



**T.C.
RECEP TAYYIP ERDOĞAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ATIK BETONLARIN GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGA OLARAK
KULLANIMI**

(Yüksek Lisans Tezi)

Tuğba TEKİNBAŞ

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ**

**RİZE
2023**

KABUL VE ONAY

Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında, Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ danışmanlığında, Tuğba TEKİNBAŞ tarafından hazırlanan *Atık Betonların Geri Dönüşümlü Agregada Olarak Kullanımı* adlı bu tez çalışması, 21/09/2023 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda oy birliği/~~oy çokluğuyla~~ başarılı bulunarak jürimiz tarafından **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri	Unvanı, Adı SOYADI	İmza
Başkan	: Prof. Dr. İlker USTABAŞ	
Üye	: Prof. Dr. Süleyman ADANUR	
Üye	: Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ	

ETİK BEYANI

İnşaat Mühendisliği Tezli Yüksek Lisans Programından mezun olmak üzere teslim ettiğim “İnşaat Atıklarından Elde Edilen Geri Dönüştürülmüş Agregalar” adlı tezim, bilim ve araştırma etiği prensiplerine riayet edilerek tarafımdan yazılmıştır.

Tez çalışmamda, başka kaynaklardan aktarılan bütün bilgi ve alıntılar, Enstitünüz Tez Yazım Kılavuzuna uygun olarak açıkça gösterilmiştir. Kaynağı gösterilenler dışında kalan bütün bilgiler uygun araştırma yöntemi kullanılarak tarafımdan edinilmiş ve esere bu şekilde yansıtılmıştır. Şahsıma ait olmayan hiçbir bilgi, kasıt veya kusurlar, şahsıma aitmiş gibi gösterilmemiştir. İnternet kaynakları dâhil, sahibine/kaynağına atıf yapılmaksızın hiçbir bilgi kullanılmamıştır. Aksinin ortaya çıkması halinde doğacak bütün hukuki, idari, akademik ve etik sorumluluk tarafıma ait olacaktır. Eserin tesliminden sonra herhangi bir zamanda, bilim etiğine aykırılık tespit edilmesi ve / veya eserimle ilgili intihal veya intihal şeklinde anlaşılabilecek bir durumun ortaya çıkması halinde; Üniversiteniz ve eğitim kadronuzun hiçbir şekilde sorumlu tutulmayacağını hür irademle kabul, beyan ve taahhüt ederim.

21/09/2023

Tuğba TEKİNBAŞ

ÖN SÖZ

Bu tez çalışmasında farklı yıkıntı ve tahribat ile oluşan atık betonların yeniden değerlendirilmesi ve inşaat sektörü açısından sürdürülebilirlik kavramının uygulanabilirliğini göstermek amacıyla hazırlanmıştır.

Tez çalışmamın her aşamasında tecrübeleriyle, bilgi ve görüşleriyle bana her zaman yardımcı olan danışman hocam Dr.Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ'e teşekkürlerimi sunarım.

Laboratuar çalışmaları sürecinde bana yardımcı olan Arş. Gör. Şevval ÖZTÜRK'e teşekkür ederim.

Tuğba TEKİNBAŞ
2023, RİZE

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	I
ETİK BEYANI	II
ÖN SÖZ	III
İÇİNDEKİLER	IV
ÖZET	VI
ABSTRACT.....	VII
KISALTMALAR	VIII
TABLolar LİSTESİ	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
GİRİŞ.....	1
1. LİTERATÜR TARAMASI	3
2. GERİ DÖNÜŞÜM VE İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ YERİ.....	6
2.1. Tezin Kapsamı ve Amacı	6
2.2. Geri Dönüşümün Gerekliliği	7
2.2.1. İnşaat Yıkıntı Atıkları	8
2.2.2. İnşaat Yıkıntı Atıklarının İçeriği	9
2.2.3. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Yönetimi.....	9
2.2.4. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Kazanılmasının Gerekliliği	11
2.3. Geri Kazanılmış Agregalar	12
2.3.1. Geri Kazanılmış Agregaların Sınıflandırılması.....	13
2.3.2. Geri Kazanılmış Agregaların ve Doğal Agregaların Teknik Özellikleri	14
2.4. Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton Özellikleri.....	17
2.4.1 Taze Beton Özellikleri	17
2.4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri	18
3. DENEYSEL ÇALIŞMA: MALZEME VE METOT	20
3.1. Malzeme	20
3.1.1. Beton Karışımı	20
4. BULGULAR.....	28
4.1. Agrega Deneyleri	28
4.1.1. Elek Analizi.....	28

4.1.2. Agregalar için Özgöl Ağırlık Tayini Deneyi	31
4.1.3. Mevcut Su Muhtevası ve Su Emme Deneyi	32
4.1.4. Los Angeles Aşınma Oranı	32
4.2. Taze Beton Deneyleri.....	34
4.2.1. Çökme Miktarı ve Kıvam Sınıfının Belirlenmesi	34
4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri	36
4.3.1. Basınç Dayanımı	37
4.3.2. Su Emme Deneyi.....	38
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	40
KAYNAKÇA.....	41



Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Tez Türü : Yüksek Lisans

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi Ali GÜRBÜZ

Hazırlayan : Tuğba TEKİNBAŞ

Yıl : 2023

Sayfa Sayısı : 45

ÖZET

ATIK BETONLARIN GERİ DÖNÜŞÜMLÜ AGREGA OLARAK KULLANIMI

Geçmişten günümüze artarak devam eden tüketim doğal kaynaklar açısından risk oluşturmaya başlamıştır. Bu durum inşaat sektörü açısından ele alınırsa; beton birçok alanda vazgeçilmez yapı malzeme ürünlerindendir. Betonun içeriğine baktığımız zaman agreganın hacimce azımsanamayacak kadar fazla kullanıldığı görülmektedir. Bu durumda sadece doğal kaynaklar ile üretime devam etmenin gelecekte ciddi problemlere sebebiyet vereceği açıkça görülmekte ve anlaşılmaktadır.

Ülkemizde ekonomik ömrünü tamamlamış ya da artık kullanım için gerekli dayanımı gösteremeyecek durumda olan yapıların yıkımı, doğal afetlerden, yangınlardan, depremle birlikte arkada kalan yıkıntı atıkları ve beton laboratuvarlarında gerçekleştirilen farklı deneyler sonucunda oluşan beton atıkları ciddi bir hacim kaplamaktadır. Ülkemizde bu şekillerde yıllık küçümsenemeyecek kadar fazla atık beton oluşmaktadır. Kısaca beton atıkları oluşturdukları molozlar ile hem çevre sorunlarına hem depolama sorunlarına neden olan çözülmesi gereken bir sorundur.

Yapılan bu çalışma ile birlikte atık betonlar agregaya haline getirilerek farklı oranlarda doğal agregaya ile ikame edilmiştir. Oluşturulan numuneler başlıca deneylere tabi tutulmuştur ve numunelerin fiziksel ve mekanik özellikleri açısından beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır. GDA miktarının artması 28 günlük basınç dayanımını olumsuz etkilemiştir. GDA ikame yüzdesinin artması ile birlikte basınç dayanımı, birim hacim ağırlık, yoğunluk değerlerinde azalışa neden olurken su emme değerlerinde artışa neden olmuştur. Fakat deney sonuçlarına göre belli oranda kullanılan geri dönüştürülmüş agregalar ile istenilen dayanım elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Geri Dönüştürülmüş Agregaya, Taze Beton, Sertleşmiş Beton, İnşaat Atıklar

Recep Tayyip Erdogan University Institute of Graduate Studies

Department : Civil Engineering
Thesis Type : Master Thesis
Supervisor : Assist. Prof. Dr. Ali GÜRBÜZ
Author : Tuğba TEKİNBAŞ
Year : 2023
Pages : 45

ABSTRACT

USE OF WASTE CONCRETE AS RECYCLED AGGREGATE

The increasing consumption from the past to the present has started to pose risk in aspect of natural resources. If we consider this situation from the perspective of the construction sector, concrete is an indispensable building material in many areas. When we look at the content of concrete, we can see that a significant amount of aggregate is used in terms of volume. In this case it is clearly seen and understood that continuing production solely with natural resources will lead to serious problems in future.

The demolition of buildings that have their economic lifespan or no longer demonstrate sufficient structural integrity for use, along with the debris left behind from natural disaster, fires, and earthquakes, as well as concrete waste generated from various experiments conducted in concrete laboratories, occupies a significant volume in our country. A considerable amount of concrete waste is generated annually in our country through these means. In short, concrete waste, with the debris it creates is a problem that causes both environmental and needs to be addressed.

With this study, waste concrete was turned into aggregate and replaced with natural aggregate in different proportions. The created samples were measured, and the feasibility of concrete production was investigated in terms of the physical and mechanical properties of the samples. The increase in the amount of GDA negatively affected the 28-day compressive strength. With the increase in GDA substitution percentage, the decrease in pressure values, unit volume weight and distribution values caused an increase in water absorption values. However, according to the study carried out in the experiment, the desired strength was achieved with the use of a certain amount of recycled bulk.

