve kırılma yüzeyleri Şekil 5.2’de görülen numunelerin dayanımları Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5’te listelenmiştir;

Çizelge 3.4. GDA Numune Dayanım Sonuçları

Numune		Yaşı (Gün)	Kırılma Kuvveti (kN)	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Dayanım (N/mm ²)
% 25 GDA	1	28	83,72	2,46	2,46
	2	28	84,01	2,47	
	3	28	82,98	2,44	
% 50 GDA	1	28	51,30	1,51	1,51
	2	28	50,28	1,48	
	3	28	52,01	1,53	
% 100 GDA	1	28	45,46	1,34	1,36
	2	28	46,45	1,37	
	3	28	46,38	1,37	

Çizelge 3.5. Şahit Numune Dayanım Sonuçları

Numune		Yaşı (Gün)	Kırılma Kuvveti (kN)	Dayanım (N/mm ²)	Ortalama Dayanım (N/mm ²)
Şahit numune	1	28	134,10	3,94	3,95
	2	28	134,76	3,96	
	3	28	134,10	3,94	

Şartname kriterlerine göre; ‘ortalama dayanım 3,6 MPa’dan küçük, tek numune sonuçlarından hiçbirisi 2,9 MPa’dan küçük olmamalıdır. Şartı sağlanamadığı için numuneler dayanım açısından uygun değildir.



Şekil 3.2. GDA Numune Kırılma Yüzeyleri

3.3. Su Emme Tayini Sonuçları

GDA ve şahit numuneler için su emme deney sonuçları Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de listelenmiştir;

Çizelge 3.6. GDA Numune Su Emme Sonuçları

Numune		m ₁ (gr)	m ₂ (gr)	Aw 100x(m ₁ -m ₂)/m ₂ (%)	Ortalama Aw
%25 GDA	1	3,61	3,36	6,93	6,57
	2	3,61	3,38	6,37	
	3	3,58	3,35	6,42	
%50 GDA	1	3,54	3,25	8,19	8,36
	2	3,54	3,28	7,34	
	3	3,55	3,21	9,56	
%100 GDA	1	3,31	2,94	11,18	10,41
	2	3,27	2,95	9,79	
	3	3,31	2,97	10,27	

Çizelge 3.7. Şahit Numune Su Emme Sonuçları

Numune		m ₁ (gr)	m ₂ (gr)	Aw 100x(m ₁ -m ₂)/m ₂ (%)	Ortalama Aw
Şahit Numune	1	4,09	3,92	4,34	4,34
	2	4,09	3,92	4,34	
	3	4,09	3,92	4,34	

Şartname kriterlerine göre; Kütlece su emme (Aw) < % 6 Şartı sağlanamadığı için numunelerimiz su emme açısından uygun değildir.

3.4. Aşınmaya Karşı Direnç Tayini Sonuçları

GDA ve şahit numuneler için aşınmaya karşı direnç tayini sonuçları Çizelge 3.8 ve Çizelge 3.9’da listelenmiştir;

Çizelge 3.8. GDA Numune Aşınmaya Karşı Direnç Tayini Sonuçları

Numune		11 (mm)	1 ort (mm)
%25 GDA	1	25,1	25,1
	2	25,1	
	3	25,0	
%50 GDA	1	26,3	26,3
	2	26,3	
	3	26,3	
%100 GDA	1	27,8	27,8
	2	27,8	
	3	27,9	

Çizelge 3.9. Şahit Numune Aşınmaya Karşı Direnç Tayini Sonuçları

Numune		11 (mm)	1 ort (mm)
Şahit Numune	1	20	20
	2	20	
	3	20	

Şartname kriterlerine göre; aşınma boyu (1) < 23 mm Şartı sağlanamadığı için numuneler aşınmaya karşı direnç tayini sonuçları açısından uygun değildir.

