



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENİSTİTÜSÜ

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALRINDAN
ÜRETİLEN ATIK TENEKE KATKILI
BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Mohammad Hosain AMINI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalını

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mohammad Hosain AMINI tarafından hazırlanan “GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALARINDAN ÜRETİLEN ATIK TENKE KATKILI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI” adlı tez çalışması 02.08.2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan
Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

Danışman
Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Üye
Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

İmza


.....

.....

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

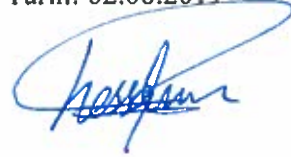
Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Mohammad Hosain AMINI

Tarih: 02.08.2019



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GERİ DÖNÜŞÜM AGREGALRINDAN ÜRETİLEN ATIK TENEKE KATKILI BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mohammad Hosain AMINI

**Konya Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2019, 52 Sayfa

Jüri

Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

Bu çalışmada, yapı bileşenleri içerisinde en büyük paya sahip olan betonların, ömrünü tamamladıktan sonra geri kazanılarak beton üretiminde, maksimum düzeyde yeniden kullanılması hedeflenmiştir. Geri dönüşüm agregalarının beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, doğal agrega ve geri dönüşüm agregalar %100 doğal agrega, ince agregası %100 geri dönüşüm, iri agregası %100 geri dönüşüm ve ince ve iri agregası %100 geri dönüşüm agregaları kullanılarak beton serileri üretilmiştir. Betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini iyileştirmek amacı ile hiper akışkanlaştırıcı, %1,2 oranında karışım suyuna ve silis dumanı %10 oranında çimento ile beraber ilave edilmiştir. Üretilen beton numunelerin üzerinde 7., 28. Ve 90. Günlerde fiziksel ve mekanik deneyler yapılmıştır. Üretilen beton karışımlarının su/çimento oranı 0,50 olup hedef dayanımı C30/37 olarak seçilmiştir. Beton üretiminden önce hazırlanan agregalarda, birim ağırlık, özgül ağırlık, su emme oranı, granülometri ve Los Angeles aşınma deneyleri, taze betonda slump (çökme) ve sertleşmiş betonda yoğunluk tayini, basınç dayanımı ve çekme çıkarma deneyleri araştırılmıştır. Bu çalışmada ayrıca atık teneke ambalajları beton ile karıştırılarak betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Atık teneke ambalajları beton ile karıştırılarak betonun mekanik özelliklerine etkisi incelenmiştir. Atık teneke ambalajları boy/en oranı $ve=70mm/5mm$ olarak kestirilmiş, $40 kg/m^3$ şeklinde karışımlarda kullanılmıştır. Çalışmanın sonunda üretilen serilerin çoğunda istenilen dayanıma ulaşılmıştır. Buna rağmen geri dönüşüm agregalarının, doğal agregalara göre yüksek poroziteye sahip olduklarından dolayı su emme oranları çok daha yüksek çıkmıştır. Buna bağlı olarak önce işlenebilirlikte, sonra basınç ve aderans dayanımlarında, doğal agregaları kullanılarak üretilmiş betonlara göre azalma kaydedilmiştir. Atık tenekelerin kullanımı bütün serilerde basınç dayanımını düşürmüş, aderans dayanımı açısından katkıda bulunmuştur. Sonuç olarak geri dönüşüm agregaların beton üretiminde kullanılmadan önce, mekanik yöntemler ile üzerindeki çimento harcının bertaraf edilerek iyileştirilmesi gerektiği ve bu konuda daha çok araştırmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Beton, Geri Dönüşüm, kullanılabilirlik, mekanik özellikler, sürdürülebilirlik,

ABSTRACT

MS THESIS

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF WASTE TIN ADDITIVE CONCRETE PRODUCED BY RECYCLING AGGREGATES

Mohammad Hosain AMINI

**THE GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
KONYA TECHNICAL UNIVERSITY
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE
IN CIVIL ENGINEERING**

Advisor: Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

2019, 52 Pages

Jury

Prof. Dr. M. Sami DÖNDÜREN

Prof. Dr. Mehmet KAMANLI

Dr. Öğr. Üyesi S. Kamil AKIN

In this study, the concretes which have the biggest share in the building components, after the end of its service life, it is aimed to be reused at maximum level in concrete production by being recovered. In this experimental study, which investigated the usability of recycling aggregates in concrete production, natural aggregates and recycling aggregates Concrete series are produced by using 100% natural aggregate, 100% recycled fine aggregate, 100% recycled Coarse aggregate and 100% recycle aggregates. In order to improve the physical and mechanical properties of the concrete, 1,2% hyper plasticizer and 10% silica fume were added to the concrete mixtures produced. Physical and mechanical tests were performed on the concrete samples on the 7th, 28th and 90th days. The water/cement ratio of the produced concrete mixtures was selected 0.50 and the target strength as C30/37. Unit weight, specific gravity, water absorption rate, granulometry, and Los Angeles abrasion tests of aggregates prepared before concrete production, the slump in fresh concrete, density determination, compressive strength, and pull-out experiments were investigated in hardened concrete. Also in this study, waste tin packages were mixed with concrete and the effect of concrete on mechanical properties was investigated. Waste tin packages were used as length/width $l/w = 70 \text{ mm}/5 \text{ mm}$ and ratio of 40 kg/m^3 . At the end of the study, the desired strength was achieved in most of the series produced. However, water absorption rates of the recycling aggregates are much higher since have higher porosity than natural aggregates. Therefore, firstly the processability, then the compressive and adherence strengths were decreased compared to the concretes produced using natural aggregates. The use of waste cans has reduced the compressive strength in all series. It contributed in terms of adherence strength. As a result, it is thought that before the recycling aggregates can be used in concrete production, it should be improved by eliminating the cement mortar by mechanical methods and more researches should be done on this subject.

Keywords: Concrete, Recycling, Mechanical Properties, Sustainability, Usability

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamın yürütücülüğünü üstlenen, çalışmamın her aşamasında bilgi ve tecrübelerini eksik etmeyen Prof. Dr. Mehmet KAMANLI'ya,

Deneysel çalışmalarım boyunca, yardımları ile tezin gelişimine destek olan İnşaat Mühendisi Halil AYHAN'a,

Hayatım boyunca gösterdikleri sonsuz sabır ve destekle beni bugünlere getiren; babam ve annem başta olmak üzere tüm aileme ve tüm arkadaşlarıma sonsuz teşekkür ederim.

Mohammad Hosain AMINI
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
TABLolar LİSTESİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAVRAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	4
2.1. Kavramsal Bilgiler	4
2.1.1. Geri dönüşüm.....	4
2.1.2. İnşaat atıkları ve yönetimi.....	4
2.1.3. Geri dönüşüm agregaları (GDA)	8
2.1.4. GDA'leri ile üretilen betonların özellikleri	9
2.2. Kaynak Araştırması.....	13
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Eski betonların basınç dayanımları	18
3.1.2. Agregalar	19
3.1.3. Çimento.....	20
3.1.4. Katkı malzemeleri.....	20
3.1.4.1. Mineral katkı malzemesi	20
3.1.4.2. Kimyasal katkı malzemesi.....	21
3.1.5. Karışım suyu	22
3.1.6. Atık teneke.....	22
3.1.7. Üretilen Beton serilerinin tasarım planı.....	23
3.2. Yöntem.....	25
3.2.1. Agrega deneyleri.....	25
3.2.1.1. Tane büyüklüğü dağılım deneyi	25
3.2.1.2. Birim hacim ağırlık tayini	26
3.2.1.3. Özgül ağırlık ve su emme oranı tayini	27
3.2.1.4. Aşınma deneyi (Los Angeles deneyi).....	30
3.2.2. Beton karışım hesabı.....	31
3.2.3. Taze beton deneyleri	32
3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri	33
3.2.4.1. Basınç dayanımı	33
3.2.4.2. Donatı aderans deneyi (Çekme Çıkarma deneyi).....	34
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA.....	36

4.1.	Agrega Özellikleri.....	36
4.2.	Taze Beton Özellikleri	38
4.3.	Sertleşmiş Beton Özellikleri	39
5.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	47
5.1.	Sonuçlar.....	47
5.2.	Öneriler	49
	KAYNAKLAR.....	50
	ÖZGEÇMİŞ	53



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

N	Doğal agregalı
NT	Doğal agregalı ve Atık teneke katkı
R	Geri dönüşüm agregalı
RT	Geri dönüşüm agregalı ve atık teneke katkı
R1	İnce geri dönüşüm agregalı
R1T	İnce geri dönüşüm agregalı ve atık teneke katkı
R2	İri geri dönüşüm agregalı
R2T	İri geri dönüşüm agregalı ve atık teneke katkı
S	Kıvam sınıfı
F _c	Basınç dayanımı
Ø	Çap

Kısaltmalar

ACI	American Concrete Institute
ASTM	American Society For Testing Materials
AB	Avrupa Birliği
TS	Türk Standardları
RILEM	Reunion Internationale des Laboratoires et Experts des Materiaux
KTA	Kırma taş agregası
GDA	Geri dönüşüm agregası

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. İstaç Tuzla-Şekerpınar geri dönüşüm tesisi.....	7
Şekil 2.2. Geri dönüşüm agregasının yapısındaki çimento harcı (Xiao ve ark., 2012)	9
Şekil 3.1. Geri dönüşüm agregası haline dönüştürülmek üzere alınan kup numuneler..	18
Şekil 3.2. Geri dönüşüm agregaların elekler yardımı ile gruplara ayrılması.....	19
Şekil 3.3. Kontensan A. Ş. Alınan atık teneke ambalajlarının	22
Şekil 3.4. Atık teneke ambalajlarının 70 / 5 mm olarak kesilmiş hali.....	23
Şekil 3.5. Agrega numunesinin ele analiz deneyi için 0,063 mm elek ile yıkanması	25
Şekil 3.6. Elek analizi sarsma makinesi	26
Şekil 3.7. Sıkışık birim hacim ağırlık deneyin yapılışı.....	27
Şekil 3.8. İri agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi için numunelerin suda bırakılması	28
Şekil 3.9. İnce agregalarda kuru yüzey doygun durumunun koni kalıp yardımı ile tespit edilme aşaması.....	29
Şekil 3.10. piknometrenin numune ve su beraberinde tartılması	29
Şekil 3.11. Los Angeles aşınma deney cihazı	30
Şekil 3.12. Los Angeles deneyine tabi tutulan numunelerin tartılması	31
Şekil 3.13. Atık teneke katkılı beton karışımının hazırlanışı	32
Şekil 3.14. Çökme miktarının ölçülmesi	32
Şekil 3.15. Beton basınç dayanımı ve çekme çıkarma deneyleri için hazırlanan numuneler	33
Şekil 3.16. Hazırlanan numunelerin havuzlara kür edilmesi.....	33
Şekil 3.17. Basınç deneyinde numuneye yük uygulama anı	34
Şekil 3.18. CFTMAK hidrolik kriko cihazı.....	35
Şekil 3.19. Çekme çıkarma deney numunesi.....	35
Şekil 4.1. Agrega tane büyüklüğü dağılım eğrisi	36
Şekil 4.2. Karışımların çökme miktarlarının grafik olarak karşılaştırılması	38
Şekil 4.3. 7, 28 ve 90 günlük Beton yoğunluklarının karşılaştırılması	41
Şekil 4.4. 7, 28 ve 90 günlük Beton basınç dayanımlarının karşılaştırılması.....	41
Şekil 4.5. N ve NT karışım kodlu betonların basınç deneyine tabi tutulmuş hali	43
Şekil 4.6. R ve RT karışım kodlu betonların basınç deneyine tabi tutulmuş hali	43
Şekil 4.7. Betonların aderans dayanımı ve donatıların sıyrılma kuvvetlerinin görsel olarak karşılaştırılması.....	44

Şekil 4.8. N karışım kodlu betona ait çekme çıkarma deney sonucu	45
Şekil 4.9. R karışım kodlu betona ait çekme çıkarma deney sonucu	46
Şekil 4.10. RT karışım kodlu betona ait çekme çıkarma deney sonucu	46

TABLolar LİSTESİ

Tablo 1.1. Ülkelerin yıllara göre hazır beton üretimi (milyon m ³) (THBB, 2016)	2
Tablo 2.1. İnşaat ve yıkıntı atıklarının kullanım alanları (Öztürk, 2005)	5
Tablo 2.2. AB ülkelerinde inşaat ve yıkıntı atığı miktarı (Ölmez ve Yıldız, 2008).....	6
Tablo 3.1. Geri dönüşüm agregaların beton basınç dayanımları	19
Tablo 3.2. Çimentonun Teknik Özellikleri	20
Tablo 3.3. Silis dumanı teknik özellikleri	21
Tablo 3.4. Kimyasal katkıının teknik özellikleri.....	21
Tablo 3.5. Beton karışımlarındaki agregaların hacimca miktarı.....	24
Tablo 3.6. Elek analiz sonuçları.....	26
Tablo 3.7. Los Angeles deneyi için farklı tane çaplarına göre bilye miktarları.....	30
Tablo 3.8. Hazırlanan Betonların Karışım Miktarları (1000 dm ³)	31
Tablo 4.1. Birim hacim ağırlık deney sonuçları.....	37
Tablo 4.2. Özgül ağırlık ve su emme oranı deney sonuçları.....	37
Tablo 4.3. Los Angeles aşınma deney sonuçları.....	38
Tablo 4.4. Karışımların çökme miktarı.....	39
Tablo 4.5. Yoğunluk ve basınç dayanımlarının 7 Günlük sonuçları.....	39
Tablo 4.6. Yoğunluk ve basınç dayanımlarının 28 Günlük sonuçları.....	40
Tablo 4.7. Yoğunluk ve basınç dayanımlarının 90 Günlük sonuçları.....	40
Tablo 4.8. Betonların aderans dayanımı ve donatıların sıyrılma kuvvetleri.....	44

1. GİRİŞ

Günümüzde en yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinin başına beton gelmektedir. Dünyada kişi başına beton ihtiyacı yıllık 0,7 ton olarak belirlenmiştir. Kentleşme ve dünya nüfusunun hızla artması, insanların hayatında en çok yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden betonu ve beton bileşenlerinin önemini daha çok göstermektedir (Tüfekçi, 2011).

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB), 1988 yılından beri güvenli ve dayanıklı yapıların inşası amacıyla standartlara uygun beton üretilmesi, tekniğine uygun beton uygulamalarının yaygınlaşması ve kaliteli, yüksek dayanım sınıflarında beton kullanılması için uğraş veren mesleki bir kuruluştur. Son yıllarda inşaat yapımlarının artması sonucu hazır beton üretimi artmıştır. Bu hızlı büyüme ve talep artışı Türkiye'nin 109 milyon metreküp hazır beton üretimiyle Avrupa'da 2009 yılından bu yana birinciliği başka ülkelere bırakmamasını sağlamıştır. Tablo 1.1.'deki verilere göre Türkiye, Avrupa'nın en fazla beton üreten ikinci ülkesinin iki katından daha fazla beton üretmektedir. Türkiye dünyada, Çin ve ABD'den sonra en büyük beton üreticisi konumundadır (THBB, 2016).

Avrupa Hazır Beton Birliğinden (ERMCO) alınan 2016 yılı verilerine bakıldığında; Avrupa Birliği üyesi ülkelerin toplam beton üretim miktarı 226,2 milyon m³ iken, Almanya 49,5 milyon m³, Fransa 36,1 milyon m³ üretim ile Türkiye'den sonra ikinci ve üçüncü sırada gelmektedir. Avrupa'da kişi başı ortalama hazır beton üretimi 0,5 m³ iken, Türkiye'de bu rakam 1,4 m³'tür. Türkiye sadece miktar bakımından değil kullanılan betonların dayanım sınıflarına göre de öndedir. Kullanılan betonların dayanım sınıfları incelendiğinde; C25/30-C30/37 beton sınıflarında Türkiye %74 ile %62,3 olan Avrupa ortalamasının üstünde yer almaktadır. C35/45 ve üstü beton sınıflarında ise Türkiye %18 ile %11,6 olan Avrupa ortalamasını geçmektedir (THBB, 2016). Tablo 1.1.'de öne gelen ülkelerin yıllara göre beton üretimi gösterilmiştir.