Keywords: Recycled aggregate, fresh concrete, Hardened Concrete, Construction Waste

KISALTMALAR

DKY	:	Doygun Kuru Yüzey
GDA	:	Geri Dönüştürülmüş Agregası
GDBA	:	Geri Dönüştürülmüş Beton Agregası
GDTA	:	Geri Dönüştürülmüş Tuğla Agregası
İYA	:	İnşaat Yıkıntı Atıkları
TGDA	:	Temizlenmiş Geri Dönüştürülmüş Agregası
TT	:	Tuğla Tozu
YFC	:	Yüksek Fırın Cürufu



TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 1. Bazı İllerin 2021 yılı inşaat ve yıkıntı atık miktarlarına ait sayısal veriler...	11
Tablo 2. Çimentonun Kimyasal Analizi	20
Tablo 3. Agrega Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Standartlar	23
Tablo 4. Beton Karma Suyuna ait Analiz Sonuçları	24
Tablo 5. Kimyasal Katkısının Teknik Özellikleri	25
Tablo 6. 1 m ³ Beton Üretimi için Gerekli Hesaplama	25
Tablo 7. C8/10 Agregalar için Elek Analizi.....	29
Tablo 8. C30/37 Agregalar için Elek Analizi.....	30
Tablo 9. Kıvam Sınıfları	35

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1. Çevrede Bulunan Atıkların Görünümü	7
Şekil 2. İnşaat Atıkları Depolama Alanı	8
Şekil 3. Atık Yönetimi Hiyerarşisi.....	10
Şekil 4. 2010 ve 2017 Yıllarında agrega üretim miktarları	12
Şekil 5. Doğal Agrega	14
Şekil 6. Geri Dönüştürülmüş Agrega	15
Şekil 7. Geri Dönüştürülmüş Agregaların Yüzeyleri.....	16
Şekil 8. Geri Dönüştürülmüş Agrega	16
Şekil 9. Taze Beton Kıvamı.....	18
Şekil 10. Atık Beton Numunelerini Kesme İşlemi	21
Şekil 11. Atık Beton Numunelerinin Öğütülmesi.....	21
Şekil 12. Geri Dönüştürülmüş Agregalar	22
Şekil 13. Agregaların Etüve Konulması.....	22
Şekil 14. Elek Analizi.....	22
Şekil 15. Elek Analizi.....	23
Şekil 16. Agrega Grupları.....	23
Şekil 17. Katkı Malzemesi	24
Şekil 18. Beton Numune Kalıpları	25
Şekil 19. Beton Karma Makinesi	26
Şekil 20. Dökülen Numuneler	26
Şekil 21. Elek Analizi Deney Düzenneği.....	28
Şekil 22. Elek Analizi Yapım İşlemi.....	29
Şekil 23. C8/10 Atık Beton Boyut Dağılımı	30
Şekil 24. C30/37 Atık Beton Agrega Boyut Dağılımı	31
Şekil 25. Agregalara Ait Özgül Ağırlık Sonuçları.....	32
Şekil 26. Los Angeles Deney Düzenneği	33
Şekil 27. Agregaların Aşınma Yüzdesi(%)	34
Şekil 28. Taze Beton Karışımı.....	35
Şekil 29. Çökme Deneyi.....	35
Şekil 30. Taze Betonda Çökme Miktarı.....	36

Şekil 31. Beton Basınç Deneyi	37
Şekil 32. Beton Basınç Deneyi Düzenegi	38
Şekil 33. Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımı	38
Şekil 34. Sertleşmiş Beton Su Emme Yüzdeleri	39



GİRİŞ

Geçmişten bugüne kullanılan doğal kaynaklar artık günümüzde gelişen sanayi, teknoloji ve artan nüfus ile birlikte artış eğilimi göstermektedir. Bu yüzden dünya doğal kaynak yetersizliği riski ile karşı karşıya kalmıştır.

Geçmişe oranla ciddi artış gösteren kentleşme ve nüfus artışına bağlı olarak konut inşaatlarının sayısı ve diğer betonarme yapılarda sayıca artış görülmektedir. İnşaat sektöründe gerek çarpık kentleşmeyi önlemek gerek yeterli konut ihtiyacını karşılayabilmek için kentsel dönüşüm projeleri uygulanmaya başlanılmıştır. Kentsel dönüşümle birlikte yeni yapım çalışmaları için ekonomik ömrünü tamamlayarak istenilen dayanımı sağlamayan mevcut yapıların yıkımı ve farklı şekilde oluşan diğer betonarme atıklar, çevresel sürdürülebilirlik kavramı için önemli bir problem haline gelerek gündeme taşınmıştır. Bu sorunlar için etkili çözüm arayışına girilmiştir.

İnşaat sektörü hammaddesinin yaklaşık %50'si doğal kaynaklar kullanılarak elde edilmektedir. Sektör için harcanan enerji ise toplam enerji tüketiminin %40'ını oluşturmaktadır. Benzer şekilde inşaat atıkları da toplam atığın %50'sini oluşturmaktadır (Oikonomou, 2005).

İnşaat sektöründe hacimce en çok kullanılan malzemelerin başında betonun ağırlıkça %60-80'ini oluşturan agrega gelmektedir (Öztürk, 2003). Tüketilen doğal agrega miktarındaki artış ve agrega kaynaklarının ise zaman içerisinde bu ihtiyaca olumlu cevap veremeyeceği düşünüldüğünde; kullanılmış beton atıklarının geri kazanılmasının önemi, yeni üretilecek beton ve beton türevi yapılar için artış göstererek önem kazanmaktadır.

Geri kazanılmış atıkların kullanımı hem doğal kaynakların daha uzun süre kullanımına katkı sağlayacak hem de çevresel kirlilik ve depolama alanı gibi birçok sorunu ortadan kaldırmaya yardımcı olacaktır. Geri kazanılmış betonlar, ilgili yönetmeliklere ait standartları sağlamak şartı ile gerekli işlemlerden sonra birçok yeni inşaat ürününde kullanılabilir.

Özetle; doğal agrega kaynaklarındaki azalma, depolama sorunu, çevresel kirlilik gibi başlıca sorunlara çözüm bulmak amacıyla atık betonların geri dönüştürülmesi önemli katkılar sağlayacaktır.

Geri dönüşüm ile, atık betonlardan elde edilecek agregaların kullanılmasıyla ülkemizde bulunan doğal agrega rezervlerinin azalmasının önlenmesi ve dengeli bir kullanım sağlanması, yani doğal agregaya alternatif oluşturup talepleri bölüşerek doğal kaynaklara olan bağılılığın azaltılması ve doğal kaynakların daha uzun süre kullanılmasının sağlanması, inşaat sektörü için sürdürülebilir malzeme kavramının hayata geçirilmesi ve çevre dostu bir ilerleme kaydedilmesi, beton atıklarının depolandığı atık sahalarının ortadan kaldırılması ile çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması, atık betonların tekrar geri dönüştürülmesi ile ekonomik ve çevresel kazanç sağlanması amaçlanmıştır.



1. LİTERATÜR TARAMASI

Farklı nedenlerden dolayı oluşan beton atıklarının geri dönüştürülerek tekrar kullanılmaya başlanması ülkemizde ve dünyada pek çok araştırmacı tarafından incelenmektedir. Hedeflenen amaçlar, yapılan çalışmalar ve elde edilen bulgular bu bölümde derlenmiştir.

Rami, Haya, Cemal, vd. (2023), yapmış oldukları çalışmada normal agregaları kısmen geri dönüştürülmüş agregalarla değiştirerek beton karışımlarının tasarımında ekolojik ve sürdürülebilir kavramlarını uygulamayı amaçlamışlardır. Basınç dayanımı 40 MPa beton karışımları üretmek için farklı oranlarda geri dönüştürülmüş kaba agregalar kullanılmıştır. Kullanılan geri dönüştürülmüş agregaların yüzdeleri %20, %40, %60, %100 ve karşılaştırma yapmak amacı ile %100 doğal agregalı şahit numune hazırlanmıştır. Beton Karışımlarının mekanik ve fiziksel özelliklerini belirlemek için basınç dayanımı testleri, çökme testleri ve su geçirgenliği testlerine tabi tutulmuştur. Kaydedilen bulgular ışığında % 20 ve %40 geri dönüştürülmüş agregaların kullanılması, normal betona kıyasla yeterli basınç dayanımı ile sonuçlanmıştır. Öte yandan, normal agregalara kıyasla %60 ve %100 geri dönüştürülmüş agregalar kullanıldığında basınç dayanımı büyük ölçüde azalmıştır sonuçlarına varılmıştır (Rami, Haya, Cemal & ark, 2023).

Aydın vd. (2021), geri dönüştürülmüş beton agregası (GDBA) ve geri dönüştürülmüş tuğla agregası (GDTA), %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında doğal agrega ile ikame ederek farklı numuneler hazırlayarak fiziksel ve mekanik özellikleri bakımından beton üretiminde kullanılabilirliği araştırılmıştır.

Genel olarak kontrol numunesine göre geri dönüşüm agregası (GDA) miktarındaki artış, su emme ve porozite yüzdelerinde artışa neden olurken birim hacim ağırlık, yoğunluk ve kompasite değerlerinde azalmaya neden olduğu görülmüştür. Her iki agrega çeşidiyle hazırlanan numuneler için GDA miktarının artması 28 günlük basınç dayanım sonuçlarını olumsuz etkilediği kaydedilmiştir. Bu çalışma sonucunda her iki atık malzemenin geri dönüştürülmesi ile elde edilen agregaların beton üretiminde belirli oranda kullanılabileceği ancak dikkat edilmesi gereken hususlar olduğu çalışma ile belirlenmiştir (Aydın, Çelik & Güneş, 2021).

Memişoğlu (2019), çalışmasında beton parke ve bordür yapı elemanlarının üretim süreci işlemleri sırasında meydana gelen atıklardan elde edilen geri dönüşüm agregaları ile %20, %40, %60, %80 ve %100 oranlarında üretilen beton parkenin ve aynı karışım özelliklerine sahip doğal agregalı beton parkenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin ile karşılaştırarak geri dönüştürülmüş agreganın beton parke yapımında uygunluğunu araştırmıştır ve genel olarak %40 ve üzeri karışım oranlarında şartname kriterlerini sağlamadığını gözlemlemiştir (Memişoğlu, 2019).