3.5. Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini Sonuçları

Deney standartlarına uygun hale getirdiğimiz numune alanı;

$$16740 \text{ mm}^2 = 0.01674 \text{ m}^2 \text{ dir.}$$

GDA ve şahit numuneler buz çözücü tuz etkisiyle donma çözölmeye karşı direnç tayini sonuçları Denklem 3'e göre hesaplanıp Çizelge 3.10 ve Çizelge 3.11'de listelenmiştir.

$$L = M/0.01674 \quad (3^*)$$

Çizelge 3.10. GDA Numune Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini Sonuçları

Numune		Kütle Kaybı (g)	Birim Alandaki Kütle Kaybı (kg/m ²)	Ortalama Birim Alandaki Kütle Kaybı (kg/m ²)
% 25 GDA	1	16,41	0,98	1,00
	2	16,91	1,01	
	3	16,91	1,01	
% 50 GDA	1	18,58	1,11	1,10
	2	18,25	1,09	
	3	18,25	1,09	
% 100 GDA	1	19,92	1,19	1,18
	2	19,75	1,18	
	3	19,75	1,18	

Çizelge 3.11. Şahit Numune Buz Çözücü Tuz Etkisiyle Donma Çözölmeye Karşı Direnç Tayini Sonuçları

Numune		Kütle Kaybı (g)	Birim Alandaki Kütle Kaybı (kg/m ²)	Ortalama Birim Alandaki Kütle Kaybı (kg/m ²)
Şahit Numune	1	7,03	0,42	0,42
	2	7,03	0,42	
	3	7,19	0,43	

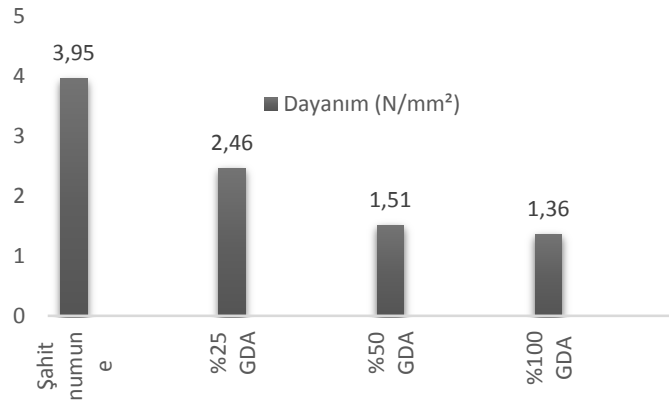
Şartname kriterlerine göre; kütle kaybı (L) < 1 Şartı sağlanamadığı için numuneler buz çözücü tuz etkisiyle donma çözölmeye karşı direnç tayini sonuçları açısından uygun değildir.

4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRMELER

İnşası 1992’de tamamlanan Tokat Vali Mehmet Özgün Sitesi Kentsel Dönüşümü Projesi kapsamında elde edilen beton atıklarının prefabrik beton kaplama elemanları üretiminde kullanımı ile amaçlanan şartname kriterleri sağlanamamıştır.

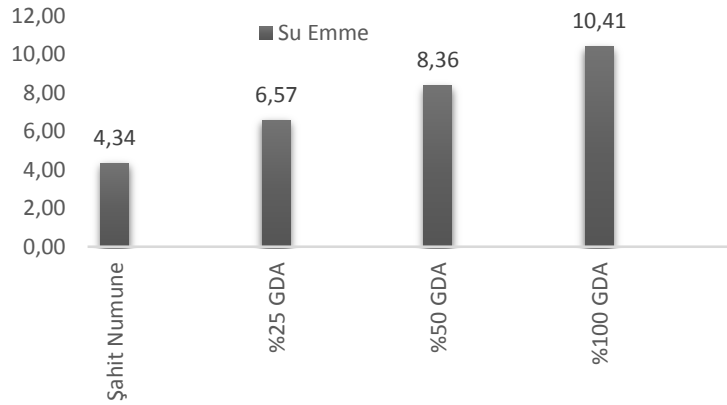
- Görünüş açısından uygunluğun sağlanamamasında öncelikle yüzey düzgünlüğü sağlayan 4 mm kalınlığında kaplama yapılmamasının, agrega etrafını saran çimentonun basınç altında ufalanmasıyla yüzeyde boşluklar oluşmasının ve yine çimentonun su emmesinin yüksek olması nedeniyle yüzeyde kuruma sırasında hacimsel büzülme meydana gelmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.
- Boyut ölçümlerinde, doğal agregalı beton parke numuneleri ile GDA’lı numuneler uzunluk ve genişlik olarak birbirine yakın sonuçlar vermiştir. Beton içerisindeki GDA’nın işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemesine rağmen; prefabrik beton kaplama elemanları, yüksek basınç ve titreşim ile yapıldığı ve numuneler üretilen kalıbın şeklini aldığı için uzunluk ve genişlik bakımından büyük farklar oluşmamıştır.
- Kalınlık değerlendirmesinde; numunelerdeki GDA oranı arttıkça kaplama elemanı kalınlıklarında düşüş meydana gelmiştir. Benzer şekilde Canpolat (2018); Kayseri çinko-kursun atıklarının PBKE üretiminde agrega olarak kullandığı çalışmasında, çinko-kurşun atığı kullanılan numunelerde kalınlıkların tolerans limitlerine yaklaştığını gözlemlemiştir. Buna da; çinko-kursun atıklarının gözenekli yapısı nedeniyle beton parke numunelerinin priz alma sırasında büzülmesinin neden olduğunu belirtmiştir. Bu çalışmada da, oluşan kalınlık farklarının yüksek basınç altında çimento harcının sıkışarak hacim kaybına neden olmasından ve çimento hamuru içerisindeki kapiler boşluklardaki kimyasal olarak bağlanmamış suyun zamanla buharlaşmasıyla hamurun hacimsel şekil değiştirmesi olarak tanımlanan kuruma büzülmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