Yapılarda kullanılan malzemelerin çevresel etkilerinin en düşük seviyede olmasını sağlamak, çevresel ve yapısal sürdürülebilirlik için yapıların üretim sürecinin bütün aşamalarına dikkat edilmesi gerekmektedir. Bir yapının ömrü boyunca oluşan çevresel etkilerinin yaklaşık % 10'u yapı malzemelerinden kaynaklandığı göz önünde bulundurulursa, yapı malzemesi seçiminin ne kadar önemli olduğu daha da ön plana çıkmaktadır. Yapı malzemelerin çoğu yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir,

dolayısıyla inşaat sektörünün çevresel etkileri minimum seviyeye azaltılabilir (Marie ve Quiasrawi, 2012).

Tablo 1.1. Ülkelerin yıllara göre hazır beton üretimi (milyon m3) (THBB, 2016)

Ülkeler	2014	2015	2016
Avusturya	10,0	10,5	10,8
Belçika	12,3	12,3	12,5
Çek Cumhuriyeti	6,5	6,5	6,8
Danimarka	2,3	2,5	2,5
Finlandiya	2,6	2,6	2,9
Fransa	36,4	34,8	36,1
Almanya	46,8	47,2	49,5
İrlanda	2,4	3,5	4,2
İtalya	28,0	25,3	23,3
Hollanda	6,5	6,3	6,5
Polanya	19,2	19,8	20,4
Portekiz	2,8	2,8	3,5
Slovakya	1,6	1,9	1,9
İspanya	15,9	16,3	16,3
İsveç	4,0	4,1	4,5
İngiltere	22,7	23,7	24,6
Toplam Avrupa Birliği	220,0	220,0	226,2
Averaj Avrupa Birliği	13,8	13,8	14,1
İsrail	14,0	15,6	15,4
Norveç	3,8	3,7	4,0
İsviçre	12,0	12,0	11,5
Türkiye	107	107	109
Toplam ERMCO	356,8	358,3	366,1
Rusya	40,0	40,5	37
ABD	230,0	260,0	265,0
Japonya	99,0	99,0	99,0

Beton bileşiminin %65-75 oranı agregadan oluşuyor. Bu kadar büyük ölçüde üretilen malzemenin ömrünü tamamladıktan sonra geri dönüştürülerek yeniden kullanılması, bir yandan doğal kaynakların tükenmesini engelleyecek, bir yandan ülkenin ekonomisine ve kalkınmasına çok büyük katkı sağlayacaktır. Özellikle son yıllarda başlayan kentsel dönüşüm çalışmaları ve ülkenin deprem kuşağında bulunması, yapı atık miktarını büyük ölçüde arttırmıştır. Bu çalışmalar atık hacmini artırmakta ve çevre kirlilik sorunlarını beraberinde getirmektedir. Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı, bu konu ile ilgili dünya çapında çalışmalar sürdürülmekte ve Bu çalışmaların başında, yapı atıklarından elde edilen agregaların, beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırılması gelmektedir.

Bu çalışmanın kapsamında yapılan deneysel araştırmaların amacı; atık betonların yeniden agregaya dönüştürülmesi ve beton üretiminde kullanılması üzerindedir. Çalışmada geri dönüşüm agregaların ve onlardan belirli oranlarda, üretilen betonların teknik özellikleri, fiziksel ve mekanik deney yapılarak incelenmiştir. Aynı zamanda geri dönüşüm agregalardan elde edilen sonuçlar doğal agregaların özellikleri ile karşılaştırılıp kıyaslanmıştır. Ayrıca atık malzemelerden olan teneke ambalajları, istenilen boyuta kesildikten sonra belli miktarda karışıma ilave edilmiş ve betonun mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri araştırılmıştır.

2. KAVRAMSAL BİLGİLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

2.1. Kavramsal Bilgiler

2.1.1. Geri dönüşüm

Geri dönüşüm kavramı, yeniden kullanılabilme imkânı olan atıkların bazı prosedürlerden geçilerek, aynı alanda veya farklı alanlarda işlenmesidir. Geri kazanım ise atıkların özelliklerinden yararlanarak içindeki bileşenlerinin kimyasal ve fiziksel yöntemler ile başka ürünlere/enerjiye çevrilmesi demektir (Anonim, 2005).

İlk geri dönüşüm, Japonlar tarafından 1031 yılında atık kağıtların hamur haline getirilerek tekrar kullanmaları olarak bilinmektedir. Amerikalılar 1690 yılında geri dönüştürülmüş kağıt üretimini sektör haline getirmiştir. Yine Amerikalılar 1776 yılında metalleri, 1907 yılında ise alüminyumunu geri dönüştürmeyi başarmışlardır (Wilson, 1997). Hızlı gelişen teknoloji ve nüfus artışı atıkların hacmini artırmakta ve çeşitlenmesine sebep olmaktadır. Günümüzde atıklar bütün hammadde malzemelerinde (kâğıt, plastik, metal, yapı malzemeleri vb) yeniden kullanılmak üzere geri kazanılmaktadır (Öztürk, 2005).

Geri kazanımda en önemli paya sahip olanlardan yapı bileşenlerinin yeniden kullanımı çok eski tarihlerden başlamıştır. Romalıların, yığma yapılarda atık kiremit parçalarını tekrar kullandıkları bilinmektedir (Tüfekçi, 2011). Geri dönüşüm agregaların beton üretiminde kullanılması fikri, 1860 yılında portland çimentosu ile beraber Almanya'da ortaya çıkmıştır. İkinci dünya savaşından sonra Almanya'da, yıkılan inşaatların atıkları beton üretiminde tekrar kullanmaları gündeme gelmiş ve 1928 yılından itibaren beton üretiminde geri dönüşüm agregaların kullanım oranının etkileri araştırılmaya başlamıştır. Savaşta oluşan enkaz miktarının yaklaşık 400–600 milyon m³ olduğu belirtilmektedir. Bu enkaz atıklarının yaklaşık 11,5 milyon m³ kadarı Almanya'da kurulan tesisler tarafından geri kazanılmış agrega olarak beton üretiminde, yaklaşık 170.000 yapının inşasında kullanılmıştır (Khalaf ve DeVenny, 2004).

2.1.2. İnşaat atıkları ve yönetimi

Kentsel katı atıklarının yaklaşık %13-%30 oranını inşaat ve yıkıntı atıkları oluşturmaktadır. Bu atıkların kontrol ve yönetimi büyük önem taşımaktadır. Diğer

atıklara benzer biçimde bu atıklar da kontrol altına alınmaz ise çevresel ve ekonomik bakımından önemli zararların doğmasına sebep olacaktır (Öztürk, 2005).

İnşaat atıkları genelde Bina, köprü, yol ve diğer alt ve üst yapıların inşası esnasında oluşan atıklardan ve bu yapıların tadilatı ve yıkımı sırasında veya doğal bir afet sonucunda ortaya çıkan atıklardan meydana gelmektedir. Bu alandan elde edilen geri kazanılan ürünler, Tablo 2,1’de gösterildiği gibi doğal malzemeler ile karıştırılarak veya ayrı olarak, yapı inşaatlarında kullanılmaktadır.

Tablo 2.1. İnşaat ve yıkıntı atıklarının kullanım alanları (Öztürk, 2005)

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

İnşaat atıklarının büyük bir kısmı geri dönüştürülerek yeniden kullanılabilir niteliktedir. Doğal kaynakların korunmasına yardımcı olacak bu devrimsel çalışmalar ülke adına yeni istihdam alanları da sağlayarak tüm dünyada öncelikli politika olarak benimsenen “sürdürülebilir kalkınma” yaklaşımında en önemli rolü oynayacaktır (Altun, 2014).

1999 yılında AB komisyonu tarafından hazırlanan raporda, 350 milyon nüfusa sahip üye ülkelerinden 15’inde her yıl ortalama 180 milyon ton inşaat ve yıkıntı atığı oluşturulduğu Tablo 2.1.’de görülmektedir. Bu atıkların %28’i geri kazanılmakta, %78’i depolanmaktadır. Almanya, İngiltere, İtalya, Fransa ve İspanya’da oluşan inşaat ve yıkıntı atıkların miktarı AB üye ülkelerinde oluşan toplam atık miktarının %80’i

civarındadır. Hollanda, Belçika ve Danimarka ise atıkların geri kazanımında önde giden ülkelerdendir (Ölmez ve Yıldız, 2008).

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

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

Gelişmiş ülkelerde, inşaat ve yıkım atıkların geri kazanılması amacıyla farklı politikalar uygulanmaktadır. ABD'nin 44 eyaletinde inşaatlarda geri dönüşüm agregası kullanmak, zorunlu hale getirilmiştir. Fransa'da bir inşaat şirketi, şantiyedeki atıkların yönetimi ve geri kazanımını için işçilere özel eğitimler verilmiş ve bu sistemi 15 inşaatta uygulamıştır. Bu uygulamalar sonucunda oluşan atık miktarı 3 kat, atık depolama masrafı ise %50 oranında azalmıştır (Kılıç, 2012).

Türkiye’de ise, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yürüttüğü politikalar ve teşvikler ile geri kazanım alanında ilerleme sağlamak amaçlanmıştır. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından envanter ve planlama faaliyetleri, standartların geliştirilmesi, teknolojik altyapının ve yerel yönetimlerin güçlendirilmesi, eğitim ve rehberlik faaliyetleri, lisanslandırma vb. Konular ile ilgili çalışmalar hız kazanmıştır (Köse ve ark., 2007). Ayrıca “Sıfır Atık” sloganıyla hareket eden Çevre ve Şehircilik Bakanlığı tarafından çevreye zarar vermeden atıkların tekrar ekonomiye geri kazandırılması amacı ile kurulacak olan tesislere arazi tahsisi, KDV muafiyeti, vergi indirimi, SGK prim desteği vb. Teşvikler verilmesi planlanmaktadır (Kılıç, 2012).

Şekil 2.1.’de Türkiye Çevre ve Şehircilik Bakanlığı’nın yaptıkları uygulamalar neticesinde “İstanbul İçin İnşaat ve Yıkıntı Atıkları Yönetim Planı” kapsamında kurulan İstaç Tuzla - Şekerpınar Tesisi görülmektedir. Bu tesis, büyük çaptaki malzemeler ile ince malzemeleri ayırabilecek özellikte tasarlanmış, böylelikle inşaat ve yıkıntı atığı ile toprak malzemeleri birbirinden ayırabilmektedir. Tesise gelen malzemeler yükleyici makine yardımı ile ön eleğe yüklenir, bantlar sayesinde iri malzemeler kırıcıya, istenmeyen malzemeler de yan bantlara aktarılır. İkinci aşamada; ön elekten gelen malzemelerin üzerindeki manyetik bant sayesinde donatılar ayrılarak; granit, beton, asfalt, tuğla gibi kalan malzemeler istenen boyutta küçük parçalara öğütülür. Daha sonra ikinci bir elek ile belirlenen sınırlar arasındaki malzemelere ayrılarak yeniden kullanılmak amacıyla depolanır (Ölmez ve Yıldız, 2008).



Şekil 2.1. İstaç Tuzla-Şekerpınar geri dönüşüm tesisi

2.1.3. Geri dönüşüm agregaları (GDA)

GDA'ları ile üretilen betonların kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, bu agregaların betonun fiziksel ve mekanik özelliklerine etkilerini incelemeyen önce özelliklerinin anlaşılması gerekmektedir. Bu kapsamda betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini etki eden faktörlerden başlıca geri dönüşüm agregaların özelliklerinden yoğunluk, aşınma kaybı ve su emme oranları araştırılmıştır.

Yoğunluk

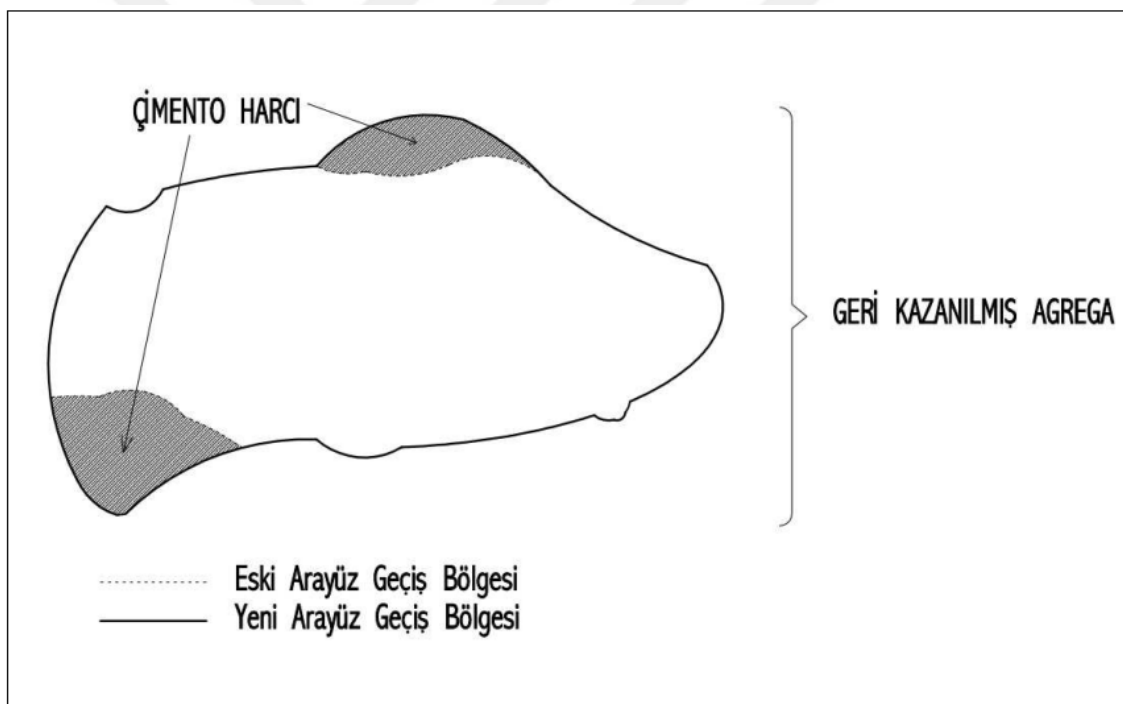
(Wagih ve ark., 2013) tarafından yapılan çalışmada, farklı betonlardan elde edilen GDA'ların yoğunlukları ortalama 2,30 g/cm³ olarak kaydedilmiş olup, doğal agregalar ile kıyaslandığında daha düşük yoğunluk değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi GDA'nın sahip oldukları yüksek poroziteden dolayı kaynaklandığı belirtilmiştir. (Matias ve ark., 2013) ile (Etxeberria ve ark., 2007)'nin yaptıkları çalışmalar sonucunda GDA yoğunlukları, sırasıyla 2,35 g/cm³ ve 2,43 g/cm³ olarak belirlenmiştir. (Topgül, 2016)'da yaptığı çalışmada kullandıkları GDA'ların yoğunluk değerleri bunlara benzer sonuçlar elde etmiştir.

Aşınma dayanımı

GDA'larının ASTM C33' standardına göre beton karışımında kullanılabilmesi için Los Angeles aşınma katsayısının %50'den, yol yapımında ise %40'dan fazla olmaması gerekmektedir (Anonymous, 2008). Yapılan deneyler sonucunda GDA'larının aşınma kayıplarının doğal kaynaklı agregalara göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Ancak bu değer beton karışımında kullanılacak maksimum değerden daha fazla olmadığı belirlenmiştir. (Kılıç, 2006) yaptığı çalışmada, 500 devir sonunda GDA'larının aşınma oranı (4-8 mm) çapında %26,5, (8-16 mm) çapında ise %23,0 olarak kaydedilmiştir. (Köken ve ark., 2008) Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği başlığı altında yaptıkları çalışmada geri kazanılmış iri agregaların aşınma oranı %31,72 olarak belirlenmiştir.