Pourghadri ve Şimşek (2018), çalışmada atık betonlardan elde edilen agrega ve bu agrega ile üretilen betonun özellikleri incelenmiştir. Araştırmada GDA %20, %40, %60, %80 ve %100 olarak kırma taş agregası (KTA) ile ince ve iri olarak ikame edilerek beton üretiminde kullanılmıştır. Bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimentosu ve çimento ağırlığının %20'si oranında uçucu kül ikame edilerek beton örnekler üretilmiştir. GDA ikameli betonun 28 ve 90 günlük basınç dayanımı belirlenmiştir. GDA' sının KTA' ya göre daha yüksek su emme oranına sahip olmasından dolayı GDA ikame oranı arttıkça taze betonda çökme değeri azalmıştır. Kontrol betonu (KB) bütün yaşlarda en yüksek dayanımı vermiş ve GDA ikame edildiğinde basınç dayanımında düşüş gözlenmiştir. GDA ikameli betonların aderans dayanımı ve ıslanma kuruma sonrası basınç dayanımlarının KB'na göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir (Pourghadri ve Şimşek 2018).

Canpolat (2018), çalışmasında Kayseri çinko-kurşun üretim tesisi atık agregası ile üretilen beton parke taşlarının fiziksel ve mekanik özelliklerine dair araştırmalar yapmıştır. Kayseri çinko-kurşun tesisi tarafından meydana gelen atıklar kullanılarak üretilen beton parke taşları mevcut bulunan kontrol grubu parke taşları ile karşılaştırılarak bazı özellikler hakkında fikir sahibi olmamızı sağlamıştır.

Yapılan çalışma sonuçlarına göre, geri dönüşüm atıkları ile oluşturulan ürünün birim hacim ağırlıklarının azaldığı, su emme ve boşluk oranlarını arttırdığı, yarmada çekme dayanımlarını düşürdüğü, aşınma ve donma çözülmeye karşı dirençlerini azalttığını gözlemlenmiştir (Canpolat, 2018).

Kaya vd. (2016), çalışmalarında 5 farklı kullanım alanından ve her alan için 12 adet olmak üzere toplamda 60 adet beton kilitli parke taşı temin etmiştir. Temin edilen numunelerin TS 2824 EN1338 standardına uygun su emme ve dayanım özelliklerini incelemiştir. Numunelerden elde edilen sonuçları, standartta belirtilen sınır değerler

ile karşılaştırmış; sonuç olarak bütün guruplarda su emme yüzdelерinin standartta belirtilen sınır değerin altında olduğu görmüşür. Dayanım değерlerinde ise gurup ortalama değерleri standarttın altında kaldığını tespit etmiştir (Kaya & Karakurt, 2016).

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

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

2. GERİ DÖNÜŞÜM VE İNŞAAT SEKTÖRÜNDEKİ YERİ

2.1. Tezin Kapsamı ve Amacı

Ülkemizde ve dünyada artan tüketime bağlı olarak doğal kaynak rezervlerinde azalma olmaktadır. Doğal kaynaklara alternatif olması için mümkün olan ürünlerin geri dönüşümü bir çözüm olarak görülmüş ve bu sürece dâhil edilmiştir. İnşaat sektörü problemin başlıca kaynaklarından biri olarak karşımıza çıkmaktadır.

İnşaat sektörü, doğal kaynakların %50'sini, enerjinin %40'ını kullanan, atıkların %50'sinin ait olduğu sektör olarak kötü bir ün salmıştır (Oikonomou, 2005). Gerek çevresel sorunlara çözüm için gerek doğal kaynaklara ikinci bir alternatif açısından geri dönüşüm kaçınılmaz hale gelmiştir.

Kentsel dönüşümle birlikte, laboratuvar deney atıkları ve farklı şekillerde oluşan beton atıkları çevremiz açısından ciddi sorunlar oluşturmaktadır. Bu tezin başlıca amacı; çevresel sürdürülebilirliğin artırılmasına ve doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamak için atık betonları geri dönüştürerek ilgili yönetmenlik ve standartlara uygun farklı alanlarda kullanılabilirliğinin test edilmesidir. Böylece tez kapsamında önerilen yöntemlerle hem çevresel sorunları azaltmak hem de geri dönüşüm sağlayarak doğal agregaya ikinci bir alternatif oluşturmak hedeflenmiştir. Diğer bir amaç ise; önemli bir atık kaynağı olan inşaat ve yıkıntı atıklarının bertarafından doğan çevre kirliliğinin önüne geçmektir. Söz konusu atıkların bertarafı belirlenen depo alanlarına gömülerek yapılmaktadır. Bu yöntem ile yapılan bertaraf işleminde sürekli yeni alan ihtiyacı doğmaktadır. Aynı zamanda gömülerek bertaraf edilen atıklar yok olmamakta ve çevresel bir kirliliğe neden olmaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıklarının tüm bu olumsuzlukları göz önüne alındığı zaman geri dönüşümün gerekli bir olay olduğu ortaya çıkmıştır.

Tez kapsamında atık betonlar geri dönüştürülerek farklı alanlarda kullanılması amaçlanmıştır. Bununla birlikte atık durumdaki betonlar depolandıkları alanda oluşturdukları atık yığınları ile çevreye yakışmayan görüntüler sergileyerek görüntü kirliliğine ve bertaraf edilmediği için sürekli doğa ile iç içe kalması çevre kirliliğine, bertaraf edilmeyen atıkların sürekli depolama yoluna gidilmesi ile yeni arazi ihtiyaçlarının doğması da arazi ihtiyacına neden olmaktadır. Çevresel sorun yaratan atıklar değerlendirilerek çevresel problemlerinde önüne geçilmek istenmiştir. Geri

dönüşüm ile birlikte hedeflenen amaçların gerçekleştirilerek farklı açılardan katkılar sağlanması düşünülmektedir.

2.2. Geri Dönüşümün Gerekliliği

Farklı alanlarda kullanılmış malzemelerin fiziksel ya da kimyasal işlemle sonra tekrar kullanılabilir hale getirilmesine geri dönüşüm adı verilir(URL-1,2023).

Günümüzde artan nüfusa bağlı olarak tüketim hızlanmış ve sonuç olarak oluşan atık miktarı da artmıştır. Doğal kaynaklar açısından düşünüldüğü zaman büyük bir problem ile karşı karşıya kalmakta olan dünya için geri dönüşüm her alanda büyük önem kazanmıştır. Ayrıca sürdürülebilir malzeme akışını sağlamak adına geri dönüşüm önemli bir yöntemdir. Hiçbir doğal kaynak sınırsız değildir. Geri kazandırılmış ürünler ile doğal kaynaklara alternatif oluşturarak ölçülü ve verimli bir doğal kaynak tüketimi gelecek için daha yaşanılabilir bir dünya ortamı hazırlayacaktır.

Geri dönüşüm, çevremiz içinde önem arz etmektedir. Geri dönüşümü mümkün olan malzemelerin bu sürece dâhil edilmeyerek atık miktarlarını ciddi oranda arttırması daha büyük alan ihtiyacı doğurmuştur. Bununla birlikte verimli arazilerin depolama alanı olarak kullanılma işlemi de beklenen bir sonuçtur. Şekil 1 ve Şekil 2’de görüldüğü gibi çevre açısından görüntü kirliliğine de neden olmaktadır.



Şekil 1. Çevrede Bulunan Atıkların Görünümü (URL-2, 2023)



Şekil 2. İnşaat Atıkları Depolama Alanı (URL-3, 2023)

Özet olarak; geri dönüşüm çevre sağlığı, insan sağlığı ve çevre dengesi için büyük önem arz etmektedir. Bu atıklar içerisinde inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesi sektör için alternatif bir yöntem olarak doğal kaynaklara duyulan ihtiyaçları azaltması yönünde önemlidir. Bu açıdan bakıldığında zaman, geri dönüşüm yukarıda bahsedilen birçok olumlu yönleri ile günümüz dünyası için mevcut problemlere çözüm sunmakta ve gelecek için ise daha yaşanılabilir bir dünya oluşturmaktadır.

2.2.1. İnşaat Yıkıntı Atıkları

Günümüzde miktarları ülkeden ülkeye ve bu ülkelerdeki şehirlere göre değişmekle birlikte, inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA) katı atıklar içerisinde ciddi bir alan tutmaktadır (Huang, Wang, Kua, Geng, Bleischwitz & Ren, 2018).

Söz konusu atıkların geri dönüştürülerek tekrar kullanılmasının önemli bir ihtiyaç olduğu görülmektedir. Çevresel sorunların günlük hayatımızı etkilemesi ile birlikte çevreye olan duyarlılığın artması, inşaat sektöründeki doğal kaynakların sonsuza kadar yetmeyeceği yani sınırlı miktarda olması gibi koşullar sebebi ile geri dönüşüm çok önemli hale gelmiştir(Poon, Shui, Lam & Kou, 2004).

İnşaat yıkıntıları ve beton atıkları farklı şekillerde oluşmaktadır. İnşaat ve yıkıntı atıkları literatürde, konut, köprü, yol ve benzeri yapıların tadilatı, tamirâtı, yıkımı ve yapımı ve hatta doğal afetler neticesinde ortaya çıkan atıklar olarak tanımlanır(Ölmez & Yıldız, 2008).