- Şekil 3.3'te görüldüğü üzere 3,95 N/mm² dayanıma sahip doğal agrega ile üretilen şahit numuneye göre; % 25 oranında beton atığı ikame edilen numunede % 38, % 50 oranında beton atığı ikame edilen numunede % 62, tamamında beton atığı kullanılan numune de ise % 66 mukavemet azalışı görülmüştür.
- Mukavemet kaybında; Öncelikle PBKE üretiminde agrega olarak kullanılan kentsel dönüşüm beton atıkları dayanımının, düşük olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde; Memişoğulları (2018); %20-40-60-80-100 oranlarında beton parkelerin deforme olması sonucu elde ettiği geri dönüşüm agregalarını kullanarak hazırladığı PBKE'de GDA ikamesi artan numunelerde dayanımın düştüğünü belirtmiştir. Aynı şekilde Savaş (2002); çalışmasında deprem nedeniyle yıkılan yapılardan elde edilen GDA'lar ile ürettiği beton küp numunelerin, normal agrega ile üretilen numunelere göre daha düşük mukavemet değerleri verdiğini gözlemlemiştir. Yine mukavemet kaybında; GDA'nın taze betonun su ihtiyacının fazla olması sebebiyle çimento hidrasyonunun zayıflamasının dayanım üzerinde olumsuz etki ettiği düşünülmektedir. Mukavemet kaybında; agrega etrafını saran çimentonun basınç altında hacim kaybına uğramasıyla parke içerisinde oluşan boşlukların da etkili olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde; Engin (2015); betonun sıkıştırılmasıyla boşluk oranının azaltılıp dayanımın artırılabilirliğini belirttiği çalışmasında, betonda boşluklu yapının % 5 oranında artmasının basınç dayanımını % 30, boşluklu yapının % 10 oranında artmasının ise dayanımı %50 seviyesinde düşürdüğü tespit etmiştir.