Su emme

GDA'larının su emme oranı, normal agregalara göre çok daha fazladır. GDA'larının üzerindeki çimento hamurunun neden olduğu düşünülen yüksek su emme oranları %3,0 ile %12,0 arasında değişirken, doğal agregaların su emme oranları %0,5 ile %1, arasında değişmektedir (Rao ve ark., 2007). (Sefidehkhan ve Şimşek, 2018)'de yaptıkları araştırmada, su emme oranları ince agregada %4,60, ince çakılda %4,19 ve iri çakılda %4,80 olarak belirlenmiştir. (Tam ve ark., 2008) yaptıkları çalışmada, dane çapı 10 mm olan GDA'ların su emme oranlarını 10 farklı numune üzerinde deneyler gerçekleştirilmiş ve en yüksek su emme oranı %8,74 olarak, en düşük su emme oranı ise %5,20 olarak tespit edilmiştir. Şekil 2.2.'de geri dönüşüm agregaların daha çok su emmesine sebep olan, agrağa üzerindeki çimento harcı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Geri dönüşüm agregasının yapısındaki çimento harcı (Xiao ve ark., 2012)

2.1.4. GDA'leri ile üretilen betonların özellikleri

Beton; belirli oranda ince ve iri agregaların, çimento, su ve gerekli durumlarda katkı maddelerin homojen bir şekilde karıştırıldıktan sonra elde edilen karışımdır. Bu karışımın başlangıçtaki kıvamı plastik olup zamanla çimentonun su ile hidrasyonu sebebi ile katılaştıran kompozit bir yapı malzemesidir. Betonun taze halde yeterli

işlenebilirlikte olması, 28 gün sonra hedef dayanıma ulaşması, servis ömrü boyunca dış etkenlere karşı gerekli dayanıklılığa sahip olması ve hacminin sabit kalması beklenmektedir (Postacıoğlu, 1987).

Betonun hacimca %70-75 oranını agregalar oluşturmaktadır. Beton üretiminde kullanılan agregaların, tane dağılımı, tane şekli, maksimum tane çapı, aşınmaya karşı dayanımı, yüzey dokusu, agregalardaki zararlı ve inorganik maddeler, dona karşı direnci, su emme kapasitesi, yoğunluğu ve bunlara benzer özellikleri, üretilen betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini etkilemektedir. Beton karışımındaki çimento hamuru zaman ile içindeki suyunu kaybedince kuruyarak büzölmeye başlayacaktır. Agregalar, beton içinde büzölme yapmadan betonun hacim değişikliğini, dolayısıyla çatlakların daha fazla olmasını engellemektedir (Postacıoğlu, 1987).

Çalışmanın bu bölümünde geri dönüşüm agregaları kullanılarak üretilen betonların fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır.

Tane dağılımı ve Yoğunluk

GDA'ların tane dağılımı, betonun işlenebilirlik, dayanım, sıkıştırma, geçirimsizlik ve dayanıklılık gibi birçok özelliğini doğrudan etkilemektedir. Uygun bir tane boyutu dağılımı, agrega tanelerinin üniform olarak dağıldığını göstermekte ve bu da taneler arasında daha iyi bir etkileşim yaratarak daha verimli bir sıkışma ve mekanik dayanım sağlar (Martín-Morales ve ark., 2011). Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde GDA'larının geleneksel beton yapımında kullanılan kırma taş agregalar ile benzer tane şekillerine sahiptir. Ayrıca hem iri, hem ince GDA'ların beton üretiminde kullanılabilmesi için gerekli şartname gereksinimlerini sağlamaktadırlar (Rao ve ark., 2007).

Bölüm 1.2.3.'te anlatılan GDA'larının özellikleri kapsamında belirtilen nedenlerden dolayı GDA'ları kullanılarak üretilen betonların yoğunlukları, doğal agregalardan elde edilen betonların yoğunluklarına göre daha azdır (Sofyanlı, 2015).

Cökme ve işlenebilirlik

GDA'lı betonların işlenebilirliğinin, yüksek oranda su emdikleri için, doğal agregalı betona göre çok daha düşük olduğu ve GDA'larının ikame oranının artmasıyla, özellikle %50'nin üstüne çıkıldığında, işlenebilirliğin giderek düştüğü birçok

araştırmacı tarafından deneyler yapılarak ispat edilmiştir. İşlenebilirliği arttırmak için, GDA'larının nemlendirilerek kullanılması önerilmiştir (De Oliveira ve Vazquez, 1996).

Uçucu kül ve yüksek fırın cürufunun GDA'lı betona etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada; uçucu külün işlenebilirlik üzerinde daha bariz bir gelişme yarattığı ve daha kısa süreli bir vibrasyona ihtiyaç duyulduğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak GDA'lı serilerin, doğal agregalı serilerle yakın çökme değerleri verdiği görülmüştür. Çökme miktarının, GDA'larının daha pürüzlü olan yüzey yapısı ve daha açılı olan tane şeklinden kaynaklı olarak, daha düşük olması beklenmesine rağmen oluşan GDA'larının doygun kuru yüzey durumunda kullanılması ile kompanse edildiği düşünülmektedir (Berndt, 2009). Yapılan bir diğer çalışmada; mineral katkılardan olan silis dumanı ve metakaolinin taze betonun çökme değerini düşürdüğü, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu katkılarının çökme değerini yükselttiği belirlenmiştir (De Oliveira ve Vazquez, 1996).

Basınç dayanımı

GDA'larının beton üretiminde kullanılmasının, GDA'larının sahip olduğu yüksek su emme oranı nedeniyle işlenebilirliğinin yeterli olmadığı gibi sebeplerden dolayı, betonun basınç dayanımını düşürdüğü, birçok çalışmada ortaya konmuştur.

Literatürde bugüne kadar yapılan çalışmalar incelendiğinde, aynı oranda agrega kullanımı ve su/çimento oranı için, GDA'larının iri agrega oranının %30'dan daha fazla olduğu karışımlarda beton basınç dayanımı dikkat çekici ölçüde azaldığı görülmektedir. Benzer şekilde, GDA'larının oranı beton karışımında %30'un altında kaldığı takdirde, GDA'larının ikame yüzdesinin basınç dayanımına çok da etkisi olmadığı gözlemlenmiştir (Arıoğlu, 1996).

Bir başka çalışmada beton sınıfı C20 olan atık betonlardan elde edilen agregalar %0, %50 ve %100 oranlarında kırma taş agregalar ile ikame edilerek betonlar üretilmiştir. %100 GDA'larında üretilen betonların 7. Gündeki basınç dayanımı kırma taş agregası ile üretilen seriden %34, 28. Gündeki basınç dayanımı %33 daha az çıkmıştır. GDA'larının %50' oranında kullanılan seride ise basınç dayanımı kırma taş agregalı seriye göre sırayla %20 ve %18 daha düşük çıkmıştır (Köken ve ark., 2008).

(Topgül, 2016)'da yaptığı çalışmada GDA'larından üretilen betonlarda mineral katkı olarak öğütülmüş yüksek fırın cürufu yüzde 0, 15 ve 30 oranlarında kullanmıştır. Yüksek fırın cürufunun oranının artışı ile betonun basınç dayanımı, hacimca su emme

oranı, yarmada çekme ve ultrases geçiş hızı gibi özelliklerine, erken yaşlarda (7.gün) olumsuz etki yaratmış olsa da 28. ve 90. Günlerde dikkate değer bir katkı sağladığı görülmüştür.

Silis dumanının GDA'lı betonlarda yüzde 0, 5 ve 10 oranlarında kullanılmış başka bir çalışmada, silis dumanı oranı arttıkça, betonun basınç ve yarmada çekme dayanımı 90 günün sonunda artış göstermiştir. %10 oranında silis dumanı kullanılan farklı serilerde basınç dayanımında en fazla %21, en az %12'lik bir artış kaydedilmiştir (Sofyanlı, 2015).

Aderans dayanımı

Betonarme, beton ve çeliğin beraber çalışması ile meydana gelen kompozit bir yapı malzemesidir. Beton ile çelik arasında bulunan gerilme aktarımı, beton donatı aderans dayanımı ile ilgilidir. Beton ve çelik arasındaki sıyrılma direnci, daha çok kullanılmış çeliğin nervürsüz veya nervürlü olması ve çeliğin ankraj boyuna bağlı olsa da, betonun bileşenindeki agregaların tane şekli ve dağılımı, dolayısıyla betonun çekme dayanımının da etkisi bulunmaktadır.

GDA'ları kullanılarak üretilmiş betonlarla donatı aderansının araştırıldığı bir çalışmada; %100 kırma taş agregası ile üretilen kontrol betonun aderans dayanımı 12,9 MPa iken, tamamen geri dönüşüm agregası ile üretilen betonun aderans dayanımı 10,6 MPa olarak çıkmıştır. GDA'lı betonların verdiği en yüksek aderans dayanımı, 12,2 MPa değerinde %20 GDA'lı olarak üretilen seriye aittir. Üretilen betonlarda GDA'larının oranı arttıkça beton basınç dayanımında azalma kaydedilmiştir.

Farklı bir çalışmada Ø12 nervürlü donatı kullanılarak 10 cm kenetlenme boyu ile üretilen 108 adet 10/20 cm boyutunda silindir numunelerin 7, 28 ve 56 günlerinde çekme çıkarma deneyi yapılmıştır. 56 günün sonundaki en yüksek aderans dayanımı 12,7 MPa olarak iri agregası %100 GDA'sı ve çimento ağırlığının %60 oranında yüksek fırın cürufu kullanılmış seriye, en düşük dayanım ise iri agregası %25 GDA'sı ve %60 oranında yüksek fırın cürufu kullanılan seriye aittir (Tüfekçi, 2011).

2.2. Kaynak Araştırması

Yapılan literatür çalışmalarında bu konu ile ilgili bir çok çalışmaya rastlanmaktadır. Yapılmış olan çalışmalar geri dönüşüm agregaların beton üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Bazı araştırmacılar tarafından beton karışımına farklı katkı maddeler farklı oranlarda kullanılarak etkileri araştırılmıştır. Mineral katkı olarak en çok öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, uçucu kül ve silis dumanı, kimyasal katkılardan ise süper akışkanlaştırıcı ve su azaltıcı vb. Katkılar kullanılmıştır.

Köken ve ark. (2008) yaptıkları çalışmada, Konya İnşaat Mühendisleri Odası'ndan elde edilen 28 günlük silindir basınç dayanımları 20 MPa olan beton numune artıklarından üretilmiş agregaların beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Öğütülerek el edilen agrega örnekleri üzerinde birim ağırlık, özgül ağırlık ve su emme, aşınma direnci, donma- çözülme deneyleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmada TS EN 197-1' e uygun şekilde üretilmiş CEM II/B-M(P-L) 32,5 R tipi çimento kullanılmıştır. Üretilen betonlar üç farklı deney grubu olarak; birinci grup %100 geri dönüşüm agregası, ikinci grupta kum (0-4 mm), kırma taş agregası, iri agregalar ise, geri dönüşüm agregası, üçüncü grup karışımda ise %100'ü kırma taş agregası kullanılmıştır. Hazırlanan beton numuneleri üzerinde aynı yükleme hızında 7 ve 28 günlük olarak basınç ve yarmada çekme deneyleri gerçekleştirilmiştir. %100 GDA'sı kullanılan birinci grubun 7. ve 28. Günlerdeki basınç dayanımı, %100 kırma taş agregası ile üretilen üçüncü gruba göre sırasıyla %33 ve %34 daha az çıkmıştır. İri agregası GDA'larından üretilen ikinci gruptaki betonların basınç dayanımı, üçüncü gruba göre ortalama %18 daha düşük çıktığı görülmüştür. Çalışmada yapılan deneyler sonucunda; GDA'larının beton üretiminde kullanım oranının artması ile taze betonun işlenebilirliğinin azaldığı, beton basınç ve yarmada çekme mukavemetlerinin düştüğü tespit edilmiştir.

Demirel ve ark. (2015) tarafından erken yaştaki atık betonların GDA'sı olarak beton üretiminde kullanılabilirliğini araştırılmıştır. Çalışmada, kırma taş agregası ve 7 günlük C30 beton sınıflı atıklardan elde edilen GDA'sı kullanılmıştır. Bağlayıcı madde olarak CEM I 42.5 R tipi çimento ve uçucu kül kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 14 farklı beton serisinin her birinden 6 adet numune olmak üzere toplam 84 adet 100x200 mm boyutunda silindir şeklinde numuneler hazırlanmıştır. GDA'ları karışımda iri ve ince agrega olarak ağırlıkça % 0, 10, 20, 30, 40, 50 oranlarında kullanılmıştır. Çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ve çimento miktarının ağırlıkça %1.2 oranında

süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Hazırlanan numuneler üzerinde 28 ve 90 günlük basınç dayanımı ile, 28 günlük elasisite modülü deneyleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, GDA'larının, su emme oranı yüksek olduğu için taze betonların suya ihtiyacını artırdığı, GDA'larının iri agrega olarak kullanılan betonların basınç dayanımının, ince agrega olarak kullanılmış betonlara nazaran, daha yüksek çıktığı görülmüştür. Fakat genel bir değerlendirme yapılırsa GDA'larının beton üretiminde kullanılabilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Kılıç ve Kadayıfçı (2007) yaptıkları çalışmada mineral katkı olarak silis dumanının GDA'larından elde edilen betonların özellikleri üzerinde etkileri araştırılmıştır. Çalışmada kullanılan GDA'ları, Isparta-Merkez'de yıkılan bir binadan alınan atık betonlardan öğütülerek elde edilmiştir. Çalışma kapsamında, GDA'larının önce elek analizi, daha sonra 3 farklı beton serisi üzerinde (GDA-KTA Karışımı, GDA-KTA- Silis Dumanı Karışımı, GDA-KTA Silis Dumanı-Süper Akışkanlaştırıcı Karışımı) taze beton birim hacim ağırlık, taze beton kıvam, basınç dayanımı, ultrases geçiş hızı deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçlarından elde edilen bulgulara göre, ikinci gruptaki betonların, birim ağırlık değerleri % 2.49-5.39 oranında azaltılmıştır. Basınç dayanım değerlerinde 7. Gün için % 21-32 oranında, 28. Gün için % 10-19 oranında azalma kaydedilmiştir. Ultrases geçiş hızı deneyinde dalgaların hızı % 2-7 oranlarında yavaşlamıştır. Araştırma sonunda, GDA'ları kullanılarak üretilen betonlarda mineral katkı olarak silis dumanı dayanım artırıcı katkı olarak kullanılmaması önerilmiştir.

Dilbas ve Çakır (2015)'te kentsel dönüşüm sonucunda ortaya çıkan atık molozların agrega haline öğütülmüş ve silis dumanı ile beton içinde kullanımı üzerine bir araştırma yapmışlardır. Bu amaçla GDA'ları %0-30-40-70-100 oranlarında, silis dumanı ise %0-5-10 oranlarında beton karışımı içinde kullanılmıştır. Çalışmada; üç grup halinde toplam 15 beton serisi üretilmiştir. Betonların yoğunluk ve su emme kapasitesi gibi fiziksel özellikleri ve tek eksenli basınç, elasisite modülü ile yarmada çekme gibi mekanik özellikleri deneyler yapılarak araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre beton karışımında %30 GDA'sı ve %5 silis dumanı katkısı uygun karışım oranları olarak görülmüştür.

Dilbas ve Çakır (2018)'de ikinci çalışmasında GDA'larının mekanik öğütme yöntemi ile iyileştirilmesi üzerinde araştırılmış. Fiziksel özellikleri belirlenen GDA'ları, demir bilyeler ile öğütülerek iyileştirilmeye çalışılmıştır. TS EN 1097-6/AC (2006)'a uygun Los Angeles Aşındırma tamburu (100-200-300-400-500 devir) ve çelik bilyeler (0-2-5-7-10-12 adet) kullanılarak GDA'ları aşındırılmış ve GDA'larının üzerinde

yapışmış çimento hamur kalıntısı azaltılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda optimum mekanik iyileştirme, iri çakılda 500 devir/10 bilye ile %13,34 ağırlıkça su emme oranına sahip iyileştirilmemiş GDA'sından, %0,84 su emme kapasiteli GDA'sı elde edilmiştir. İnce çakılda da yine 500 devir/10 bilye ile %8,43 ağırlıkça su emme oranına sahip iyileştirilmemiş GDA'sından, %2,0 su emme kapasiteli GDA'sı elde edilmiştir. İyileştirilmiş GDA'sı kullanılarak (%0-20-40-60) 350 dozlu, s/ç oranı 0,50 olan S4 işlenebilirlik sınıfında beton numuneleri üretilerek taze ve sertleşmiş beton deneyleri yapılmıştır. Basınç dayanımı deney sonuçlarına göre; iyileştirilmemiş GDA'larının %20,%40 ve %60 oranlarında kullanıldığı betonların basınç dayanımı kontrol betona göre sırasıyla %16, %29, %37 oranlarında daha düşük çıkmıştır. Oysa aynı oranlarda iyileştirilmiş GDA'larının kullanıldığı betonların basınç dayanımı, kontrol beton ile benzer sonuçlar vermiştir. Aynı şekilde iyileştirilmiş GDA'ları ile üretilen betonların yoğunluk, su emme, basınç ve yarmada çekme dayanımlarında olumlu sonuçlar tespit edilmiştir.