Günümüzde artan kentsel dönüşüm çalışmaları, farklı yapılarda yıkım, tadilat, tamirat, güçlendirilme, bakım ve geliştirilme faaliyetleri, yapı malzemeleri laboratuvarı deney atıkları bunların başlıcalarıdır. Beton atıkları, inşaat ve yıkıntı atıkları içerisinde ağırlıkça en büyük payı oluşturmaktadır (Oikonomou, 2005). İnşaat atıklarının depolama sahalarının yetersizliği ve bu atıkları depolamanın ülke ekonomisine getireceği yük düşünülmeli hem ekonomik hem de çevresel sebepler açısından atıkların geri kazanım yoluyla yeniden değerlendirilmesi en uygun yöntem olarak öngörülmektedir.

2.2.2. İnşaat Yıkıntı Atıklarının İçeriği

İnşaat ve yıkıntı atıklarının içerdiği malzeme tipleri bulunduğu coğrafyaya göre farklılıklar gösterebilmektedir. Genel olarak içeriğinden bahsedecek olursak; İnşaat ve yıkıntı atıkları başta beton olmak üzere, kum, çakıl, tuğlalar, seramik, doğal kayaçlar, asfalt, çeşitli tahta parçaları, çeşitli metaller, alçı, kartonpiyer, cam parçaları, plastik, yalıtım malzemeleri vb. ile insan sağlığına için zararlı bazı maddeleri (asbest, kurşun vb.) içerebilmektedir (Rakshvir vd., 2006; Samton, 2003; Poon, 2007).

İnşaat yıkıntı ve atıklarının içeriğinin farklı olmasını etkileyen başlıca etmenleri şöyle sıralayabiliriz;

- İklim ve Coğrafi Sebepler
- Bölgelerde hakim olan kültür ve bölgede teknolojinin gelişmişlik düzeyi
- Sosyal ve ekonomik etkenler

Sonuç olarak inşaat yıkıntı atıklarının içeriğine bakıldığında bölgesel olarak farklılıklar gösterdiği ve içerdiği malzeme oranları bakımından farklılıkların olabileceği görülmektedir.

2.2.3. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Yönetimi

Atık yönetimi; çeşitli nedenlerden dolayı oluşan atıkların çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini önlemek veya azaltmak amacıyla farklı yöntemlerin belirli hedeflere ulaşmak amacıyla atıkların taşınması, geri kazanılması, geri kazanım ve bertaraf tesislerinin işletilmesi biçimindeki süreçtir (URL-4,2023).

İnşaat ve yıkıntı atıklarının gelişen sanayi ve yenileşme ile birlikte oluşması kaçınılmazdır. Oluşan inşaat atıklarının yönetimi de geri dönüşüm için oldukça

önemlidir. Şekil 3'te görüldüğü gibi atık yönetimi için izlenilecek öncelikli adımlar atık yönetimi hiyerarşisinde gösterilmektedir.



Şekil 3. Atık Yönetimi Hiyerarşisi (URL-4, 2023)

Doksanlı yıllarda bazı Avrupa ülkelerinde İnşaat ve yıkıntı atıkları belirli oranlarda kullanılmaya başlanmıştır. İnşaat ve yıkıntı atıklarının ülkelere göre geri dönüşüm oranlarını şöyle sıralayabiliriz; Belçika'da %80, Almanya'da %60, Danimarka ve Finlandiya'da %40, Hollanda ve İsveç'te %20 civarındadır (Oikonomou, 2005).

2002 yılı verilerine göre, Danimarka, Almanya ve Hollanda'da bu atıklarının %80' den fazlası, Finlandiya, İrlanda ve İtalya'da %30 ile %50 arası, Lüksemburg'da ise %10'u geri dönüştürülerek kullanılmıştır (Nunes, Mahler, Valle & Neves, 2007). Hollanda'da İnşaat ve yıkıntı atığından elde edilen çeşitli boyutlardaki taş malzemenin %95'i yol taban malzemesi olarak tekrar kullanılmakta, yeniden kullanımın seviyesi ve kalitesini yükseltmeye yönelik çalışmalar yürütülmektedir (Mulder, Jong & Feenstra, 2007).

Türkiye'deki yıllık katı atık miktarı da her yıl artarak tehlikeli denilebilecek boyutlara kadar ulaşmıştır. 2020 yılı verilerine göre yıllık 30,9 milyon tonu tehlikeli olmak üzere toplam 104,8 milyon ton atık oluşmaktadır (TÜİK, 2020). Görüldüğü gibi ülkemizde de inşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanılması önemli bir ihtiyaçtır.

2.2.4. İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Kazanılmasının Gerekliliği

İnşaat ve yıkıntı atıkları Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği'ne göre şöyle tanımlanmaktadır;

İnşaat atıkları; çeşitli, alt ve üst yapıların (bina, konut, köprü, yol vb.) yapımı esnasında ortaya çıkan atıklar, yıkıntı atıklar ise alt ve üst yapıların tamiratı, tadilatı, yenilenmesi, yıkımı veya doğal bir afet sonucunda ortaya çıkan atıklar olarak tanımlanmaktadır (URL-5, 2023).

Son yıllarda atık miktarının artış gösteren bir grafik çizdiği ve yürürlüğe giren Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun (2012) ile bu artış eğiliminin daha da arttığı düşünülmektedir (URL-6, 2023). Bu kanun ile birlikte milyonlarca yapının yıkılması tahmin edilirken birçok konutun dönüşümü gerçekleşmiştir (Kotan, 2016).

Valiliklerce yayınlanan 2021 İl Çevre Durum Raporlarına göre hafriyat toprağı ve inşaat/yıkıntı atık miktarlarına ait bazı iller için veriler Tablo1'de verilmektedir. (URL-7, 2023; URL-8, 2023, URL-9, 2023; URL-10, 2023; URL-11, 2023; URL-12, 2023 URL-13, 2023).

Tablo 1. Bazı illerin 2021 yılı inşaat ve yıkıntı atık miktarlarına ait sayısal veriler

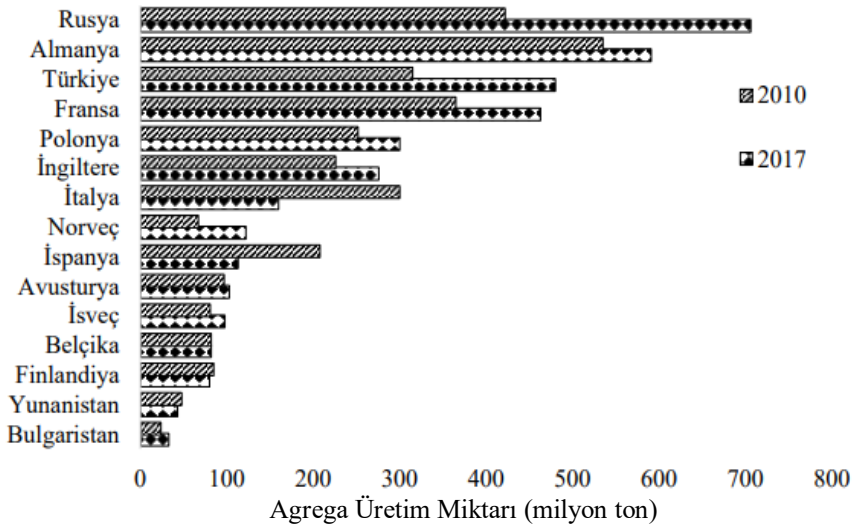
İL	Ortaya Çıkan İnşaat , Yıkıntı ve Hafriyat Atık Miktarı(ton/yıl)
TRABZON	1.466.786
İSTANBUL	21.719.319
KOCAELİ	5.380.610
İZMİR	885.208
BURSA	1.673.073
MANİSA	1.446.212
KONYA	877.154

Tablo 1'de görüldüğü gibi illerin atık miktarları illerin büyüklüğü ve demografik yapılarına ve bazı parametrelere bağlı olarak artış göstermiştir. Mevcut atıkların her geçen gün artarak çevre ve insan sağlığı, depolama alanı yetersizliği, doğal kaynakların sınırlı olması gibi sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar için önlem ve yöntemlerin mecburi olduğu düşünülmektedir.

2.3. Geri Kazanılmış Agregalar

İnşaat ve yıkıntı atıklarının kırma, eleme gibi bir takım işlemlerden geçirilmesi ile birlikte geri dönüşümlü agregalar (GDA) elde edilmiştir. Geri dönüşümlü agregalar doğal agregaya alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Doğal agregaların hızla tükenmesi ve gelecek için yeterli olmayacağı düşünüldüğünde alternatif bir ürüne ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Şekil 4'te Avrupa Agregalar Birliği (European Aggregates Association, UEPG) tarafından 2010 ve 2017 yıllarında 15 farklı ülkeye ait agrega üretim miktarlarına ait sayısal verilere yer verilmiştir. Şekil 4'te görüldüğü gibi birçok ülkenin talepleri karşılamak için agrega üretimi her geçen yıla oranla artış göstermiştir (UEPG, 2018). Bu grafiğe bakılarak gelecek yıllar içinde artarak devam edeceği düşünülmektedir yorumu yapılabilir.



Şekil 4. 2010 ve 2017 Yıllarında agrega üretim miktarları (UEPG, 2018)

Doğal agrega ve GDA'lar (Geri Dönüşümlü Agrega) beton üretiminde kullanılmaktadır (Neville, 2000). Bu agregalar beton üretimi için kullanılırken bazı özelliklere sahip olması istenir. Bu özellikleri şu şekilde sıralayabiliriz; organik madde içermemesi, kil taşımaması, klor ve sülfat iyonları gibi zararlı iyonları içermemesidir. Bunların dışında agregaların türü, geometrik şekilleri ve gronülometrik özellikleri de beton mukavemetini etkiler. Maksimum dane çapı da beton mukavemeti üzerinde etkili bir etmendir. (Yalçın & Gürü, 2006)

Betondan bazı fiziksel ve mekanik özellikler beklenmektedir. Bunlar istenilen hedef dayanım, servis ömrü boyunca çevresel etkilere karşı yeterli dayanıklılığa ve hacim sabitliğine sahip olmasıdır (Mehta, 2002; Öztürk, 2005).