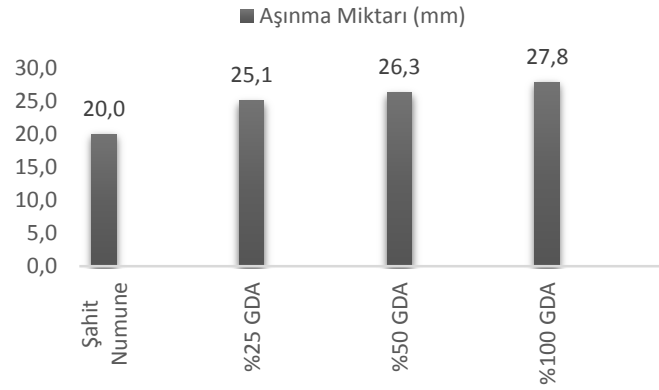
Şekil 3.3. Numune Dayanımları Grafiği

- Belirli oranlarda GDA ikame edilen numuneler ile doğal agregalı numunelerin Şekil 3.4'deki su emme değerleri karşılaştırıldığında yaklaşık % 50'lik bir artış görülmektedir.
- Su emme tayininde şartname kriteri sağlanamamasında; GDA yüzeyinin daha pürüzlü ve boşluklu yapıda olmasının etkili olduğu düşünülmektedir. Benzer şekilde Canpolat (2018); çalışmasında çinko-kursun atık agregaları ile üretilen numunelerde, normal agregalı numunelere göre malzemenin gözenekli yapısına bağlı olarak su emme oranlarının artış gösterdiğini belirtmiştir. Ayrıca GDA bünyesindeki çimento hamurunun numunelerin su emme miktarını artırdığı düşünülmektedir. Bunu destekler nitelikte; Memişoğulları (2018); çalışmasında GDA tanelerinin üzerine yapışmış ve sertleşmiş halde bulunan harcın yüksek su emme miktarına sahip olduğunu belirtmiş ve çalışmasında GDA ikame oranı arttıkça su emme oranının da artış gösterdiğini gözlemlemiştir.



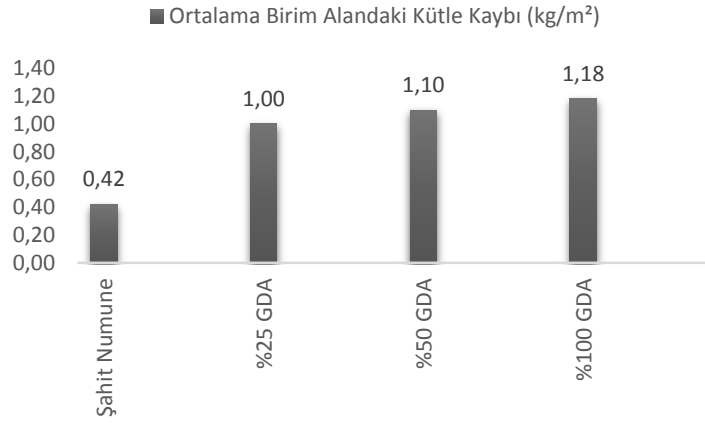
Şekil 3.4. Su Emme Değeri Grafiği

- Aşınmaya karşı direnç tayininde; GDA'lı numuneler ile doğal agregalı numuneler arasında maksimum % 35'lik aşınma farkı Şekil 3.5'deki grafikte görülmektedir. 4 mm yüzey kaplaması yapılmayan ve 20 mm aşınma çıkan şahit numunelerin standart üretiminde 13-15 mm aşınma görülmektedir.
- Bundan yola çıkarak numunelere yapılan yüzey kaplamasının aşınmaya büyük oranda fayda sağladığı söylenebilmektedir. Aynı şekilde; Memişoğulları (2018); aşınma deneyinde numunelerdeki 4 mm kalınlığındaki mil kumlu ince yüzey tabakasının aşındığını ve şahit numune de dahil olmak üzere GDA'lı numunelerin tamamında benzer sonuçlar elde ettiğini belirtmiştir. Ayrıca numunelerin yüzey pürüzlülüğünün olması nedeniyle deney sırasında yüzeydeki maddelerin daha çabuk aşınmaya maruz kaldığı düşünülmektedir. Ve yine GDA yüzeyini saran sertleşmiş betonun, çimento ile iyi aderans sağlayamamasının yüzey aşınımlarını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 3. 5. Aşınma Değeri Grafiği

- Buz çözücü tuz etkisiyle donma çözülmeye karşı direnç tayinine göre birim alandaki kütle kaybı, GDA oranı arttıkça artmıştır. Şekil 3.6 'da görüldüğü üzere en düşük GDA oranlı numune ile şahit numune arasında % 50'den fazla kütle kaybı meydana gelmiştir.
- Donma çözülme deneyinde kopmalar numune yüzeyinden başlamaktadır. Yüzey kaplaması yapılmadığı için yüzey pürüzlülüğü nedeniyle boşluklar oluşmakta ve o boşluklar da çözelti ile dolarak donma esnasında hacim artışından dolayı aşınarak kopmakta ve kütle kaybı artmaktadır. Ayrıca boşluk oranı ve su emmesi fazla olan numunelerde kütle kaybı da artmaktadır. Bu durumla ilgili olarak; Canpolat (2018); çalışmasında çinko-kurşun atık agregasının gözenekli yapısının çevrimler esnasında suyu hapsedip donma esnasında buzun hacimce genişleceği uygun boşluklar oluşturmasının kütle kaybını artırdığını belirtmiştir. Memişoğulları (2018) da; GDA'nın yüksek su emme kapasitesi nedeniyle donma çözülme çevrimlerine daha fazla tepki göstererek kütle kaybının GDA oranı arttıkça arttığını belirtmiştir.