Marie ve Quiasrawi (2012) yaptıkları çalışmada geleneksel beton üretiminde iri agrega yerine GDA'ların kullanılabilirliği araştırılmıştır. Öğütülerek elde edilen geri dönüşüm agregaları, doğal agregalarınkine benzer tane dağılımı elde etmek için hazırlanmış, dolayısıyla betonun özellikleri üzerinde tane dağılımının değişikliğinin olası etkisi minimum seviyeye indirilmiştir. Çalışmada 0,45-0,55 ve 0,65 olarak 3 farklı S/Ç oranı seçilmiştir. 100 mm uzunluğunda küp numuneler hazırlandıktan 28 gün sonra basınç deneylerine tabi tutulmuştur. Ayrıca 100x100x500 mm boyutunda prizma numuneleri hazırlanıp eğilmede çekme dayanımı deneyleri yapılmıştır. İri GDA'ları %25, %50, %75 ve %100 oranlarında doğal agregalar yerine karışım içerisinde kullanılmış, diğer bileşenler sabit tutulmuştur. Çalışma sonucunda GDA'ların iri agrega olarak beton üretiminde kullanılması; taze betonun işlenebilirliğinin azalmasına, basınç dayanımının çekme dayanımına kıyasla daha çok etkilediği ve azaldığı tespit edilmiş ve bu tür malzemelerin kullanılmadan önce ilave deneyler yapılmasını önermiştir.

Sefidehkan ve Şimşek (2018) yaptıkları çalışmada, GDA'ları ve KTA'ları üzerinde Elek analizi, Tane yoğunluğu, S emme oranı, Yassılık endeksi ve Parçalanma direnci deneyleri yapılmıştır. Taze betonların çökme (slump) ve birim ağırlığı, sertleşmiş betonlar üzerinde 28. ve 90. Günlerde basınç dayanımı, ıslanma kuruma ve donatı aderansı deneyleri yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda su emme oranı GDA'larında kum-ince çakıl-iri çakıl olarak sırasıyla % 4,60-4,19-4,80, kırma taş agregalarında ise 1,79-1,82-1,89 olarak gözlemlenmiştir. Basınç deneyinde 90 günün

sonunda en yüksek dayanım 35 MPa ile, ince agregası GDA'larından %40 ve 60 olarak kullanılmış seriye, en düşük dayanım ise 26 MPa ile iri agregası %100 GDA'larından kullanılan seriye aittir. Donatı aderans sonuçları incelendiğinde GDA'ların oranının artışı ile aderans dayanımı düşmüştür. Sonuç olarak atık betonların GDA'sı olarak betonda kullanılması atık malzemeye değer kattığı gibi çevre kirliliğinin de azalmasına sebep olacaktır.

Topgül (2016) Öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu katkısı ile GDA'larının beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada; GDA'larının ince, iri ve her ikisinin aynı seride KTA'ları ile yer değiştirilerek beton serileri üretilmiş ve 7, 28 ve 90 günlerde deneyler yapılmıştır. Beton üretiminde öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu %0, %15 ve %30 oranlarında çimento ile ilave edilmiştir. Deneyler sonucunda GDA'larının kullanımı tüm numunelerde su emme oranını artırmıştır. Fakat yüksek fırın cürufunun kullanımı ile bu değer azalmıştır. 90 günün sonunda %30 yüksek fırın cürufu kullanılmış ve doğal agregalı serinin basınç dayanımı 51,14 MPa iken, yine %30 yüksek fırın cürufu ve iri agregası GDA'larından kullanılan serinin basınç dayanımı 59,27 olarak bu çalışmadaki en yüksek değeri vermiştir.

Sofyanlı (2015) yaptığı çalışmada atık haldeki betonlar agrega haline öğütülerek doğal agrega ile beton üretiminde %0-100 oranlarında yer değiştirilmiş ve hazırlanan numunelerde 7. 28. ve 90. Günlerde deneyler yapılmıştır. Ayrıca beton karışımına mineral katkı olarak silis dumanı %0, %5 ve %10 oranlarında ilave edilmiştir. Beton üretimine başlamadan önce agregalarda özgül ağırlık, su emme, tane dağılımı ve Los Angeles aşınma deneyleri yapılmıştır. Taze betonlar üzerine birim ağırlık, işlenebilirlik ve hava içeriği deneyleri, sertleşmiş betonda yoğunluk, basınç ve yarmada çekme dayanımı, ultrases dalga hızı, kılcal su emme ve hacimce su emme deneyleri araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre; 90 günün sonunda, en hızlı ultrases dalga hızı 4,7 μ sn ile doğal agregalı ve %5 ile %10 oranında silis dumanlı, iri agregası GDA'lardan ile %100 GDA'larından, %5 oranında silis dumanı kullanılmış serilerine aittir. En yavaş dalga hızı 5,1 μ sn ile %100 GDA'lı ve %0 oranında silis dumanı kullanılmış seriye aittir. Basınç dayanımında en yüksek değeri 59,10 MPa ile ince agregası GDA'larından ve %10 oranında silis dumanı kullanılmış beton serisi vermiştir. Aynı oranda silis dumanlı %100 kırma taş agregası ile üretilen serinin basınç dayanımı 7,29 MPa fark ile daha düşük çıktığı dikkat çekmektedir. Yarmada çekme sonuçlarında en yüksek dayanımı 4,39 MPa olarak ince agregası GDA'larından ve %10 oranında silis dumanı kullanılmış beton serisi vermiştir.

Taş ve ark. (2013) yaptıkları çalışmada, endüstriyel demir talaşı atığının beton basınç dayanımı ve yüzey sertliği üzerinde etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla, TS 802 ye göre C25 ve C30 beton sınıflı kontrol beton (katkısız beton) numuneleri ile demir talaşı atığından oluşan dört deney grubu hazırlanmıştır. Demir talaşı atığı, şahit betonların 0–2 mm aralığındaki agrega ağırlığının %50 oranında azaltılması ve yerine atık demir talaşının ikame edilmesi ile hazırlanmıştır. 15x15x15 cm Küp şeklindeki 24 adet numune üzerine, 7 ve 28 günde, basınç dayanımı ve yüzey sertliği deneylerine tabii tutulmuştur. Yapılan çalışmaların sonuçlarına göre, demir talaşı atığının, sertleşmiş beton yoğunluklarını, C25 betonda %7,65, C30 betonda % 6,43 oranında artırmıştır. Sertleşmiş beton yüzey sertliklerine bağlı basınç dayanımını C25 betonu için %10,72, C30 betonu için %3,6, beton basınç dayanım değerlerini C25 betonu için %9,8, C30 betonu için %7,2 oranında arttırdığı belirlenmiştir. Bu verilere göre endüstriyel demir talaşı atığının, 0-2 mm aralığındaki agrega ağırlığının %50'si oranında yapı malzemesi olarak beton üretiminde kullanılabileceği düşünülmektedir.

Çakıroğlu ve ark. (2011) atık teneke ambalajlarının beton üretiminde kullanılmasının betonun basınç dayanımına etkilerinin incelenmesi için deneysel bir çalışma yapılmıştır. Atık teneke ambalajları teneke olarak fabrikadan temin edilmiş ve boy/en oranı $l/e=(40/5)$ mm, $(50/5)$ mm, $(60/5)$ mm boyutlarında kesilmiştir. Beton numunelerinin basınç deneyi için küp numuneler atık teneke katkısız ve katkılı olarak iki ana seri halinde üretilmiştir. Atık teneke katkılı seri kendi içinde $l/e=(40/5)$ mm, $(50/5)$ mm, $(60/5)$ mm olmak üzere üç gruba ayrılmış ve her bir grup için atık teneke kullanım oranı sırası ile 30 kg/m^3 , 40 kg/m^3 , 60 kg/m^3 olacak şekilde beton karışımına ikame edilerek kullanılmıştır. Yapılan deneysel çalışmada atık teneke ambalajlarının beton içerisine karıştırılmasının beton basınç dayanımına olan etkileri incelenmeye çalışılmıştır. Yapılan deneyler sonuçları karşılaştırıldığında, en yüksek basınç dayanımı, atık teneke katkılı serisinin $40/5$ mm boyutunda ve 40 kg/m^3 oranında kullanılan gruba ait olduğu ve kontrol betonundan 6 MPa daha yüksek olduğu görülmüştür. Diğer grupların beton basınç dayanımına katkısının olmadığı belirlenmiştir. Son olarak yapılan deneyler sonucunda beton karışımına atık teneke ambalajının belirli boyut ve miktarda ilave edildiği takdirde olumlu sonuçlar alındığı tespit edilmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada geri dönüşüm agregası olarak Analiz Müşavirlik Yapı Zemin Laboratuvar Mühendislik İnşaat Taahhüt Limited Şirketi tarafından C30 beton sınıflı bir yapıdan alınan numuneler 28 günlük basınç deneyinden sonra kırılıp konkasör yardımı ile agregaya haline getirilerek kullanılmıştır. Doğal agregaya malzemesi olarak ise kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Beton yapımında bağlayıcı malzeme olarak portland çimentosu (CEM I 42,5R) ve doğal kaynak suyu kullanılmıştır. Mineral katkı maddesi olarak silis dumanı, kimyasal katkı maddesi olarak ise hiper akışkanlaştırıcı ve yüksek oranda su azaltıcı özellik gösteren katkı maddesi kullanılmıştır. Bu çalışmada ayrıca atık teneke ambalajları beton ile karıştırılarak betonun mekanik özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Atık teneke ambalajları boy/en oranı $l/e=70mm/5mm$ olarak kestirilip $40 kg/m^3$ şeklinde karışımlarda kullanılmıştır.

3.1.1. Eski betonların basınç dayanımları

Bu çalışmada geri dönüşüm agregası olarak dönüştürülen betonlar C30/37 sınıflı bir yapıdan Analiz Müş. Yapı Zemin Lab. Müh. İnş. Taah. Ltd. Şti. tarafından basınç dayanım kontrolü için alınmış ve 28 günlük basınç deneyinden sonra elde edilmiştir. Şekil 3.1'de gösterilen $15x15x15 cm^3$ numunelerin ortalama basınç dayanımları Tablo 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Geri dönüşüm agregası haline dönüştürülmek üzere alınan kup numuneler

Tablo 3.1. Geri dönüşüm agregaların beton basınç dayanımları

Dökülen beton yeri	Numene sayısı	Basınç dayanımı ortalaması (MPa)
Temel	27	39,16
Bodrum perde	12	41,34
Bodrum Kat	24	40,58
Zemin Kat	27	39,33
1. Kat	24	39,20

3.1.2. Agregalar

Bu çalışmada kullanılan kırma taş ve geri dönüşüm agregaları Şekil 3.2.'de gösterildiği gibi 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm olarak üç grup halinde eleklerden geçilerek agrega deneyleri ve beton yapımı için hazır hale getirilmiştir. Kırma taş agregaları Konya'da bulunan Erdiñç Hazır Beton ve Mamulleri-Nakliyat Ltd. Şti.'inden temin edilmiştir. Geri dönüşüm agregası olarak yukarıda değinildiği gibi Yapı Laboratuvarı Firmasında alınan numunelerin 28 günlük basınç deneyinden sonra geri dönüştürülerek kullanılmıştır. 15x15x15 cm³ olarak alınana numuneler önce balyoz darbeleri ile küçük parçalar haline getirilmiştir. Betonları istenilen boyutlara getirebilmek için konkasör cihazının çeneleri daralttırılmış ve beton parçaları birkaç kez cihazdan geçirilmiştir. Daha sonra elekler yardımı ile kum, ince çakıl ve iri çakıl olarak üç gruba ayrılmıştır.



Şekil 3.2. Geri dönüşüm agregaların elekler yardımı ile gruplara ayrılması

3.1.3. Çimento

Bu çalışmada bağlayıcı madde olarak TS EN 197-1'e uygun olarak üretilen CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır.

Tablo 3.2. Çimentonun Teknik Özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler		
Bileşim	Analiz Sonuçları (%)	Fiziksel Deneyler	Deney Sonuçları	
		Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3,14	
		Birim Ağırlık (g/cm ³)	1,1	
CaO	63.48	Priz Başlangıç	2 saat 9 dak.	
SiO ₂	20.12	Priz Son	3 saat 11 dak.	
Al ₂ O ₃	4.92	Hacim Sabitliği	1 mm	
Fe ₂ O ₃	3.57	Özgül Yüzey (cm ² /g)	3942	
MgO	1.23	Mekanik Özellikler		
SO ₃	2.88	Basınç Dayanımı (MPa)		
Cl	0.0425	2.gün	7. Gün	28. Gün
Na ₂ O/K ₂ O	0.24/0.89	29,6	45,8	56,1
Kükürt	-			
Kızdırma Kaybı	1.72			
Çözülmeyen Kalıntı	0.92			

3.1.4. Katkı malzemeleri

3.1.4.1. Mineral katkı malzemesi

Bu çalışma kapsamında hazırlanan bütün beton serilerinde mineral katkı malzemesi olarak Antalya'da bulunan ETİ ELEKTROMETALURJİ ANONİM ŞİRKET'inden temin edilen silis dumanı kullanılmıştır. Mineral katkı malzemesi miktarı bütün serilerde çimento ağırlığının %10'u olarak sabit tutulmuştur. Kullanılan silis dumanının firmasından alınan teknik özellikleri Tablo 3.3.'te verilmiştir.

Tablo 3.3. Silis dumanı teknik özellikleri

Özellik	Ölçüm Sonuçları (%)	TS EN 13263-1 İstenen Değerler	Deney Metodu
Kızdırma Kaybı	1,68	Maks. 4,0	TS ION 196-2/ N 196-2
Sio2	78,81	Sınıf 1 Min. 85,0 Sınıf 2 Min. 80,0	ICP-OES
SO3	0,83	Maks. 2,0	Spektrofotometre
Cl	0,0301	Maks. 0,3	TS EN 196-2/ EN 196-2 (f itrimctrik)
Serbest cao	0,01	Maks. 1,0	TS EN 451-1/ EN 451-1
Bulamaçtaki Kuru Kutle İçeriği	99,66	Beyan Değeri ± maks. 2,0	TS EN 13263-1
Na2O	0,55	-	TS EN 196-2/ EN 196-2
K2O	2,58	-	TS EN 196-2/ EN 196-2
Na2O Eşd.Cins. Top. Alkali	2,25	-	Hesaplama
28 Günlük Aktivite Endeksi	128	Min. 100	TS EN 13263-1

3.1.4.2. Kimyasal katkı malzemesi

Üretilen beton serilerinde çökme değeri S4 kıvam sınıfı olarak hedef alınmıştır. Bu kıvamı sağlamak amacı ile bütün karışımlarda çimento ağırlığının %1,2 oranında POLYDOS TN 343 adlı TS EN 934-2'ye uygun kahve rengi H-2723/N kodlu hiper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi kullanılmıştır. Kullanılan kimyasal katkının teknik özellikleri Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Kimyasal katkının teknik özellikleri

Kimyasal İçeriği	Polikarboksilat esaslı
Görünüm-Renk	Kahverengi sıvı
Yoğunluk	1.045 ± 0.02 kg/l.
PH Değeri	4.5 ± 1
Klor İçeriği	< % 0,1
Alkali İçeriği	< % 4
Donma Noktası	-4 °c
Korozyon Davranışı	Sadece TS EN 934-1 Ek A.1'de verilen bileşenleri içerir.
Tehlikeli Maddeler	Tamamen Ek ZA'ye uygundur.

+20°c'de, %50 bağıl nem koşullarında elde edilmiştir.

3.1.5. Karışım suyu

Üretilen betonlarda karışım suyu olarak Konya ili şehir şebeke suyu kullanılmıştır.