2.3.1. Geri Kazanılmış Agregaların Sınıflandırılması

Dünya çapında birçok araştırmacı geri kazanılmış agregaların kullanımı üzerine çalışmakta ve deneyler yapmaktadır. Ancak çok az ülkede (ABD ve Japonya gibi) bu agregaların kullanılması ile ilgili yönergeler bulunmaktadır.

Agregalar farklı şekillerde sınıflandırılabilir. RILEM (Reunion Internationale Des Laboratoires D'essais Et De Recherches Sur Les Materiaux Et Les Constructions) komitesi ise geri dönüşümlü agregalar için aşağıdaki gibi bir sınıflandırma yapmıştır. (Rilem, 1994)

- Tip 1: Duvar molozlarından elde edilen agregalar
- Tip 2: Beton molozlarından elde edilen agregalar
- Tip 3: Doğal agregalar ile geri kazanılmış agregaların karışımından elde edilen agregalar olarak sınıflandırılmıştır.

Bu şekilde agregaların sınıflandırılması bazı kesimler tarafından yeterli görülmemiştir. Agregaları daha detaylı sınıflandırmayı isteyen İngiltere’de yapı işleri konusunda gerek ulusal gerekse uluslararası standartların hazırlayıcısı konumundaki yapı araştırma kurumu BRE (Building Research Establishment) sınıflandırmanın kapsamına ek açıklamalar eklemiştir. RILEM sınıflandırmasını temel alınarak yeni bir sınıflandırma ile kapsam genişletilmiştir; BRE’ye (Building Research Establishment) göre;

- 1. Tip geri kazanılmış agregalar tuğla orijinli olmakla birlikte ağırlıkça %100’e kadar tuğla malzeme içerebilmektedir.
- 2. Tip geri kazanılmış agregalar beton orijinli olmakla birlikte ağırlıkça %10’a kadar tuğla malzeme içerebilmektedir.
- 3. Tip geri kazanılmış agregalar beton ve tuğla orijinli olmakla birlikte ağırlıkça %50’ye kadar tuğla malzeme içerebilmektedir (BRE, 1998).

2.3.2. Geri Kazanılmış Agregaların ve Doğal Agregaların Teknik Özellikleri

Beton üretiminde kullanılan doğal agregaların teknik özelliklerinin standartlara uygun olması beton performansı için oldukça önemlidir. Bu yüzden geri dönüştürülmüş agregaların teknik özelliklerine bakılarak ve doğal agregalar ile karşılaştırılarak ön bilgi elde edilebilir.

a)Tane Biçimi ve Yüzey Dokusu

İlk olarak tane şekli ve boyutuna bakacak olursak; agreganın biçim ve yüzey dokusunun betonun işlenebilirliğini ve buna bağlı olarak su ihtiyacını etkilediğini söyleyebiliriz.

Geri dönüştürülmüş agregalar öğütülerek kalın ve ince agrega haline getirilmektedir. Geri dönüştürülmüş agregaların muhtevasında tuğla ve kiremit gibi farklı türden maddelerin bulunması öğütme işlemi sonucunda daha ince taneli malzemeler elde edilmesine sebep olur. Tane şekli olarak Şekil 5’te görüldüğü gibi doğal agregalar daha yuvarlak bir yapıya sahip olduğu görülmektedir. Şekil 6’da görüldüğü gibi geri dönüştürülmüş agregalar ise daha yassı (yüzey alanı geniş) ve pürüzlü yapıya sahiptir. Bu durum betonun su ihtiyacını etkilemektedir. Belirli bir işlenebilirlik için daha fazla suya ihtiyaç duyması demektir.



Şekil 5. Doğal Agrega



Şekil 6. Geri Dönüştürülmüş Agregalar

b) Özgül Ağırlık

Geri dönüştürülmüş agregalar yüzeyinde harç kalıntıları olması bakımından doğal agregalara nispeten daha boşluklu bir yapıya sahip olduğu literatür araştırmalarında görülmüştür. Bu bilgiyi sayısal olarak ifade edecek olursak; geri kazanılmış agregalar doğal agregalara göre %24-29 oranında daha boşluklu bir formdadır (Hoffmann , Schubert , Leemann & Motavalli, 2012). Geri kazanılmış agregaların daha boşluklu yapıda olması diğer özellikleri doğrudan etkileyen faktörler arasındadır. Aynı zamanda geri kazanılmış agregaların içinde bulunan çeşitli malzemeler (alçı, sıva, tuğla, cam, kiremit gibi) özgül ağırlık değerini etkilemektedir. Yine yapılan çalışmalara bakacak olursak geri kazanılmış agregaların özgül ağırlık değerleri $2,45 \text{ kg/dm}^3$, doğal agregaların özgül ağırlık değerleri $2,60 \text{ kg/dm}^3$ olarak belirlenen çalışmalar mevcuttur (Topçu, 1997; Poon, 1997).

Genel olarak yapılan çalışmalarda atık beton içeriğine göre farklı özgül ağırlık değerlerine sahip atık betonlarda mevcut olup doğal agregalar ile karşılaştırıldığı zaman düşük özgül ağırlığa sahip olduğu görülmektedir.

c) Su Emme Değeri

Geri dönüştürülmüş agregaların daha boşluklu bir yapıda olduğu bilinmektedir. Boşluklu bir yapıya sahip olan geri dönüştürülmüş agregalar doğal agregalara kıyasla su emme eğiliminin daha fazla olduğunu söyleyebiliriz. Yapılan farklı çalışmalar sonucunda su emme değerinin geri dönüşümlü agregalar ve doğal agregalar için gözle görülür bir farklılık olduğu sonucuna varılmıştır (Yang & Bao, 2011). Aynı şekilde Corinaldesi yapmış olduğu çalışmalarda doğal agregalar için su emme değerini %3-

3.5, geri dönüşümlü agregalar için ise su emme değerini %6.8-8.8 aralıklarında değerler kaydetmiştir (Corinaldesi, 2010). Boşluklu yapısı sebebiyle daha fazla su emme ihtiyacı, beton karışımındaki su dengesinde önemli değişimlere neden olur. Bu olumsuzluğun giderilmesi çeşitli akışkanlaştırıcı katkı maddeleri ile giderilebilir.

d) Aşınma Oranı

Los Angeles aşınma deneyi yapılarak agregaların aşınma oranı belirlenmektedir. Geri kazanılmış agregaların dış yüzeylerinde bulunan çatlamış, dış etkilere maruz kalmış ve zarar görmüş harç kalıntıları aşınma oranını etkilemektedir.

Şekil 7 ve Şekil 8’de geri dönüştürülmüş agregaların yüzeyleri net olarak görülmektedir. Bu şekilde kolay parçalanabilen formdaki yapıları içermesi aşınma oranı değerini etkilemektedir. Yapılan çalışmalarda belirtilen oranlara göre aşınma oranı doğal kırma agregalar için %23.9, geri kazanılmış agregalar için ise bu değer %35.6 olduğu görülmektedir (Durmuş, Şimşek & Dayı, 2009).



Şekil 7. Geri Dönüştürülmüş Agregaların Yüzeyleri



Şekil 8. Geri Dönüştürülmüş Agregalar

2.4. Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton Özellikleri

Agreganın teknik özelliklerinin istenilen standartlarda olması hazırlanacak olan betonun da istenilen formda olmasını sağlamaktadır. Geri dönüştürülmüş agreganın teknik özelliklerinin yetersiz kaldığı yerlerde çeşitli kimyasal maddeler kullanılarak betondan istenilen dayanım alınmaya çalışılmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalarda yapının boşluklu olması gerekli su ihtiyacını arttırmakta ve su/çimento oranında dengeyi bozmaktadır. Kısaca agreganın teknik özellikleri gerek taze gerek sertleşmiş betonun performansını doğrudan etkilemektedir.

2.4.1. Taze Beton Özellikleri

Taze beton karıştırma işlemi tamamlanmış fakat priz yaparak plastikliğini henüz kaybetmemiş betondur. Taze betonda aranan en önemli özellik işlenebilirlik ve üniformalıktır diyebiliriz.

a) İşlenebilirlik ve Kıvam

İşlenebilirlik kavramı, taze betona ait birkaç farklı özellikleri barındırmaktadır. Taze betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi gibi özellikleri tek bir terimle ifade edilmesidir. Beton bileşimi ve betonu oluşturan bileşenlerin özellikleri işlenebilirliği etkileyen faktörlerden biridir. Geri dönüşüm agregalarının boşluklu yapıda olması karışım içerisindeki su miktarını absorbe ederek taze beton işlenebilirliğini etkilemektedir.

Yapılan çalışmalarda geri dönüştürülmüş agregaların karışımındaki su dengesini bozmasına çözüm olarak kimyasal katkı malzemelerinin kullanılabileceği önerilmiştir. Pereira vd. isede, süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanarak daha boşluksuz bir beton elde edildiğini ve işlenebilirlik için gerekli su miktarının azaltılmasının mümkün olduğunu göstermiştir (Pereira, Evangelista & De Brito, 2012).

Şekil 9'da gda ile hazırlanmış bir beton karışımının kıvamı görülmektedir.