Şekil 3.6. Kütle Kaybı Değeri Grafiği

Şartname kriterlerinin sağlanamamasında genel olarak;

- Atık durumda elde ettiğimiz beton sınıfının ortalama C9 olmasının
- Dayanımı düşük olan beton atıklarının, parke makinasının 150 bar hidrolik basıncı altında ufalanmasıyla parke içerisinde ve yüzeyinde boşluklar oluşturmasının,
- Agregaya yüzeyini saran çimento harcının basınç altında ufalanması ile hacim kaybına neden olmasının,
- Geri dönüşüm agregasının su emme miktarının fazla olmasının
- Agregaya yüzeyini saran çimento harcının su emme miktarının fazla olmasının,
- Beton atıkları içerisindeki agregaların aşınmış olmasının
- 4 mm kalınlığında yüzey kaplaması yapılmamasının

Nedenleri etkili olduğu düşünülmektedir.

5. ÖNERİLER

Daha iyi sonuçlar elde edilebilmesi amacıyla;

- ✓ Numune içindeki GDA'nın presleme ile meydana gelen hacim kaybını tolere etmek amacıyla, palet üzerine sıkıştırma işleminden sonra yeniden malzeme eklenerek ikinci kez presleme yapıp istenilen kalınlık yakalanabilir.
- ✓ Yüzey düzgünlüğü sağlanması amacı ile; 4 mm yüzey kaplaması için su emme miktarı düşük olan doğal ince agregalar kullanılabilir.
- ✓ Dayanımı artırmak amacıyla; beton sınıfı daha yüksek olan atık betonlar tercih edilebilir.
- ✓ Daha yüksek teknoloji ve ekipman yardımıyla elde edilen temizlenmiş agregaların kullanımı ile; GDA etrafını saran çimento harcının negatif etkileri minimuma indirilerek su emme miktarı azaltılıp, dayanımı artırılabilir.
- ✓ Fayda maliyet analizlerine göre % 25 GDA'lı numunelerden daha düşük oranlı GDA ve normal agregalar karışımları ile standartlar yakalanabilir.
- ✓ Şartname sınırlarını geçmeyecek şekilde su geçirimsizlik katkıları kullanılabilir.

Artan dünya nüfusu ihtiyacına yönelik yapılan yapıların büyük çoğunluğunu beton ve beton türevi ürünler oluşturmaktadır. Beton ürünlerinin de % 75' e yakını doğal agregaların oluşturması nedeniyle kıt kaynaklar ile sınırsız ihtiyaçların karşılanması zaman içerisinde mümkün olmayacaktır. Bu nedenle sınırsız olmayan doğal kaynak kullanımının yerini alternatif ürünler almalıdır. Hali hazırda devam eden çalışmalara ek olarak beton ve beton türevi ürünlerin geri dönüştürülerek kullanılması yaygınlaştırılmalı ve teşvikler sağlanarak üretici tarafından cazip hale getirilmelidir.