3.1.6. Atık teneke

Bu çalışmadaki asıl amaç atıkların tekrar kullanılması ve mümkün ise yeni kullanım alanlarının bulunması olarak söylenebilir. Bu amaçla atık malzeme olarak kullanılan teneke ambalajları KONTENSAN METAL AMBALAJ ANONİM ŞİRKETİ'nden Şekil 3.3'te görüldüğü gibi temin edilmiştir. Teneke ambalajları kalay/krom kaplı çelik ürünler olup; soğuk haddelenmiş, düşük karbonlu, yumuşak yassı çeliğin elektroliz yöntemiyle krom veya çeşitli ağırlıklarda kalay kaplanması ile üretilen ve kalınlıkları 0,12-0,60 mm aralığında değişen rulo veya sac şeklindedir. Düşük karbon oranı ve kalaylı yüzey, çelik levhanın çelik sac ile teneke kavramını ayıran bir özelliğdir. Teneke kalaylandıktan sonra hava ile temas etmesi sonucu kalay oksit filmi oluşur. Alt tabakaları dış etkenlere karşı korur (Çakıroğlu ve ark., 2011).



Şekil 3.3. Kontensan A. Ş. Alınan atık teneke ambalajlarının

Foodgrade, kalay ile demirin birbirlerine difüzyonu ile oluşan tabakadır. Isıl işlem gerçekleştirildikten sonra teneke parlaklık kazanır. Foodgrade tabakası tenekeyi korozyona karşı korumak için oldukça önemli. Teneke kalitesini belirleyen özelliklerden biri de, tenekelerin sertlik derecesidir. T harfi ile gösterilen "temper

derecesi", tenekeye şekil ve form verebilme kolaylığının ölçüsüdür. T1 en yumuşak, en kolay form kazanabilen tenekelerdir. T2 en sert tenekedir, şekil verilmesi zordur. Standart kutu gövde ve kapağı T3 derecesinde üretilir . Bu deneysel çalışmada korozyona karşı dayanıklı olması sebebiyle kalay kaplamalı ve farklı sertlik derecelerinde teneke ambalajlar kullanılmıştır.

Üretilen betonlarda kullanılan atık teneke ambalajları T1 derecesinde olup kalınlıkları 0,12 mm, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi boy/en oranı $l/e=70\text{mm}/5\text{mm}$ olarak kestirilmiş ve 40 kg/m^3 oranında karışımlarda kullanılmıştır.



Şekil 3.4. Atık teneke ambalajlarının 70 / 5 mm olarak kesilmiş hali

3.1.7. Üretilen Beton serilerinin tasarım planı

Beton tasarımında agrega oranları, %41 kum (0-4 mm), %36,42 ince çakıl (4-11,2 mm) ve %22,58 iri çakıl (11,2-22,4) olarak kullanılmış, s/ç oranı 0,50 olarak belirlenmiştir. Karışımlarda çimentonun %10'u azaltılarak yerine silis dumanı ikame edilmiştir. Hiper akışkanlaştırıcı ise çimento ağırlığının %1.2 oranında karışım suyuna karıştırılarak kullanılmıştır.

Yukarıda bahsedilen materyaller ile aşağıdaki beton örnekleri hazırlanmıştır.

- %100 doğal agregalı (N)
- %100 doğal agregalı (atık teneke katkılı) (NT)
- İnce agregası %100 geri dönüşüm olan (R1)
- İnce agregası %100 geri dönüşüm olan (atık teneke katkılı) (R1T)
- İri agregası %100 geri dönüşüm olan (R2)

- İri agregası %100 geri dönüşüm olan (atık teneke katkı) (R2T)
- %100 geri dönüşüm agregalı (R)
- %100 geri dönüşüm agregalı (atık teneke katkı) (RT)

Karışımlarda kullanılan agregaların hacimce miktarı Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Beton karışımlarındaki agregaların hacimce miktarı

Karışım Kodu	GDA Miktarı (%)			KTA Miktarı (%)		
	0-4 mm	4-11,2 mm	11,2-22,4 mm	0-4 mm	4-11,2 mm	11,2-22,4 mm
N	0	0	0	41	36,42	22,58
NT	0	0	0	41	36,42	22,58
R1	41	0	0	0	36,42	22,58
R1T	41	0	0	0	36,42	22,58
R2	0	36,42	22,58	41	0	0
R2T	0	36,42	22,58	41	0	0
R	41	36,42	22,58	0	0	0
RT	41	36,42	22,58	0	0	0

Yukarıda açıklanan beton serilerinin her birinden 15x15x15 cm küp şeklinde 7., 28. ve 90. Günlerdeki basınç dayanımları ve çekip çıkarma deneyi için 12'şer adet olmak üzere toplam 96 adet numune üretilmiştir.

3.2. Yöntem

Bu çalışmada geri dönüşüm agregası olarak Konya'da bulunan Analiz Müş. Yapı Zemin Lab. Müh. İnş. Taah. Ltd. Şti. tarafından C30 beton sınıflı bir yapıdan alınan numuneler 28 günlük basınç deneyinden sonra balyoz darbeleri ile küçük parçalara kırılıp konkasör yardımı ile agregaya haline getirilmiştir. Daha sonra elekler yardımı ile 0-4 mm, 4-11,2 mm ve 11,2-22,4 mm gruplarına ayrılmıştır. Kıırma taş agregaları Konya'da bulunan Erdinç Hazır Beton ve Mamulleri-Nakliyat Ltd. Şti.'nden temin edilmiştir.

Agregalardan TS EN 706 12620+A1'e göre uygun şekilde deneyler yapmak üzere numuneler alınmıştır. Agregaya deneyleri olarak Agregaya Tane Büyüklüğü Dağılım Deneyi, Birim Ağırlık, Özgül Ağırlık, Su Emme Oranı Tayini ve Aşınma (Los Angeles) deneyleri yapılmıştır. Taze beton için Kıvım Deneyi (Slump deneyi), sertleşmiş beton numuneleri üzerine ise yoğunluk, Basınç dayanımı ve çekip çıkarma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

3.2.1. Agregaya deneyleri

3.2.1.1. Tane büyüklüğü dağılım deneyi

Öğütülen geri dönüşüm agregaları elenip kum, ince çakıl ve iri çakıl olarak üç gruba ayrıldıktan sonra elek analizi yapılmak üzere TS 3530 EN 933-1 e uygun şekilde toplam 10,4 kg yığın halinde hazırlanmıştır. Daha sonra çeyrekleme metodu ile 2,6 kg ayrılıp Şekil 3.5'teki gibi 0,063 mm elekten geçen su berraklaşana kadar yıkanmıştır.



Şekil 3.5. Agregaya numunesinin ele analiz deneyi için 0,063 mm elek ile yıkanması

Yıkandıktan sonra etüvde 110°C sabit sıcaklığa gelinceye kadar kurutulup Şekil 3.6'da gösterilen elek sarsma makinesi yardımı ile elek analiz gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçlarına göre %41 kum (0-4 mm), %36,42 ince çakıl (4-11,2 mm) ve %22,58 iri çakıl (11,2-22,4) olarak bulunmuştur. Elek çapları ve geçen yüzdelere Tablo 3.6.'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Elek analizi sarsma makinesi

Tablo 3.6. Elek analiz sonuçları

Elek Çapı (mm)	C16 (% geçen)	B1 (% geçen)	A1 (% geçen)	Karışım (% geçen)
22,4	100	98	98	100,00
16	99	92	85	95,44
11,2	90	79	68	74,21
8	77	63	48	58,87
4	64	49	33	41,20
2	52	37	22	28,14
1	41	28	15	15,31
0,5	30	20	10	9,87
0,25	20	13	6	5,36
0	0	0	0	0

3.2.1.2. Birim hacim ağırlık tayini

Agregaların birim hacim ağırlıkları gevşek ve sıkışık olarak TS EN 1097-3'e uygun biçimde belirlenmiştir. 5 litre hacmindeki kabın önce kendi ağırlığı belirlenip daha sonra gevşek birim ağırlık için agregalar yavaşça doldurulup tartılmıştır. Sıkışık birim ağırlık tayini, Şekil 3.7'den görüldüğü gibi deney kabı 3 seferde, her sefer 25 kez şişlenerek gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler kum, ince çakıl ve iri çakıl için ayrı ayrı ve

sonuçların daha güvenilir olması açısından 3'er kez yapılmış, sonuç olarak çıkan değerlerin ortalaması dikkate alınmıştır.



Şekil 3.7. Sıkışık birim hacim ağırlık deneyin yapılışı

3.2.1.3. Özgül ağırlık ve su emme oranı tayini

Agregaların özgül ağırlık ve su emme oranlarının tayini için TS EN 1097-6'ye uygun olarak 4mm elekten geçen ve üstünde kalan agregalar için ayrı ayrı 2'şer kez deneyler gerçekleştirilmiş ve çıkan değerlerin ortalaması sonuç olarak alınmıştır. İnce agrega için piknometre, iri agrega için tel sepet kullanılmıştır.

İri agregalar için her biri 2 kg şeklinde 2 adet numune, Şekil 3.8'de gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Numuneler 24 saat suda bekletildikten sonra suyu boşaltılmış ve havlu yardımı ile yüzey kuru doygun haline gelene kadar kurutulmuştur. Yüzey kuru doygun ağırlığı belirlendikten sonra numuneler su içindeki tel sepete yerleştirilip hava boşlukları kalmaması için birkaç defa sarsılmıştır. Numunelerin su içindeki ağırlığı kaydedilip tamamen kuruması için 24 saat 110°C etüvde bırakılmış ve en son kuru ağırlıkları tartılmıştır. Özgül ağırlık ve su emme oranı, gerekli ağırlıklar bulunduktan sonra aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmıştır.

W1: Kuru ağırlık

W2: K.Y.D ağırlık

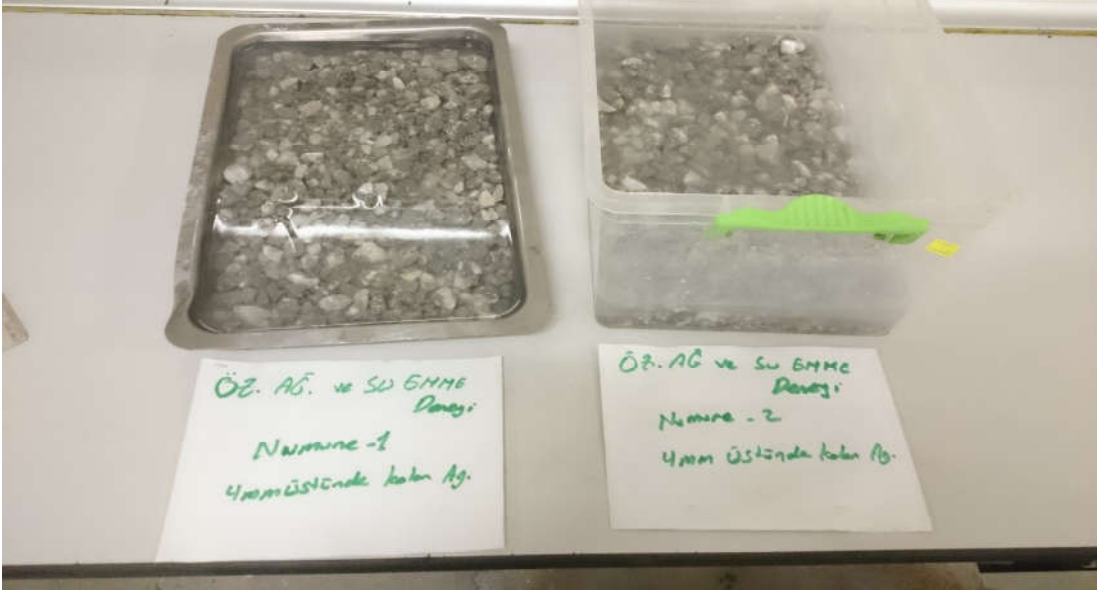
W3: Su içindeki görünen ağırlık

Kuru Özgül Ağırlık = $W1 / (W2 - W3)$

K.Y.D Özgül Ağırlık = $W2 / (W2 - W3)$

Görünen Özgül Ağırlık = $W1 / (W1 - W3)$

Su Emme Oranı (%) = $(W2 - W1) \times 100 / W1$



Şekil 3.8. İri agregaların özgül ağırlık ve su emme oranı deneyi için numunelerin suda bırakılması

İnce agregalar için agrega tane dağılımını temsil edecek şekilde birer kg olmak üzere iki adet numune 0,1 gr hassasiyet ile tartılabilecek terazi ile tartılıp hazırlanmıştır. Tartılan numune tepsilerinin üzerini geçecek şekilde su ilave edilip 24 saat bekletilmiştir. Ertesi gün numuneler sıcak hava yardımı ile yüzey kuru doygun hale getirilip ağırlıkları belirlenmiştir. Şekil 3.9’da gösterildiği gibi yüzey kuru doygun halini belirlemek amacı ile numuneler koni kalıp içine her seferinde 25 vuruş yapılarak 3 kere sıkıştırılmıştır. Kalıptan çıkarılan numune ince kesitli mala ile ikiye bölünmüştür. Bölünen numune kendini tutmayana kadar kurutma işlemine devam edilmiştir. Daha sonra piknometrelerin boş ağırlıkları belirlenmiş ve piknometre çizgisine kadar su ilave edilip tekrar tartılmıştır. Su ile dolu piknometreler tartıldıktan sonra boşalıp kuruması için 24 saat boyunca 110°C etüvde bırakılmıştır. Kurutulduktan sonra içerisine numuneler yerleştirilmiş tekrar tartılmıştır. En son piknometre çizgisine kadar su ilave edildikten sonra numunelerin su içindeki ağırlığı Şekil 3.10’da gösterildiği gibi tartılıp kaydedilmiştir. Numuneler 24 saat etüvde bekletildikten sonra tartılıp kuru ağırlıkları bulunmuştur. Özgül ağırlık ve su emme oranı, gerekli ağırlıklar bulunduktan sonra aşağıdaki formüller yardımı ile hesaplanmıştır.

W1: Kuru ağırlık

W2: K.Y.D ağırlık

W3: Piknometre + numune + su ağırlığı

W4: Piknometrenin içi tamamen su dolu durumundaki ağırlığı

$$\text{Kuru Özgöl Ağırlık} = W1 / (W2 + W4 - W3)$$

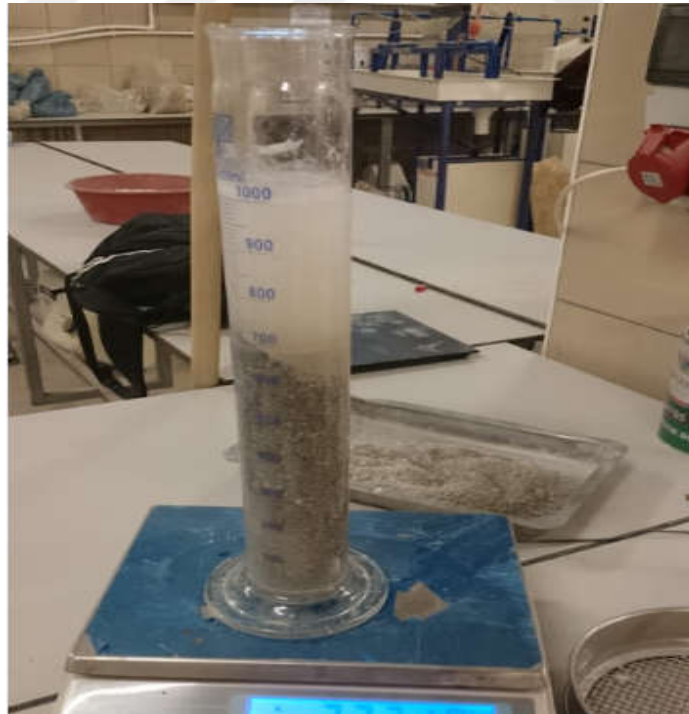
$$\text{K.Y.D Özgöl Ağırlık} = W2 / (W2 + W4 - W3)$$

$$\text{Görünen Özgöl Ağırlık} = W1 / (W1 + W4 - W3)$$

$$\text{Su Emme Oranı (\%)} = (W2 - W1) \times 100 / W1$$



Şekil 3.9. İnce agregalarda kuru yüzey doygun durumunun koni kalıp yardımı ile tespit edilme aşaması



Şekil 3.10. piknometrenin numune ve su beraberinde tartılması

3.2.1.4. Aşınma deneyi (Los Angeles deneyi)

Aşınma deneyi TS EN 1097-2’de gösterildiği gibi Los Angeles metodu kullanılmıştır. Bu deneyin asıl amacı yol yapımında kullanılan agregaların sıkıştırma sırasında ve trafik yükleri altında aşınmaya karşı dayanıklı olup olmadıklarını saptamaktır.