Şekil 9.Taze Beton Kıvamı

b) Taze Betonda Birim Hacim Ağırlık

Boşluklu yapıya sahip olan geri dönüşümlü agregaların birim ağırlıkları düşüktür. Geri dönüştürülmüş agregalar ile oluşturulmuş betonunda birim hacim ağırlığının doğal agregalar ile oluşturulan betona nispeten daha düşük olacağı anlaşılmaktadır. Katz tarafından yapılan çalışmalarda, taze beton karışımında yaptığı ölçümler sonucunda, geri kazanılmış agregalı betonların birim hacim ağırlığını yaklaşık 2100 kg/m³, doğal agregalı betonların ise yaklaşık 2400 kg/m³ olarak hesaplamıştır (Katz, 2003). Aynı şekilde bu çalışmayı destekler nitelikte farklı çalışmalar ve sonuçlarla karşılaşmakta mümkündür.

2.4.2. Sertleşmiş Beton Özellikleri

Sertleşmiş beton, dayanımını kısmen kazanmış genellikle 28 günlük ve daha uzun süre kürlenmiş beton için kullanılan terimdir.

a) Basınç Dayanımı

Sertleşmiş betonda aranan en önemli özelliklerinden birisi basınç dayanımıdır. Beton kalitesinde genellikle basınç dayanımı cinsinden tanımlanır ve ölçülür. Ayrıca betonun basınç dayanımı ile diğer çekme ve eğilme dayanımları arasında belli bir korelasyon kurmak mümkündür. Betonun basınç değerleri diğer dayanımlar hakkında da bir fikir edinebilmemizi sağlamaktadır.

Yapılan çalışmalar incelendiğinde; geri dönüştürülmüş agregalı betonlarda basınç dayanımının nispeten daha düşük olduğu görülmüştür. Fakat geri dönüştürülmüş agreganın belli oranda ikame edilmesi basınç dayanımı üzerinde ciddi

değişikliğe neden olmamıştır. Sheen vd, yapmış olduğu çalışmada geri dönüştürülmüş agregaların boşluklu yapıda olmasından kaynaklı basınç dayanımının düşük sonuçlar verdiğini gözlemlemiştir (Sheen, Wang, Juang & Le, 2013). Etxeberriavdise yapmış olduğu çalışmada şahit numune ile geri dönüştürülmüş agregalı beton numunede çimento miktarı ve su/çimento oranlarını sabit tutmuş. Beton numunelerin 28 günlük basınç dayanımında geri dönüştürülmüş agregalı beton numunesinin ilgili değerinin şahit numuneye kıyasla daha düşük sonuç verdiğini tespit etmiştir (Etxeberria, Vazquez, Mari& Barra, 2007).

b) Birim Hacim Ağırlık

Sertleşmiş betonun birim hacim ağırlığı içeriğinde kullanılan malzemelerin birim ağırlıkları ile ilgili olduğunu söylemek mümkündür. Geri dönüştürülmüş agregaların birim ağırlıklarının doğal agregaya göre daha düşüktür. Dolayısıyla geri dönüştürülmüş agrega ile hazırlana betonun birim hacim ağırlığının düşük değer vereceği çıkarımında bulunabiliriz.

3. DENEYSEL ÇALIŞMA: MALZEME VE METOT

3.1. Malzeme

Bu çalışmada geri dönüştürülmüş agrega ile yeniden beton üretimi amaçlanmıştır. Beton sınıfı C8/10 ve C30/37 daha önce dökülmüş betondan geri dönüşüm agregaları (GDA) elde edilerek iki farklı atık beton agregaları kullanılmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalar %30-%50-%100 şeklinde doğal agregalar ile ikame edilmiştir.

3.1.1. Beton Karışımı

Beton karışımını oluşturan malzemeler; agrega, çimento ve sudur. İhtiyaç duyulduğunda üretilen betona farklı özellikler sağlayabilmek için ihtiyacın niteliğine göre katkı maddeleri de kullanılabilir. Betonu oluşturan malzemelerin miktarlarını belirlemek için öncelikle betonun sınıfının, işlenebilirliğinin ve maruz kalacağı çevresel etkileri bilmek gerekir.

İlgili çalışmada beton karışımı hazırlanırken agrega, çimento, su ve akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır.

A) Çimento

İlgili çalışma için hazırlanacak beton karışımı için bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal özellikleri Tablo 2 'de verilmiştir.

Tablo 2. Çimentonun Kimyasal Analizi

KİMYASAL ANALİZ			
OKSİTLER	KİMYASAL BİLEŞİM	ORTALAMA (%)	TİPİK BİLEŞİM (%)
Kalsiyum Oksit	CaO	60-67	63
Silisyum Dioksit	SiO ₂	17-25	20
Alüminyum Oksit	Al ₂ O ₃	3-8	6
Demir Oksit	Fe ₂ O ₃	2-4	3
Sülfür	SO ₃	1-3	2
Magnezi	MgO	1-4	2
Alkaliler	Na ₂ O+K ₂ O	0.2-1.3	1
Serbest Kireç	CaO		1.5
Klorür Muhtevası	Cl ⁻		≤ 0.1
Kızdırma Kaybı			2
Çözünmeyen Kalıntı			1

B) Agreg

Agregalar beton üretiminde kullanılan ve hacimce betonun %70-80'ini oluşturan malzemeler olduğundan bahsedilmiştir. Bu nedenle betonun hacimce büyük bir bölümünü oluşturan agreg

Bu çalışma için doğal agreg



Şekil 10. Atık Beton Numunelerini Kesme İşlemi



Şekil 11. Atık Beton Numunelerini Öğütme İşlemi



Şekil 12. Geri Dönüştürülmüş Agregalar

Geri dönüştürülmüş agregalar için izlenen adımlar Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12’de gösterilmiştir.

Geri dönüştürülmüş agregalar laboratuvar ortamında çeneli kırıcıda kırılarak istenilen boyutlara getirilmiştir. Kırılan agregalar 105 °C sıcaklıkta 24 saat etüvde bekletilerek elek analizi için uygun duruma getirilmiştir. Elek analizi yapılan agregalar için granülometri eğrileri oluşturulmuştur. Aynı şekilde Şekil 13, Şekil 14, Şekil 15 ve Şekil 16’da diğer adımlar izlenerek agrega grupları oluşturulmuştur.



Şekil 13. Agregaların Etüve Konulması



Şekil 14. Elek Analizi



Şekil 15. Elek Analizi



Şekil 16. Agregat Grupları

Agregaların özelliklerinin belirlenmesi için Tablo 3’de belirtilen standartlar kullanılmıştır

Tablo 3. Agregat Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Standartlar

AGREGA ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN STANDARTLAR	
TS EN 1097-6	Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler (TS EN 1097-6)
TS EN 932	Agregaların genel özellikleri için deneyler (TS EN 932)
TS EN 933-1 TS EN 933-3	Agregaların geometrik özellikleri için deneyler (TS EN 933-1; TS EN 933-3)

C) Beton Karma Suyu

Beton karışımında ve küründe TS EN 1008 standardına uygun Rize ili Dosma mahallesindeki şebeke suyu kullanılmıştır (TS EN 1008 , 2003).İlgili kurum tarafından (Rize Belediyesi) temin edilen analiz sonuçlarına ait bilgiler Tablo 4’te gösterilmiştir.

Tablo 4. Beton Karma Suyuna ait Analiz Sonuçları

Şebeke Su İçeriği Analizi	Sonuç
Renk	Uygun
Koku	Uygun
Bulanıklık	Uygun
pH	8,05
Klorür Muhtevası(mg/l)	0,3

D) Beton Katkı Maddesi

Beton katkı maddesi olarak akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Karışım için kullanılan kimyasal Ekan LT 4260 olup katkı maddesinin özellikleri Tablo 5’de gösterilmiştir. Kullanılan katkı maddesi yüksek oranda su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı bir katkıdır. Düşük su/çimento oranlarında beton üretiminin gerçekleşmesini sağlar ve betonun su geçirimsizliğini artırır. Şekil 17’de kullanılan katkı maddesi gösterilmiştir.



Şekil 17. Katkı Malzemesi

Tablo 5. Kimyasal Katkısının Teknik Özellikleri

KİMYASAL KATKISININ TEKNİK ÖZELLİKLERİ	
Görünüm	Homojen
Renk	Açık Kahverengi
Yoğunluk	1,08±0,03(kg/lt)
pH	5±1,5
Klorür İçeriği	<%0,1
Alkali İçeriği	<%6

E) Beton Üretimi

İlgili malzemeler kullanılarak 15x15x15cm³ küp boyutunda 18 adet numune ve 10x10x10cm³ küp boyutunda 18 adet olmak üzere toplamda 36 adet numune hazırlanmıştır. Beton numunesinin hazırlanmasında kullanılan kalıplar çelik, plastik ya da fiberglas olabilir. Bu çalışmada Şekil 18’de görülmekte olan plastik kalıplar tercih edilmiştir. Hazırlanan numunelerde %30-%50-%100 oranlarında geri dönüştürülmüş agregalar (GDA) kullanılmıştır.



Şekil 18. Beton Numune Kalıpları

Doğal Agregalar (DA) Rize-Salarha yolu üzerinde bulunan Yama-ko inşaata ait kırma-eleme tesisinden temin edilmiştir.

Tablo 6. 1m³ Beton Üretimi için Gerekli Hesaplama

AGREGA GRUPLARI						
GDA ikame %'si	Kaba GDA (kg)	İnce GDA (kg)	Kaba DA (kg)	İnce DA (kg)	Çimento (kg)	Su (kg)
Kontrol Numunesi			970,074	646,814	376,888	200
%30GDA+%70 DA	290,962	193,777	679,111	453,037	376,888	200
%50GDA+%50DA	485,037	323,555	485,037	323,555	376,888	200
%100 GDA	970,074	646,814			376,888	200

Beton hesabı hem C8/10 dayanımlı betonlardan oluşturulan agregalar için hem de C30/37 dayanımlı betonlardan oluşturulan agregalar için yapılmıştır. Tüm veriler sabit olarak alınmıştır sadece doğal agregaya ile ikame edilecek agregaya olarak iki farklı atık beton agregası kullanılmıştır.