6.KAYNAKLAR

- Akyüz, C., 2019. Pirit, Korunt Ve Su Tutucu Polimerin Beton Parkelerin Yüzey Aşınma Direncine Etkisinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Rize.
- Aktaş, Z., 2015. Bina Yıkım Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi (Uzmanlık Tezi), İller Bankası Anonim Şirketi, Trabzon.
- Anonim, 2009. Ulusal Agrega (Beton-Asfalt) Çimento Hammaddeleri Madenciliği Sempozyumu, 1-2 aralık, 2009, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- Anonim, 2012. Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 6306, Ankara.
- Anonim, 2014. Ulusal Geri Dönüşüm Strateji Belgesi Ve Eylem Planı 2014-2017. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı, Ankara.
- Anonim, 2014. İnşaat yıkıntı Atıklarının İkincil Hammadde Olarak Kullanımı. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, <https://altyapi.csb.gov.tr/insaat-ve-yikinti-atiklarinin-ikincil-hammadde-olarak-kullanimi-haber-13971-> (10.09.2020)
- Anonim, 2012. 6306 sayılı Afet Riskli Yapıların Yenilenmesi Hakkında Kanunu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yayın No: 6306, Ankara
- Anonim, 2004. Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Yayın No: 25406, Ankara
- Anonim, 2011. Ulusal Kırmataş Sempozyumu Sonuç Bildirgesi, TMMOB Maden Mühendisleri Odası Sivas Şubesi, Sivas.
- Arıoğlu, E., Arıoğlu N. Ve Yılmaz, A., 2006. Beton Agregaları Bilgi Föyleri. Evrim Yayınevi, 303, İstanbul.
- Bal, S., 2017. Türkiye’de Soylulaştırma: Ankara Dikmen Vadisi Örneği.(Yüksek Lisans Tezi), Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Denizli
- Batman, M., 2018. Beton Deney Numune Atıklarının Geri Dönüşüm Agregası Olarak Kullanılabilirliğinin İncelenmesi.(Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

- Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri Bölüm 10: Beton Kaplama Blokları –Beton Parkeler -Gerekli Şartlar Ve Deney Metotları, 2008. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Malzeme Lab. Şubesi Müdürlüğü, Ankara.
- Buzkan, C. ve Erman, O., 2020. Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm sorunu ve Türkiye’deki Durumun Mevzuat Bakımından Değerlendirilmesi. Artvin Çoruh Üniversitesi. Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1), 1-14.
- Canpolat, H., 2018. Kayseri Çinko-Kurşun Üretim Tesisi Atıklarının Beton Parke Taşlarında Kullanılması (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Demir, İ., 2010. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. Afyon Kocatepe Üniversitesi. Fen Bilimleri Dergisi, 1(2), 105-114.
- Demirel, C., 2012. Yaşı Ve Sınıfı Belli Geri Dönüşüm Agregalarının Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması. (Yüksek Lisans Tezi), Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Durmuş, G., Şimşek, O., ve Dayı, M., 2009. Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi. Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Dergisi, 4(1), 183-189.
- Fonteboa B.G. ve Abella F.M., 2008. Concretes with Aggregates From Demolition Waste and Silica Fume, Materials and Mechanical Properties, Building and Environment, 43, 429437.
- Engin, Y. 2015. Betonun Sıkıştırılması ve Dayanım İlişkisi. Beton ve Çimento, <https://www.betonvecimento.com/beton-2/betonun-sikistirilmesi> (15.10.2015)
- Karayolları Teknik Şartnamesi, 2013. Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara.
- Kaya, T. ve KARAKURT, C., 2016. Uygulamadaki Beton Parke Taşlarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. Düzce Üniversitesi. Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4 (469), 1-6.
- Keskin, A.M., 2018. Kentsel Dönüşüm Projeleri Kapsamında Yapısal Atık Yönetiminin İncelenmesi: İstanbul Fikirtepe Örneği (Yüksek Lisans Tezi), Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.

- Lennon M., 2005. Recycling Construction and Demolition Wastes A Guide for Architects and Contractors, The Institution Recycling Network.
- Memişoğulları, M., 2019. Prefabrik Beton Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Parke Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya.
- Sarıbaş, İ., 2018. Geri Dönüşüm Agregası İçeren Çevreci Betonun Yapısal Eleman Üretiminde Kullanılması (Doktora Tezi), İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Savaş, Ö., 2002. Atık Betonların Geri Kazanımı. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sefidehkan, H. Ve Şimşek, O., 2018, Investigation of some engineering properties of concrete made with recycled aggregate in different ratios. Journal Of Polytechnic, 21(1), 83-91
- Seydioğulları, H. S., 2016. Yeni Yasal Düzenlemelerle Kentsel Dönüşüm. TMMOB Şehir Plancılar Odası Planlama Dergisi, 23(1), 19-25.
- Süme, E., 2016. Geri Dönüşüm Agregasının Beton Yol Kaplamasında Kullanılabilirliği (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Tekmen, T., 2006. Kireç Taşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- TS EN 2824-1338, 2009. Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları Gerekli Şartlar ve Deney Metotları Bölüm 2: Malzemelere Ait Genel Özellikler. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.