TS EN 1097-2’de anlatıldığı şekilde 6,3-10 mm çapları arasında toplam 5 kg numune hazırlanmıştır. Öncelikle Tablo 3.7’ye göre hazırlanan 9 adet bilye, ardından numune cihaza yerleştirilmiş ve cihaz, kapağı kapatıldıktan sonra 31-33 devir/dakika sabit hızda, 500 devir olacak şekilde ayarlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan cihaz Şekil 3.11’de gösterilmiştir. Tepsiyeye alınan numune 1,6 mm elekten su geçirilerek elenmiş ve yıkanmıştır. . Daha sonra Şekil 3.12’den görüldüğü gibi sabit kütleye gelene kadar (110 ± 5)°c’da etüvde kurutulmuş ve ağırlığı kaydedilmiştir. Aşağıdaki formül ile aşınma direnci katsayısı hesaplanmıştır.

$$LA=(5000-m)/50$$

Tablo 3.7. Los Angeles deneyi için farklı tane çaplarına göre bilye miktarları

Çap Aralıkları	Bilye Sayısı	Bilye Yüğü Kütlesi gr
4 - 8	8	3410 - 3540
6,3 - 10	9	3840 - 3980
8 - 12	10	4260 - 4420
11,2 - 16,0	12	5120 - 5300



Şekil 3.11. Los Angeles aşınma deney cihazı



Şekil 3.12. Los Angeles deneyine tabi tutulan numunelerin tartılması

3.2.2. Beton karışım hesabı

Hedeflenen C30 beton karışım miktarları ve hesapları TS 802'ye göre yapılmıştır. Hesaplamalar sonucu su/çimento oranı bütün serilerde 0,5 sabit seçilmiş ve akışkanlaştırıcı katkı malzemesi çimento ağırlığının %1,2'si olarak katılmıştır. Çimento miktarı XC 3 etki sınıfı C30 beton sınıfına göre 290 kg seçilmiş ve mineral katkı olarak silis dumanı çimento miktarının %10'u alınmıştır. Su, çimento katkı malzemelerin miktarı belirlendikten sonra 1 m³'teki hacimleri hesaplanmıştır. En sonunda agrega hacmi ve ağırlıkları belirlendikten sonra karışım hesabı tamamlanmıştır. Şekil 3.13'te beton karışımı ve Tablo 3.8'de 1 m³'teki karışım miktarları hacimca gösterilmiştir.

Tablo 3.8. Hazırlanan Betonların Karışım Miktarları (1000 m³)

Malzemeler	Miktar (Kg)	
Su	145	
Çimento	261	
Silis Dumanı	29	
SA	3,48	
Agrega	Kum (%41)	725
	İnce Çakıl (%36,42)	684
	İri Çakıl (%22,58)	425
		1834



Şekil 3.13. Atık teneke katkılı beton karışımının hazırlanışı

3.2.3. Taze beton deneyleri

Taze beton kıvam denevi (Slump denevi)

Bu deney TS EN 12350-2 standardı esas alınarak yapılmıştır. Deneyde aşamasında bir adet slump konisi, bir adet 500x500x60 mm tepsi, Ø16x600 mm şişleme çubuğu, kürek ve çökme miktarını ölçecek metre kullanılmıştır. Taze beton koninin içerisine 3 seferde, her seferde 25 şiş darbesi ile sıkıştırılmıştır. Daha sonra koni dik olarak yukarıya doğru çekilmiş ve Şekil 3.14'te görüldüğü gibi ters çevrilerek şiş ve metre yardımı ile betonun çökme miktarı ölçülmüştür.



Şekil 3.14. Çökme miktarının ölçülmesi

3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri

Şekil 3.15 ve 3.16'da gösterilen numuneler dökümden 1 gün sonra çıkarılıp kür edilmek üzere havuza taşınmıştır. Kür havuzundaki su sıcaklığı sabah ve akşam olmak üzere günde iki kez termometre ve termostat yardımı ile kontrol edilerek $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'da sabit tutulmuştur. Numuneler 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları ve çekme çıkarma deneyi için günleri dolana kadar kür havuzunda bekletilmiştir.



Şekil 3.15. Beton basınç dayanımı ve çekme çıkarma deneyleri için hazırlanan numuneler



Şekil 3.16. Hazırlanan numunelerin havuzlara kür edilmesi

3.2.4.1. Basınç dayanımı

Betonların basınç dayanım deneyleri TS EN 12390-3'e göre gerçekleştirilmiştir. $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ numuneler üzerine, Şekil 3.17'de gösterilen cihazda yükleme hızı $0.6 \pm 0.2 \text{ MPa/s}$ şeklinde ayarlanarak basınç deneyleri yapılmıştır. 7, 28 ve 90 günlük deneyler için her yaş grubuna 3'er adet numune prese tabi tutulup ortalamaları hesaplanmıştır. Numuneler cihaza yerleştirilirken, yüklemenin beton döküm yönüne dik

uygulanmasına özen gösterilmiştir. Betonun basınç dayanımı kırılma yükünün numune taban alanına bölünerek hesaplanmıştır.

$$F_c = F/A_c$$

F_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm²)

F: Kırılma anındaki en büyük yük değeri, (N)

A_c : numunenin en kesit alanı, (mm²)



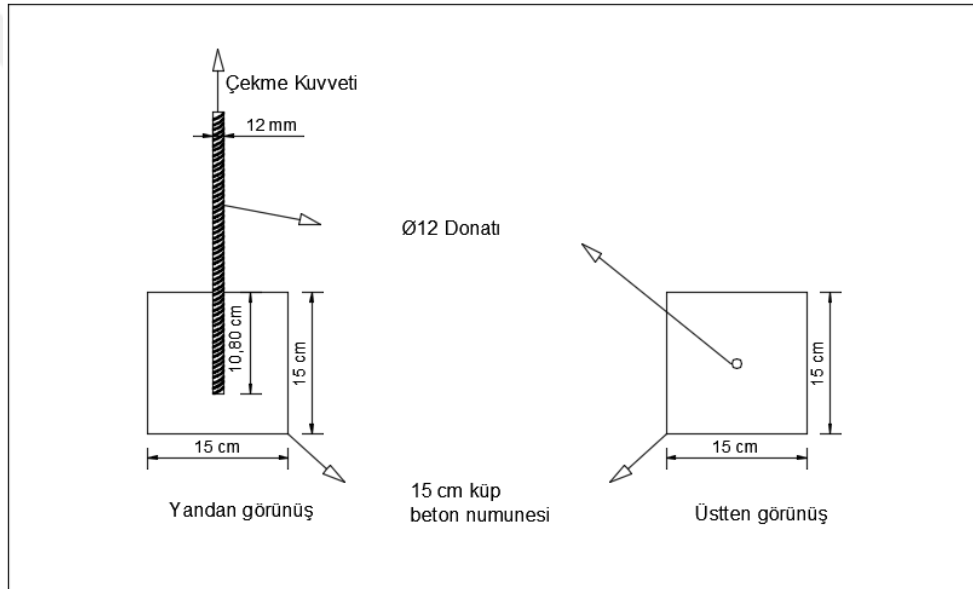
Şekil 3.17. Basınç deneyinde numuneye yük uygulama anı

3.2.4.2. Donatı aderans deneyi (Çekme Çıkarma deneyi)

Bu deney beton içindeki donatının aderans dayanımını, sıyrılma veya donatının kopma anındaki değerlerin tespit edilmesi için kullanılır. 12 mm çaplı (S420) nervürlü donatılar, RILEM standardına göre belirtilen sınırlar içerisinde olmak üzere 10,8 cm (9Ø) uzunluğunda, toplam 24 adet 15x15x15 cm³ boyutundaki numunelere yerleştirilmiştir. Deney Şekil 3.18'de görülen 700 bar kapasiteli CFTMAK hidrolik krikoloji cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Numuneler dik şekilde konumlanıp cihaz başlığı yerleştirildikten sonra donatıya kenetlenmiş ve çekme işlemine başlatılmıştır. Numuneler 90 günün sonunda deneye tabi tutulmuştur. Çekme çıkarma deneyi için hazırlanan numuneler Şekil 3.19'da şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.18. CFTMAK hidrolik krik o cihazı



Şekil 3.19. Çekme çıkarma deney numunesi

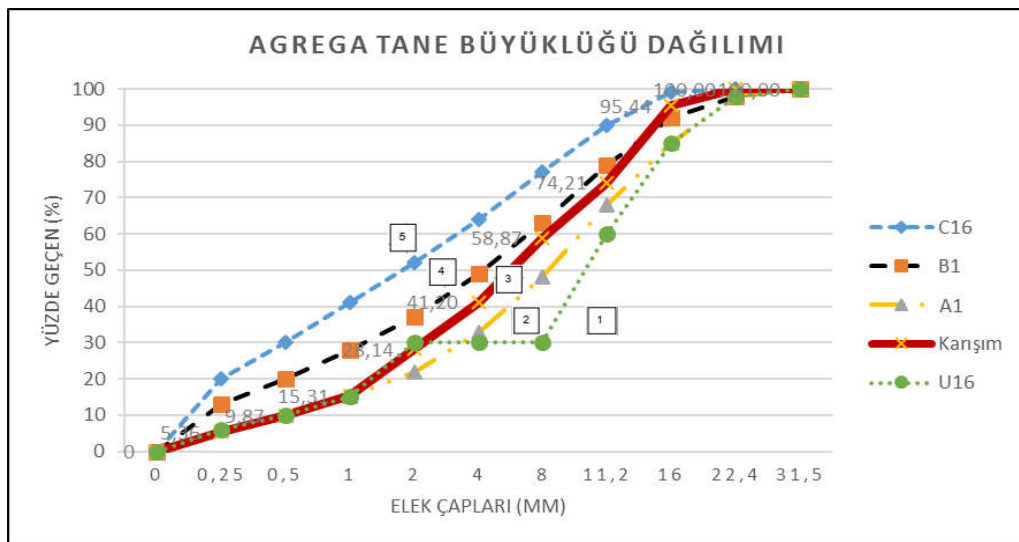
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Geri dönüşüm agregaları ve atık teneke ambalajlarının kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, agregaların teknik özelliklerini belirlemek için Elek Analizi, Birim Hacim Ağırlık, Los Angeles Aşınma ve Özgül Ağırlık Su Emme tayini deneyleri gerçekleştirilmiştir. Kıрма taş agregalardan, ince agregası geri dönüşümlü agregalardan, iri agregası geri dönüşümlü agregalardan ve tamamen geri dönüşümlü agregalardan oluşan ve bunların bir de atık teneke katkılı serileri olarak üretilen 96 adet beton numuneleri üzerine 7, 28 ve 90. günlerde yoğunluk tayini ve basınç dayanım, Ø12 donatı ile ankraj edilmiş numunelere çekip çıkarma deneyleri yapılmıştır.

4.1. Agregta Özellikleri

Agregta tane büyüklüğü

Şekilde 4.1.'de C16, B1, A1 ve U16 eğrileri, TS 802 standardına ait ve tane büyüklüğü 16 mm olan betonlar için belirlenen sınırları göstermektedir. Bu standarda göre en uygun agrega tane dağılım eğrisi 3 numaralı Bölgede, yani B1 ve A1 eğrilerinin arasında olmalıdır. Bunun mümkün olmadığı durumlarda 4 numaralı bölgede, zorunlu durumlarda ise 2 numaralı bölgede bulunabilir. 5 numaralı bölgede bulunan tane dağılımların kullanılması yasaklanmıştır. Bu verilere göre bu çalışma kapsamındaki tane dağılım eğrisi, en uygun bölgelerde, yani 3 ve 4 numaralı bölgelerde bulunmuştur.



Şekil 4.1. Agregta tane büyüklüğü dağılım eğrisi

Birim hacim ağırlığı

Birim hacim ağırlık deney sonuçlarına bakılırsa; ince agregalarda, kırma taş agregaları, geri dönüşüm agregalarına biraz daha ağır olduğu görülmekte, Fakat iri agregalarda, ağırlıkları daha çok göze çarpmaktadır. Kırma taş ve geri dönüşüm agregalarına ait deney sonuçları Tablo 4.1’de gösterilmektedir.

Tablo 4.1. Birim hacim ağırlık deney sonuçları

Numune Boyutları (mm)	Geri Dönüşüm Agregası (t/m ³)		Kırma Taş Agregası (t/m ³)	
	Gevşek B.H.A.	Sıkışık B.H.A.	Gevşek B.H.A.	Sıkışık B.H.A.
Kum (0-4)	1,302	1,526	1,376	1,794
İnce Çakıl (4-11,2)	1,136	1,325	1,402	1,609
İri Çakıl (11,2-22,4)	1,227	1,384	1,389	1,562

Özgül ağırlık ve su emme oranı

Tablo 4.1’ gösterilen birim hacim ağırlık deney sonuçlarından da tahmin edildiği gibi, geri dönüşüm agregaların özgül ağırlıkları, kırma taş agregalarına göre daha hafif olmaktadır. Bunun sebebi geri dönüşüm agregaların yüksek porozitesi olarak düşünülmektedir (Topcu ve Şengel, 2004).

Agregaların su emme oranları kıyaslandığında, kırma taş agregalarında, ince agregada 1,40, iri agregada 0,5, geri dönüşüm agregalarında ise su emme oranları, ince agregada 13,84, iri agregada 6,57 olarak çok daha yüksek bulunmuştur. Geri dönüşüm agregaların daha çok su emmesi, agregalardaki mevcut çimento hamurunun porozitesinden kaynaklanmaktadır (Rao ve ark., 2007). Tablo 4.2.’de özgül ağırlık ve su emme deney sonuçları gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Özgül ağırlık ve su emme oranı deney sonuçları

	Geri dönüşüm Agregası		Kırma Taş Agregası	
	İnce Agregası	İri Agregası	İnce Agregası	İri Agregası
Kuru ö. Ağırlık (t/m ³)	1,80	2,18	2,64	2,67
K.Y.D Ö. Ağırlık (t/m ³)	2,05	2,33	2,71	2,69
Gör. Ö. Ağırlık (t/m ³)	2,40	2,55	2,66	2,71
Su Emme Oranı (%)	13,84	6,57	1,40	0,50

Aşınma direnci

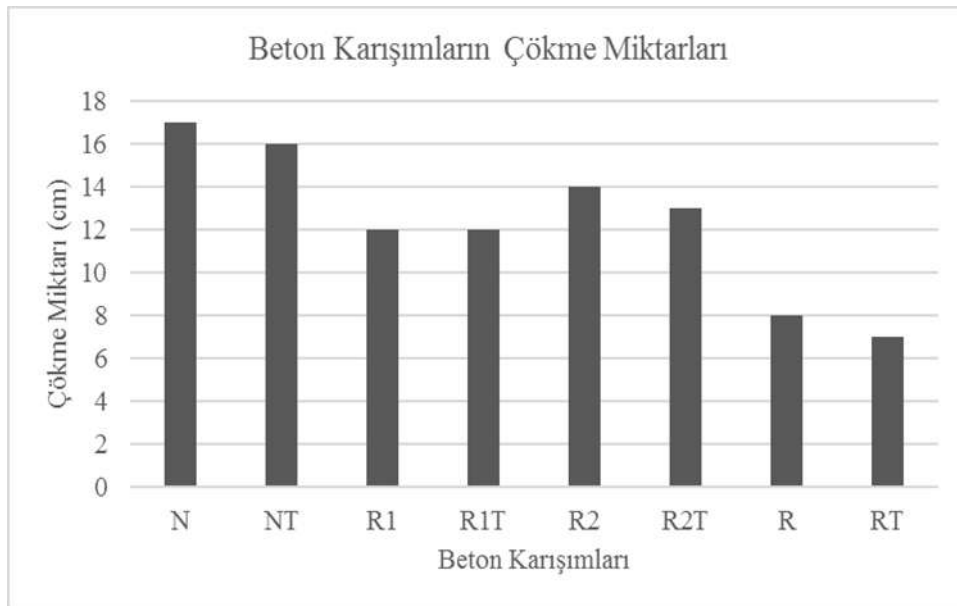
Agregaların aşınmaya karşı dirençleri, Los Angeles aşınma deney sonuçlarına göre; kırma taş agregalarında 29,74, geri dönüşüm agregalarında ise 32,51 olarak çıkmıştır. ASTM C-33 standardına göre Los Angeles aşınma katsayısının beton yapımında kullanılacak agrega için % 50'den, yol yapımında ise % 40'dan fazla olmaması gerekmektedir. Bu deneye ait sonuçlar Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4.3. Los Angeles aşınma deney sonuçları

Numune Miktarı = 5,6-8 , 8-11,2 (2500gr+2500gr)		
	Geri Dön. Agr.	Kırma Taş Agr.
M1	5000	5000
M2	3374,7	3513
LA	32,506	29,74

4.2. Taze Beton Özellikleri

Beton karışım hesabında su/çimento oranı bütün serilerde 0,5 olarak seçilmiştir. Fakat agregaların su emme oranları farklı olduğundan ve geri dönüşüm agregaların ikame oranları değiştiğinden farklı çökme değerleri kaydedilmiştir. Şekil 4.2 Tablo 4.4'te çökme miktarları gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Karışımların çökme miktarlarının grafik olarak karşılaştırılması

Tablo 4.4. Karışımların çökme miktarı

Karışımlar	N	NT	R1	R1T	R2	R2T	R	RT
Slump (cm)	17	16	12	12	14	13	8	7

Şekil 4.2 incelendiğinde N ve NT serilerinin beton karışımlarına ait çökme değerleri sırasıyla 17 cm ve 16 cm iken, R ve RT serilerine ait çökme değerleri 8 cm ve 7 cm' ye kadar azalmaktadır. Burada N ve NT serilerindeki 1 cm fark, atık teneke katkıların katılmasından dolayı olduğu açıkça söylenebilir. Bu sebep R2 ve R2T ile R ve RT serilerinde de geçerlidir. N ile R serilerindeki 9 cm fark ise agregaların su emme oranlarına bakıldığında anlaşılmaktadır. R1 ve R2 deki 2 cm'lik Çökme farkı, R1 karışımında ince agregaların, geri dönüşüm agregalarından kullanılması ve daha çok su emmesi olarak açıklanabilir.