Tablo 6'da görüldüğü üzere beton karışım hesabı yapılmış ve uygun numuneler üretilmiştir. Dayanım sınıfı C25/30 olarak belirlenmiştir. Belirlenen hedef dayanıma göre su/çimento oranı 0,53 olmuştur. Bütün numune betonları için kıvam S3 (100-150 mm çökme) olması sağlanması amaçlanmıştır.



Şekil 19. Beton Karma Makinası



Şekil 20. Dökülen Numuneler

Kontrol numunesi için doğal agregalar, geri dönüştürölmüş beton karışımlarında ise ihtiyaca göre geri dönüştürölmüş agrega kullanılmış olup su/çimento oranı ve çimento miktarı tüm karışımlar için sabit tutulmuştur.

Beton karma işlemi için Şekil 19’da görölen beton karma makinası kullanılmış olup Şekil 20’de dökölmüş olan numuneler görölmektedir.



4. BULGULAR

Bu bölümde geri dönüştürülmüş agregalar ile oluşturulan beton numuneleri belli deneylere tabi tutulmuş ve bu sonuçlara göre değerlendirmelerde bulunulmuştur.

4.1. Agregada Deneyleri

Beton karışımı için kullanılan agregaların bazı özelliklerinin tayini için; Elek analizi, özgül ağırlık, mevcut su içeriği, su emme, aşınma oranı deneyleri yapılmıştır.

4.1.1. Elek Analizi

Elek analizi geri dönüştürülmüş agregalar için yapılmıştır. C30/37 beton sınıfından elde edilen agregalar için ayrı, C8/10 beton sınıfından elde edilen agregalar için ayrı elek analizi yapılmıştır. Elek analizi için standart elekler kullanılmıştır. Kullanılan elek takımları kare delikli elek sistemi olup bu sistem 31.5, 16, 8, 4, 2, 1, 0.5 mm eleklerden oluşmaktadır. Şekil 21 ve Şekil 22’de yapılan elek analizi için işlemler mevcuttur.



Şekil 21. Elek Analizi Deney Düzeneği



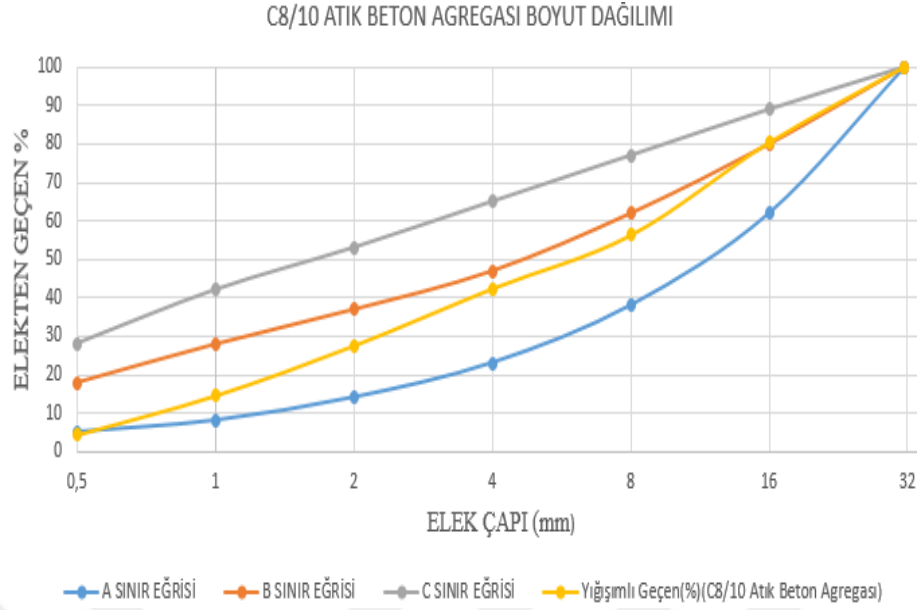
Şekil 22. Elek Analizi Yapım İşlemi

Tablo 7. C8/10 Agregalar için Elek Analizi

Elek göz açıklığı (mm)	Elek Üstü Kalan (g)	Elek Üstü Kalan (%)	Yığışımli Kalan (%)	Yığışımli Geçen(%)
31.5	0	0.0	0.0	100
16	530	19,62	19,62	80,38
8	650	24,09	43,71	56,29
4	375	13,88	57,59	42,41
2	400	14,82	72,41	27,59
1	350	12,96	85,37	14,63
0.5	275	10,18	95,55	4,45
Tepsi	120	4,45	100	
Toplam	2700			

Beton üretiminde kullanılacak agregaların belli bir granülometriye sahip olması istenir. Agregalarda granülometrinin istenilen aralıklarda olması beton açısından işlenebilirliğinin iyi olması, uniform olması ve ayrışma yapmaması anlamına gelir.

Tablo 7’de C8/10 agregası için elek analizi yapılan agreg grubuna ait granülometri eğrisi Şekil 23’de oluşturulmuş ve istenen aralıklara uygun bir granülometri eğrisi elde edilmiştir. Agreganın granülometrik bileşiminin ilgili standartın belirlemiş olduğu alt ve üst sınır eğrileri arasına düşmesi beton üretimi için uygun olduğunu gösterir.

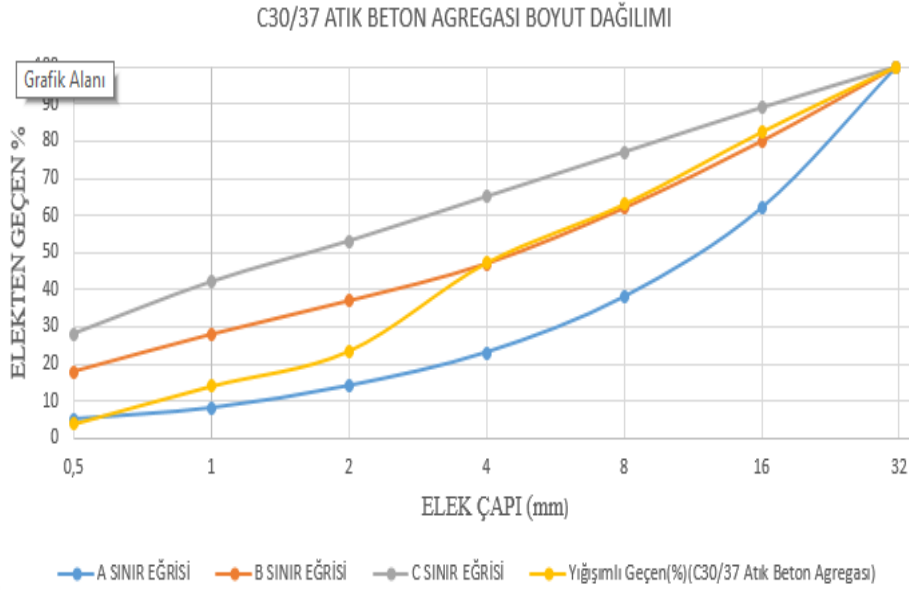


Şekil 23. C8/10 Atık Beton Boyut Dağılımı

Aynı şekilde C30/37 dayanımlı atık beton agregası için elek analizi yapılmış ve Tablo 8 'de elek analizine ait veriler paylaşılmıştır. Şekil 24'te ise granülometrisi oluşturulmuştur.

Tablo 8. C30/37 Agregalar için Elek Analizi

Elek Göz Açıklığı (mm)	Elek Üstü Kalan (g)	Elek Üstü Kalan (%)	Yığılımlı Kalan (%)	Yığılımlı Geçen (%)
31.5	0	0.0	0.0	100
16	475	17,59	17,59	82,41
8	525	19,44	37,03	62,97
4	425	15,74	52,78	47,22
2	640	23,70	76,48	23,52
1	255	9,44	85,92	14,08
0.5	275	10,19	96,11	3,89
Tepsi	105	3,89	100	
Toplam	2700			



Şekil 24. C30/37 Atık Beton Agregası Boyut Dağılımı

4.1.2. Agregalar için Özgül Ağırlık Tayini Deneyi

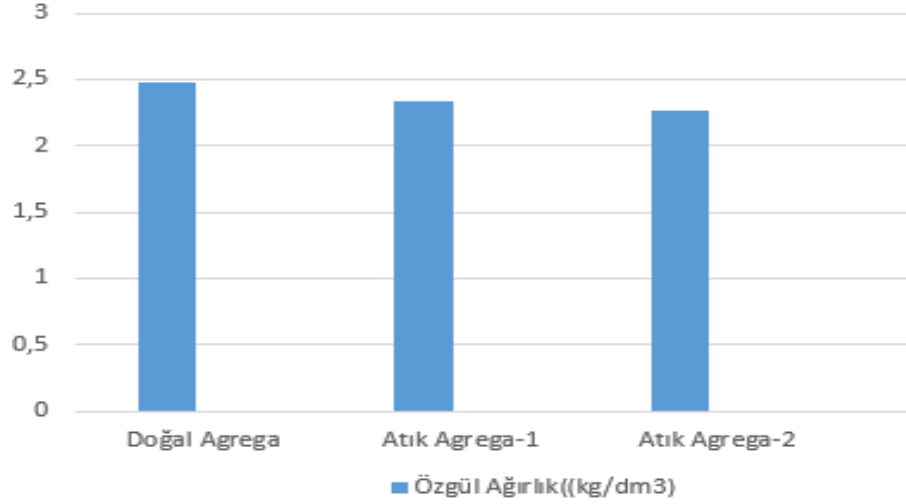
Özgül ağırlık tayini deneyi TS EN 1097-6 standardına göre geri dönüştürülmüş agregalar ve doğal agregalar için yapılmıştır. (TS EN 1097-6)