4.3. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Bu çalışma kapsamında sertleşmiş beton deneyleri olarak yoğunluk, basınç dayanımı ve çekme çıkarma deneyleri yapılmıştır. Yoğunluk ve basınç deneylerinin 7., 28. ve 90. Günlerdeki sonuçları Tablo 4.5, 4.6 ve 4.7 ile Şekil 4.3 ve 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5. Yoğunluk ve basınç dayanımlarının 7 Günlük sonuçları

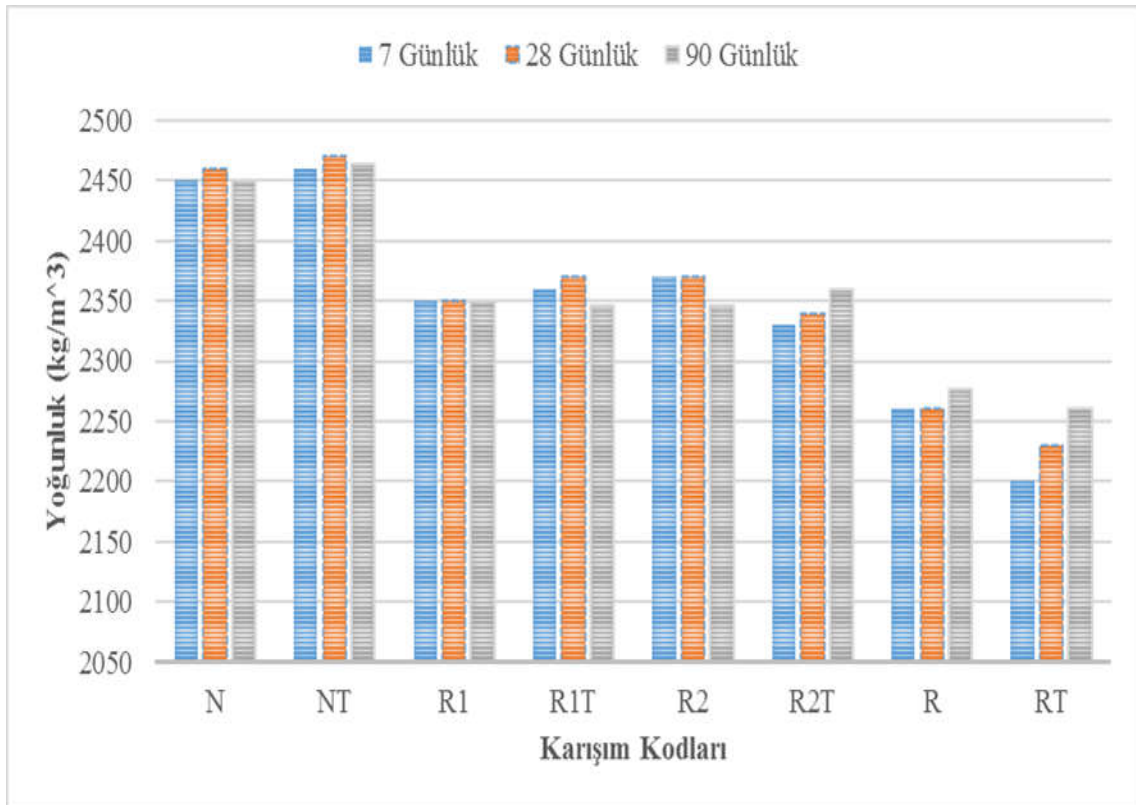
Karışımlar	Yoğunluk (t/m ³)	Dayanım (kg/cm ²)	Değişim (%)
N	2,45	50,3	100,00
NT	2,46	42,5	84,49
R1	2,35	43,17	85,83
R1T	2,36	40,17	79,86
R2	2,37	43,93	87,34
R2T	2,33	40,4	80,32
R	2,26	38,33	76,20
RT	2,20	31,03	61,69

Tablo 4.6. Yoğunluk ve basınç dayanımlarının 28 Günlük sonuçları

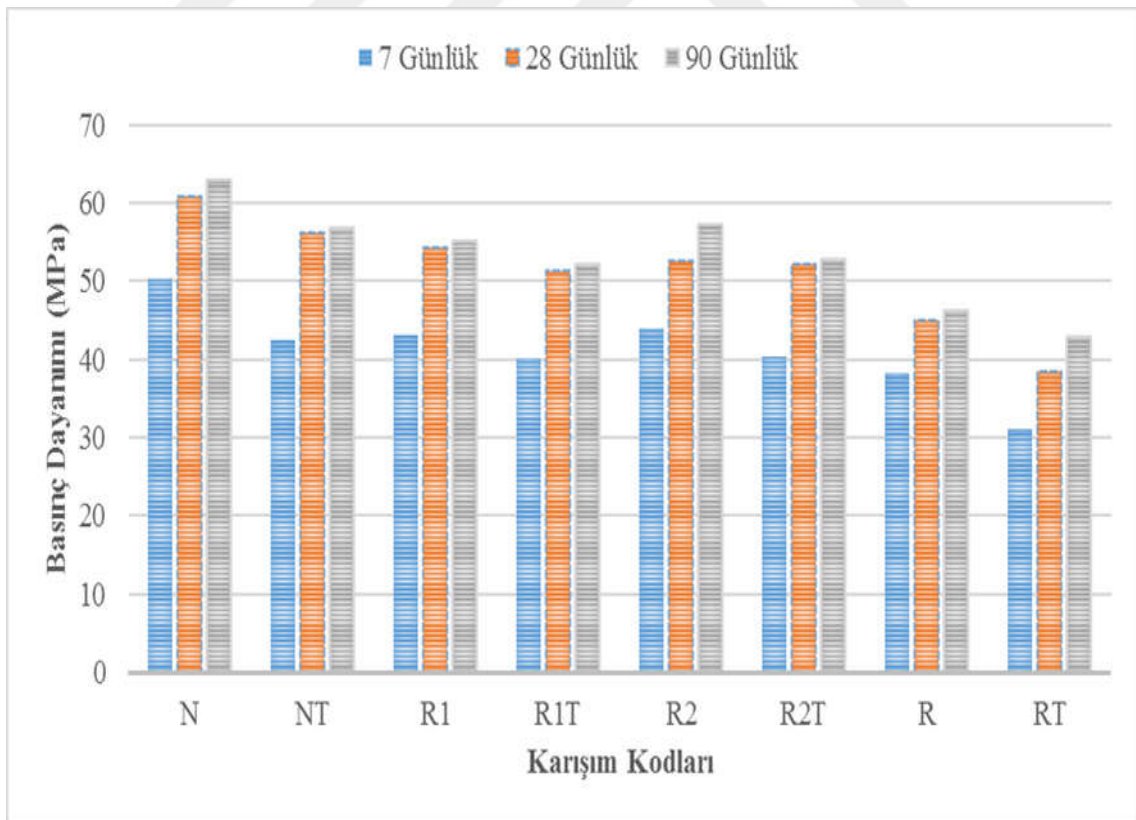
Karışımlar	Yoğunluk (t/m ³)	Dayanım (kg/cm ²)	Değişim (%)
N	2,46	60,87	100,00
NT	2,47	56,23	92,38
R1	2,35	54,23	89,09
R1T	2,37	51,4	84,44
R2	2,37	52,67	86,53
R2T	2,34	52,3	85,92
R	2,26	45,1	74,09
RT	2,23	38,4	63,09

Tablo 4.7. Yoğunluk ve basınç dayanımlarının 90 Günlük sonuçları

Karışım kodu	Yoğunluk (t/m ³)	Dayanım (kg/cm ²)	Değişim (%)
N	2,45	62,93	100,00
NT	2,46	56,77	90,21
R1	2,35	55,12	87,58
R1T	2,35	52,30	83,10
R2	2,35	57,25	90,97
R2T	2,36	52,90	84,06
R	2,28	46,37	73,68
RT	2,26	42,87	68,11



Şekil 4.3. 7, 28 ve 90 günlük Beton yoğunluklarının karşılaştırılması



Şekil 4.4. 7, 28 ve 90 günlük Beton basınç dayanımlarının karşılaştırılması

Şekil 4.3.'teki veriler incelendiğinde, en yüksek yoğunluk değeri N ve NT serilerine, en düşük yoğunluk değeri ise R ve RT serilerine ait olduğu gözükmektedir. Burada diğer serilerin N ve NT serilerine göre daha düşük yoğunluğa sahip olmasının nedeni; o serilerin beton karışımına geri dönüşüm agregalarının katılması olarak açıklanabilir. Daha önceki bölümlerde de değinildiği gibi, geri dönüşüm agregaların çimento hamurundan dolayı yüksek poroziteye sahip olduğu için, özgül ağırlıkları normal agregalara göre daha düşük, dolayısıyla sertleşmiş beton yoğunlukları da normal betona göre daha az çıkmıştır.

Üretilen betonlar, basınç dayanımları bakımından incelendiğinde, Şekil 4.4.'teki verilere göre yine en yüksek basınç dayanımları N ve NT serilerine aittir. R ve RT serilerininin 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımlarında diğer geri dönüşümlü serilerine göre daha çok azalma yaşanmıştır. Betonların 28 günlük basınç dayanımları 7 günlüklerine göre R ve RT serileri hariç, yaklaşık olarak %25'lik bir artış göstermektedir. R ve RT serilerinde basınç dayanım artışı ortalama %20 olarak kaydedilmiştir. R1 ile R2 ilişkisi irdelendiğinde beton üretiminde, iri agregaların geri dönüşümlü agregalarından kullanılması, beton basınç dayanımı açısından az da olsa daha faydalı olacağını göstermektedir. 90 günlük basınç dayanımları 28 günlük sonuçlarına nazaran ortalama %4'lük bir artış göstererek yükselmiştir. Son olarak grafikten de görüldüğü gibi geri dönüşüm agregaların ikame oranı arttıkça, basınç dayanımında düşüş yaşandığı açıkça anlaşılabilir.

Serilerin atık teneke katkılı ve katkısız olarak kıyaslanması yapılırsa; teneke ambalajlarınının 70/5 mm boyutunda kullanılması bütün karışımların basınç dayanımında azalmaya sebep olduğu söylenebilir. Oysaki M. A. Çakıroğlu ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada; 50/5 mm boyutundaki ve 40 kg/m^3 oranında atık teneke katkılı olarak yapılan betonların basınç dayanımı, normal betona göre %34 daha fazla artmıştır (Çakıroğlu ve ark., 2011). Bu çalışmada kesilen tenekeler, daha uzun olması sebebi ile taze betonun sıkıştırma işleminde sorun yaratıp basınç dayanımını olumsuz yönde etkilediği düşünülmektedir.



Şekil 4.5. N ve NT karışım kodlu betonların basınç deneyine tabi tutulmuş hali



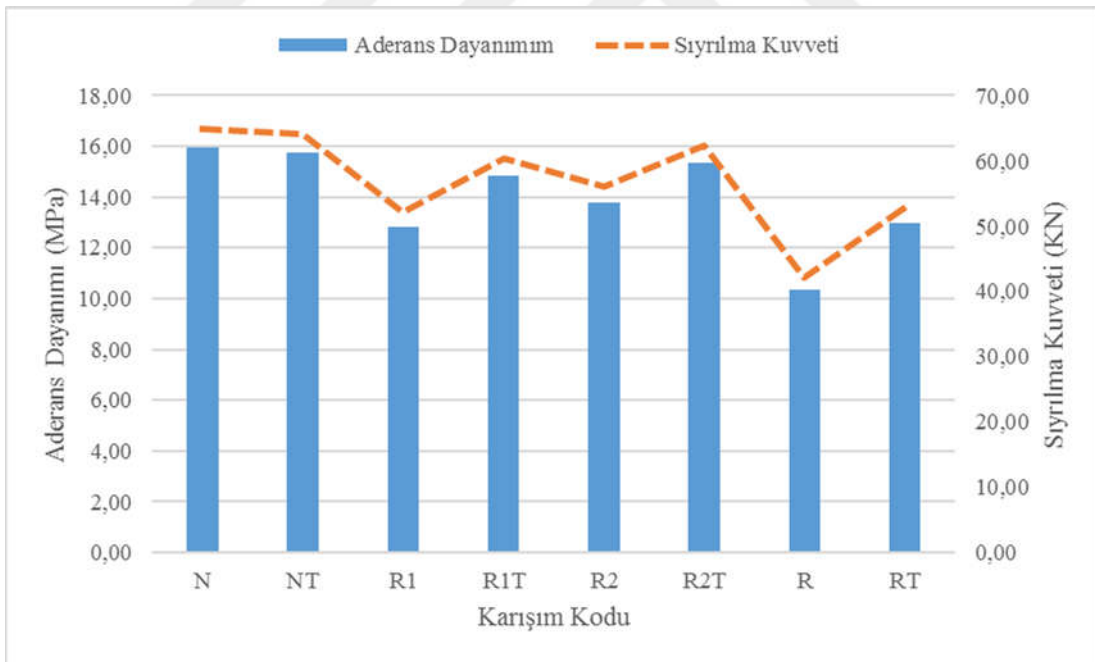
Şekil 4.6. R ve RT karışım kodlu betonların basınç deneyine tabi tutulmuş hali

Şekil 4.5 ve 4.6'da N-NT ve R-RT serilerinin basınç deneyinden sonraki hali ve kırılma şekli gösterilmiştir. Kırımdan sonra N serisinin içyapısının rengi R serisine göre daha açık renkli olduğu görülmektedir. Atık teneke katkılı numunelerde beton daha az parçalanmıştır.

Çekme çıkarma deney sonucuna göre üretilen numunelerde beton ile donatı arasındaki aderans dayanımları ve donatının sıyrılma anındaki çekme kuvvetleri Tablo 4.8 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Tablo 4.8. Betonların aderans dayanımı ve donatıların sıyrılma kuvvetleri

Karışım Kodu	Aderans Dayanımı (MPa)	Sıyrılma Kuvveti (KN)	Değişim (%)	Durum
N	15,93	64,84	100,00	Donatı kopmuştur
NT	15,77	64,16	98,95	Donatı kopmuştur
R1	12,83	52,22	80,54	Beton Parçalanmıştır
R1T	14,83	60,36	93,10	Donatı sıyrılmıştır
R2	13,77	56,02	86,40	Beton Parçalanmıştır
R2T	15,33	62,40	96,23	Donatı sıyrılmıştır
R	10,37	42,19	65,06	Beton Parçalanmıştır
RT	13,00	52,90	81,59	Donatı sıyrılmıştır



Şekil 4.7. Betonların aderans dayanımı ve donatıların sıyrılma kuvvetlerinin görsel olarak karşılaştırılması

Bu çalışmada yapının çekme çıkarma deney sonuçlarına göre; N ve NT karışım kodlu betonlarda en yüksek aderans dayanım değeri kaydedilmiş ve ankraj edilen donatılar kopmuştur. Geri dönüşüm agregalı olarak üretilen tüm serilerde ya beton

parçalara bölünmüş ya da donatı sıyrılmıştır. Basınç deney sonucuna benzer şekilde bu deneyde de en düşük aderans dayanımı R serisine aittir. N serisi hariç diğer bütün atık teneke katkısız betonlarda, donatı sıyrılmadan 3 ve ya 4 parçaya bölünmüştür. Atık teneke katkılı betonlar içinden kırılmış olsa da, teneke parçaları betonun kırılıp parçalara bölünmesini engellemiştir. İri geri dönüşüm agregası ile üretilen betonlar, ince geri dönüşüm agregası ile üretilen betonlara nazaran daha yüksek aderans dayanımı göstermiştir.

Yine Şekil 4.8’de de görüldüğü geri dönüşüm agrega ile üretilen betonların kırma taş agregası ile üretilen betonlara göre; aderans dayanımlarının daha düşük çıkmıştır. Bu deney sonucu basınç deneyine ters, atık tenekelerin beton çekme dayanımını olumlu yönde etkilediğini ispatlamıştır. Şekil 4.9, 4.10 ve 4.11’de çekme çıkarma deney sonucunda donatı kopması, donatı sıyrılması ve betonun parçalara ayrılması verilmiştir.

Bu çalışmada üretilen betonların hedeflenen C30 beton sınıfı dayanımından daha yüksek vermesinin sebebi, bazı aksaklıklar nedeni ile karışımda kullanması düşünülen CHRYSO FLUID adlı süper akışkanlaştırıcı yerine POLYDOS TN 343 adlı hiper akışkanlaştırıcının kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Kullanılan hiper akışkanlaştırıcının bir diğer özelliği dayanım performansını artırmaktır.



Şekil 4.8. N karışım kodlu betona ait çekme çıkarma deney sonucu



Şekil 4.9. R karışım kodlu betona ait çekme çıkarma deney sonucu



Şekil 4.10. RT karışım kodlu betona ait çekme çıkarma deney sonucu

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Geri dönüşüm agregaların ve atık teneke ambalajlarının beton üretiminde kullanılabilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada, farklı oranlarda geri dönüşüm agregalardan ve atık teneke katkılı ve katkısız olarak üretilen betonların 7., 28. ve 90. Günlerde yapılan deneylerin sonuçlarına göre;

- Geri dönüşüm agregaların birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerleri, aynı tane dağılımına sahip kırma taş agregaları ile kıyaslandığında daha düşüktür.
- Geri dönüşüm agregaların su emme oranları, kırma taş agregalarına göre çok daha yüksektir.
- Geri dönüşüm agregaların aşınma oranı, kırma taş agregalarına nazaran yüksektir.
- Geri dönüşüm agregaların Los Angeles aşınma katsayısı %40'ten düşük olduğuna göre; hem yol, hem beton yapımında kullanılabilir.
- İri geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonun çökme değeri, ince geri dönüşüm agregaları ile üretilen betona göre daha fazla çıkmıştır.
- Atık teneke ambalajları bütün serilerde işlenebilirliği olumsuz yönde etkilemiştir.
- Beton karışımlarına geri dönüşüm agregaların katılım oranı arttıkça, sertleşmiş beton yoğunluklarında düşüş kaydedilmiştir.
- %100 geri dönüşüm agregalarından üretilen seriler hariç diğer bütün seriler istenilen basınç dayanımını yakalamıştır.
- %100 kırma taş agregasından üretilen serinin basınç dayanımı %32'lik bir fark ile %100 geri dönüşüm agregasından üretilen seriye göre daha yüksek çıkmıştır.

- İnce ve iri geri dönüşüm agregalarından üretilen serilerinin basınç dayanımlarının farkı çok yüksek olmasa da, işlenebilirlik özellikleri de dikkate alındığında, iri geri dönüşüm agregalarından üretilen serinin daha avantajlı olduğu görülmektedir
- Atık teneke ambalajları bütün serilerde betonların basınç dayanımlarını %4,48-9,80 oranlarında olumsuz yönde etkilemiştir.
- Atık teneke ambalajları kırma taş agregalı seri hariç, diğer bütün serilerde betonların aderans dayanımlarını %9,83-16,53 oranlarında olumlu yönde etkilemiştir.
- R2 karışım kodlu beton geri dönüşüm agregalı betonlar içerisinde en yüksek basınç ve aderans dayanımlarını vermektedir. Bunun nedeni, o karışımın işlenebilirlik açısından daha avantajlı olması, dolayısıyla daha az boşluklu olması olarak açıklanabilir.

Bu çalışmada üretilen betonların hedeflenen C30 beton sınıfı dayanımından daha yüksek vermesinin sebebi, kullanması düşünülen CHRYSO FLUID adlı süper akışkanlaştırıcı yerine POLYDOS TN 343 adlı hiper akışkanlaştırıcı ve dayanım performans artırıcı kullanılmasından kaynaklandığı açıklanabilir. Buna rağmen geri dönüşüm agregaların kırma taş agregası ile karşılaştırılması ve üretilen betonların sertleşmiş deney sonuçlarının, benzer diğer çalışmalar ile kıyaslandığında etkilenmediği düşünülmektedir. Örnek olarak burada yapılan çalışmalar ve beton karışımlarına benzer Demirel ve Şimşek (2014) ile Sefidehkhan ve Şimşek (2018) çalışmaları gösterilebilir. Demirel ve Şimşek (2014) ile Sefidehkhan ve Şimşek (2018) yaptıkları çalışmada iri ve ince geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonların 90 günlük basınç dayanımı, kontrol betonuna göre sırasıyla %16 ve %19 ile %14 ve %30 olarak daha düşük çıktığı tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında ise aynı geri dönüşüm agrega oranlarına sahip betonların basınç dayanımları, kontrol betonuna göre %10 ve %13 olarak daha düşük olduğu görülmüştür. Sefidehkhan ve Şimşek (2018) çalışmasında iri ve ince geri dönüşüm agregaları ile üretilen betonların aderans dayanımı sırasıyla %47 ve %40, bu çalışma kapsamında ise %13,6 ve %19,4 olarak daha düşük olduğu belirlenmiştir.

5.2. Öneriler

- Bütün bu deneyler ve araştırmalar ışığında geri dönüşüm agregaların beton üretiminde kullanılmadan önce, mekanik yöntemler ile üzerindeki çimento harcının bertaraf edilerek iyileştirilmesi gerektiği ve bu konuda daha çok araştırmaların yapılması gerektiği düşünülmektedir. Buna rağmen şimdilik sınırlı oranda kullanılması, (tercihen sadece iri agrega olarak) betonun fiziksel ve mekanik özelliklerini olumsuz yönde etkilemediği kanaatine varılmıştır.
- Çevresel ve ekonomik sorunlar dikkate alındığında geri dönüşüm agregalarının kullanımının yaygınlaşması ülke ekonomisine katkıda bulunmasının yanında sınırlı doğal kaynakların bitmesini engelleyecektir. Buna benzer çalışmalar, beton geri dönüşümü için daha çok tesislerin açılması ve geliştirilmesine yardımcı olacaktır.
- Bu çalışmada kullanılan tip ve boyutundaki atık teneke ambalajların, betonun işlenebilirlik ve basınç mukavemetini olumsuz yönde etkilediğinden, beton üretiminde kullanılmaması gerektiği düşünülmektedir.
- Teneke ambalajları ve benzeri atıkların; daha çok deneyler yapılması şartı ile geniş açıklıklı ve büyük eğilme momentlerine maruz kalan kirişlerde, zımbalama etkisinde kalan kirişsiz döşemeler ve bunlara benzer çekme veya kesme kuvvetine maruz yapı elemanlarında, betona ilave edilerek betonun çekme dayanımında katkısı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Altun, M. G., 2014, Geri Kazanılmış Agregat (Gka) İle Üretilen Betonların Mekanik Özelliklerinin Lif Kullanılarak İyileştirilmesi, PhD Thesis., 115.
- Anonim, 2005, *T.C. Resmi Gazete*, (25777).
- Anonymous, 2008, ASTM C33. Standart Specification for Concrete Aggregates. USA.
- Arıoğlu, E. v. K. Ö. S., 1996, Geri Kazanılmış Agregat ile Beton Üretimi, *Yayın No: YM/AR-GE/96-9*.
- Berndt, M., 2009, Properties of sustainable concrete containing fly ash, slag and recycled concrete aggregate, *Construction and building materials*, 23 (7), 2606-2613.
- Çakıroğlu, M., Kasap, S. ve Keskin, N., 2011, Betona Atık Teneke Ambalajlarının İlave Edilmesinin Basınç Dayanımına Etkisinin İncelenmesi Üzerine Deneysel Bir Çalışma, *6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11)*, 4.
- De Oliveira, M. B. ve Vazquez, E., 1996, The influence of retained moisture in aggregates from recycling on the properties of new hardened concrete, *Waste management*, 16 (1-3), 113-117.
- Demirel, C. ve Şimşek, O., 2014, C30 sınıfı atık betonun geridönüşüm agregası olarak beton üretiminde kullanılabilirliği, *S.Ü. Müh. Bilim ve Tekn. Derg.*, 9.
- Demirel, C., Toklu, K. ve Şimşek, O., 2015, Geri Dönüşüm Agregasının Beton Üretiminde Kullanılabilirliği Ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, *2nd International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, Türkiye*, 6.
- Dilbas, H. ve Çakır, Ö., 2015, Fracture and failure of recycled aggregate concrete (RAC)—A Review, *Int. J. Concr. Technol*, 1 (1), 31-48.
- Dilbas, H. ve Çakır, Ö., 2018, Geri Kazanılmış Agregaların Mekanik Öğütme Yöntemi ile İyileştirilmesi, *HAZIR BETON*, 80-86.
- Etxeberria, M., Vázquez, E., Marí, A. ve Barra, M., 2007, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and concrete research*, 37 (5), 735-742.
- Khalaf, F. M. ve DeVenny, A. S., 2004, Recycling of demolished masonry rubble as coarse aggregate in concrete, *Journal of materials in civil engineering*, 16 (4), 331-340.
- Kılıç, İ., 2006, Geri Dönüştürülmüş Atık Betonların Bazı Fiziksel Ve Mekanik Özelliklerinin Katkı Kullanımı İle İyileştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta*.
- Kılıç, İ. ve Kadayıfçı, A., 2007, Geri Dönüştürülmüş Atık Betonlarda Silis Dumanının Etkileri, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8 (2), 115-121.

- Kılıç, N., 2012, Kentsel Dönüşümde Geri Dönüşüm Atağı AR&GE Bülten Aralık, *İzmir: İzmir Ticaret Odası, Ar&Ge Bülten* s 15.
- Köken, A., Köroğlu, M. A. ve Yonar, F., 2008, Atık betonların beton agregası olarak kullanılabilirliği, *Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi*, 7.
- Köse, H., Ayaz, S. ve Köroğlu, B., 2007, Türkiye’de atık yönetimi ulusal düzenlemeler ve uygulama sonuçlarının değerlendirilmesi, *Performans denetimi raporu, TC Sayıştay Başkanlığı. Ankara.*
- Marie, I. ve Quiasrawi, H., 2012, Closed-loop recycling of recycled concrete aggregates, *Journal of Cleaner Production*, 37, 243-248.
- Martín-Morales, M., Zamorano, M., Ruiz-Moyano, A. ve Valverde-Espinosa, I., 2011, Characterization of recycled aggregates construction and demolition waste for concrete production following the Spanish Structural Concrete Code EHE-08, *Construction and building materials*, 25 (2), 742-748.
- Matias, D., De Brito, J., Rosa, A. ve Pedro, D., 2013, Mechanical properties of concrete produced with recycled coarse aggregates–Influence of the use of superplasticizers, *Construction and building materials*, 44, 101-109.
- Mohammd Hosain AMINI, Mehmet KAMANLI ve Alptuğ ÜNAL, *Geri Dönüşüm Agregalarından Üretilen Atık Teneke Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, ISAS2019, Ankara, Türkiye, 4 (1): 615-618
- Ölmez, E. ve Yıldız, Ş., 2008, İnşaat ve yıkıntı atıklarının yönetimi ve planlanan İstanbul modeli, *Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları Sempozyumu, December*, 2-6.
- Öztürk, M., 2005, İnşaat Yıkıntı Atıkları Yönetimi, *Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.*
- Postacıoğlu, B., 1987, Beton: bağlayıcı maddeler, agregalar, beton, Teknik Kitaplar Yayınevi, p.
- Rao, A., Jha, K. N. ve Misra, S., 2007, Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete, *Resources, conservation and Recycling*, 50 (1), 71-81.
- Sefidehkan, H. P. ve Şimşek, O., 2018, Farklı Oranlarda Geri Dönüşüm Agregası Kullanılarak Üretilen Betonun Bazı Mühendislik Özelliklerinin Araştırılması, *Politeknik Dergisi*, 21 (1), 83-91.
- Sofyanlı, Ö. Ö., 2015, Silis Dumanı Katkılı Geri Agregalı Betonların Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.*
- Tam, V. W., Wang, K. ve Tam, C. M., 2008, Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis, *Journal of Hazardous Materials*, 152 (2), 703-714.

- Taş, H. H., Çoban, Ö. ve Topbaşı, B., 2013, Endüstriyel Demir Talaşı Atığının Betonun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisi, *SüleymanDemirel Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü/Isparta*, 11.
- THBB, 2016, Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, *ERMCO ve Beton Sürdürülebilirlik Konseyi (The Concrete Sustainability Council)*.
- Topcu, I. B. ve Şengel, S., 2004, Properties of concretes produced with waste concrete aggregate, *Cement and concrete research*, 34 (8), 1307-1312.
- Topgül, S. S., 2016, Öğütülmüş Granüle Yüksek Fırın Cürufunun Geri Kazanılmış Agregali Betonların Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, *yıldız teknik üniversitesi, istanbul*.
- Tüfekçi, M. M., 2011, Geri kazanılmış agregaların beton üretiminde yeniden kullanılabilirliğinin araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul*, 88.
- Wagih, A. M., El-Karmoty, H. Z., Ebid, M. ve Okba, S. H., 2013, Recycled construction and demolition concrete waste as aggregate for structural concrete, *HBRC journal*, 9 (3), 193-200.
- Wilson, P., 1997, The History of Recycling, *California Resources Agency, Department of Conservation*.
- Xiao, J., Li, W., Fan, Y. ve Huang, X., 2012, An overview of study on recycled aggregate concrete in China (1996–2011), *Construction and building materials*, 31, 364-383.
- TS EN 1097-6 (2002) *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.93
- TS 3530 EN 933-1 (1999) *Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-2 (2010) *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 2 : Parçalanma Direncinin Tayini İçin Metotlar*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6 (2002) *Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini*. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802 (2009) *Beton karışım tasarımı esasları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2 (2010) *Beton - Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Mohammad Hosain AMINI
Uyruğu : Afgan
Doğum Yeri ve Tarihi : Nimroz/22.06.1991
Telefon : 0 507 569 88 25
Faks :
E-mail : Eng.h.amini@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	: Farrokhi, Zaranc, Nimroz	2009
Üniversite	: Selçuk Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2016
Yüksek Lisans	: Konya Teknik Üniversitesi, Selçuklu, Konya	2019

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2017-2019	Analiz Yapı Müş. Taah. Ltd. Şti.	Kentsel Dönüşüm Mühendisi

YABANCI DİLLER

Türkçe, İngilizce

YAYINLAR

Mohammd Hosain AMINI, Mehmet KAMANLI ve Alptuğ ÜNAL, *Geri Dönüşüm Agregalarından Üretilen Atık Teneke Katkılı Betonların Mekanik Özelliklerinin Araştırılması*, ISAS2019, Ankara, Türkiye, 4 (1): 615-618