Deney detayları şu şekilde yapılmıştır;

- 4 No'lu elek üzerinde kalan 500 gr agregası yıkanarak su dolu kapta 24 saat bekletilmiştir.
- 24 saat sonra agregalar sudan çıkarılarak havlu yardımıyla kurulanmıştır. Böylelikle agregalar yüzey kuru suya doymun hale getirilerek tartılmış ve M_1 kütlesi elde edilmiştir.
- Mevcut bir şişe su dolu kap tartılmış M_2 kütlesi elde edilmiştir.
- Daha sonra mevcut agregalar su dolu şişeye boşaltılarak tekrar tartılmış ve M_3 kütlesi elde edilmiştir.
- DKY Özgül ağırlık değeri ise verilen aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$\text{Özgül ağırlık} = \frac{M_1}{M_1 + M_2 - M_3}$$

Tüm agregalar için yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Agregalara Ait Özgöl Ağırlık Sonuçları

Şekil 25'te görüldüğü gibi agregaların özgül ağırlıkları bir miktar değişim göstermiştir. Literatürdeki diğer araştırmalar ile uyum göstermiştir.

4.1.3. Mevcut Su Muhtevası ve Su Emme Deneyi

Agregalar için su emme deneyi yapılmış olup geri dönüşümlü agregaların boşluklu bir yapıya sahip olması sebebiyle su emme miktarının daha fazla olduğu görülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda geri dönüşümlü agregalarda ortalama su emme yüzdesini %4 ila % 6 arasında değerler aldığını ifade edebiliriz.

4.1.4. Los Angeles Aşınma Oranı

Los Angeles deneyi ile birlikte mevcut geri dönüşümlü agregaların ve doğal agregaların aşınmaya karşı direnci belirlenmiştir. Şekil 26'da deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 26. Los Angeles Deney Düzeneği

Los Angeles deneyinde öncelikle mevcut agregalardan her bir agrega sınıfı için 5000 gr bir karışım oluşturulmuş ve iyice yıkanan agregalar 24 saat $110 \pm 5^\circ\text{C}$ 'lık etüvde kurutulmuştur. Soğuduktan sonra tambur içine konularak 12 adet bilye ile birlikte 500 devir yapacak şekilde oluşturuldu. İstenilen sayıdaki devir tamamlandıktan sonra alınan numune 1.70 mm'lik elekten elenip, dane kaybına olmaksızın elek üzerinde kalan numune tartılarak kaydedildi. Bilyeler güzelce temizlendikten sonra diğer agrega grupları içinde aynı işlem uygulanmıştır.

Los Angeles deneyi ile birlikte aşınma yüzdesi aşağıdaki formül yardımıyla hesaplanmıştır. Aşınma yüzdesi aşağıdaki formülden hesaplanmaktadır.

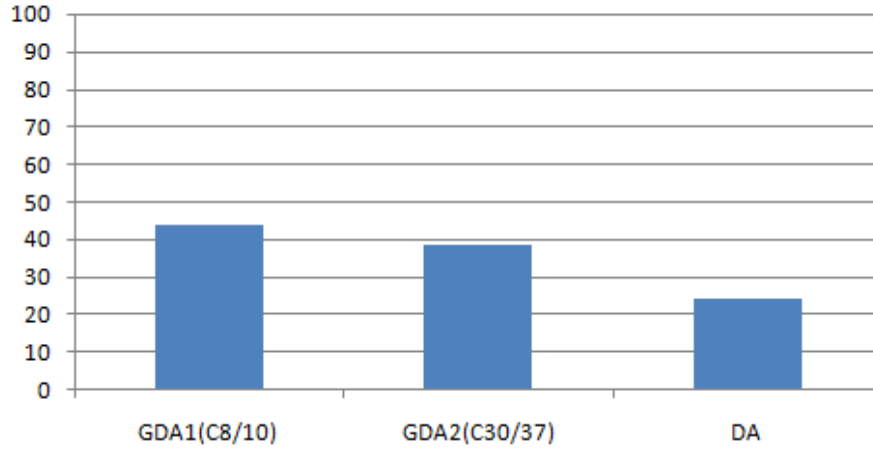
M_1 : Numunenin ilk ağırlığı (gr)

M_2 : Numunenin son ağırlığı (gr)

Aşınma Yüzdesi = $[(M_1 - M_2) / M_1] * 100$ Şeklinde hesaplanmıştır.

Doğal agregalar ve geri dönüşümlü agregalar için yapılan Los Angeles deneylerine ait grafikler oluşturulmuştur.

Agregaların Aşınma Yüzdesi(%)



Şekil 27. Agregaların Aşınma Yüzdesi (%)

Şekil 27’de mevcut agregalara ait aşınma yüzdeleri gösterilmiştir. Elde edilen değerler; C8/10 beton agregası için %44, C30/37 beton agregası için %38.6, doğal agrega için ise %23,5 değerine ulaşılmıştır. Geri dönüştürülmüş agregalarda aşınmanın daha fazla olduğu görülmüştür. Ulaşılan değerler diğer literatür çalışmaları ile uyumluluk göstermektedir.

Sonuç olarak geri dönüştürülmüş agregaların aşınma yüzdesinin doğal agregalara göre daha yüksek olduğu yapılan deneyler ile tespit edilmiştir.

4.2. Taze Beton Deneyleri

Bu çalışmada tüm deney numuneleri için oluşturulan taze beton içi çökme deneyi yapılarak beton karışımı için kıvamları belirlenmiştir.

4.2.1. Çökme Miktarı ve Kıvam Sınıfının Belirlenmesi

Üç farklı agrega ile oluşturulan beton karışımında çökme deneyi ile kıvam sınıfı belirlenmiştir. Bu deneyde tüm seriler için su/çimento oranı sabit tutulmuştur. Kullanılan katkı maddesi ile tüm serilerdeki çökme miktarının S3 (10-15 cm) olması istenilmiştir. Tablo 9’da görülen TS EN 206-1 standardına tanımlanan kıvam sınıfları mevcuttur. (TS EN 206-1, 2014)

Tablo 9. Kıvam Sınıfları

Kıvam	Çökme (mm)
S1 (Çok Kuru)	10-40
S2 (Kuru)	50-90
S3 (Plastik)	100-150
S4 (Akıcı)	160-210
S5 (Çok Akıcı)	>220

Geri dönüştürülmüş agregaların boşluklu yapısından dolayı su emme miktarları doğal agregalara göre daha fazladır. Bu yüzden deney sırasında geri dönüştürülmüş agregalar ile oluşturulan beton karışımı serilerindeki çökmenin doğal agregalar ile oluşturulan beton karışımı serilerine göre daha az çökme olduğu kaydedilmiştir. Geri dönüşümlü agregalarda oluşan bu durum için katkı maddesi kullanılmıştır. Şekil 28’de gda ile oluşturulan beton karışımının kıvamı gösterilmiş, Şekil 29’de ise çökme deneyi yapılarak sayısal sonuçlar irdelenmiştir.



Şekil 28. Taze Beton Karışımı



Şekil 29. Çökme Deneyi

Çalışma için iki farklı geri dönüştürülmüş agregaya kullanılmaktadır. C8/10 ve C30/37 dayanımlı atık betonlardan elde edilen agregalar ile oluşturulan taze beton karışımında kullanılan geri dönüştürülmüş agregaya yüzdeleri ve çökme miktarı Şekil 30'da gösterilmiştir. Şekil 30'da görüldüğü gibi oluşturulan taze beton serilerinde geri dönüştürülmüş agregaya yüzdeleri farklıdır. Beton karışımındaki çökmeler 10-15 cm (S3 Kıvamı) aralıklarında gerçekleşmiştir.



Şekil 30. Taze Betonda Çökme Miktarı (cm)

Sonuç olarak; geri dönüştürülmüş agregalar ile oluşturulan beton karışımı serilerindeki çökmenin doğal agregalar ile oluşturulan beton karışımı serilerine göre daha az çökme olduğu kaydedilmiştir. En fazla çökme doğal agregaya ile oluşturulan karışımda gözlenmiştir. GDA oranı arttıkça çökmenin azaldığı görülmektedir. GDA'lı karışımlarda su gereksinimi daha fazladır. Bunun GDA'daki eski harcın su emme oranının fazla olduğundan kaynaklandığını söylemek mümkündür.

4.3. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Bu bölümde hazırlanan beton karışımlarının 28. Gün sonundaki yapılan deney sonuçları paylaşılmıştır.

4.3.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı için; C8/10 atık betonundan elde edilen agregalar ile birlikte oluşturulan beton karışımları doğal agregalar ile ikame oranları %30-50-100 olan her karışım için üç adet numune dökülmüş ve 28 günlük basınç dayanımına tabi tutulmuştur. Aynı şekilde C30/37 atık betonundan elde edilen agregalar aynı yüzdelerde ikame edilerek aynı sayıda numune dökülmüş ve 28 günlük basınç dayanımına tabi tutulmuştur. $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}^3$ küp boyutunda olan, her bir beton grubu için üçer adet hazırlanan numuneler TS EN 12390-3'e uygun olarak tek eksen basınç deneyine tabi tutulmuştur. Ortalama basınç dayanımına ait sayısal sonuçlar aşağıda grafiklerle ifade edilmiştir. (TS EN 12390-3, 2010)

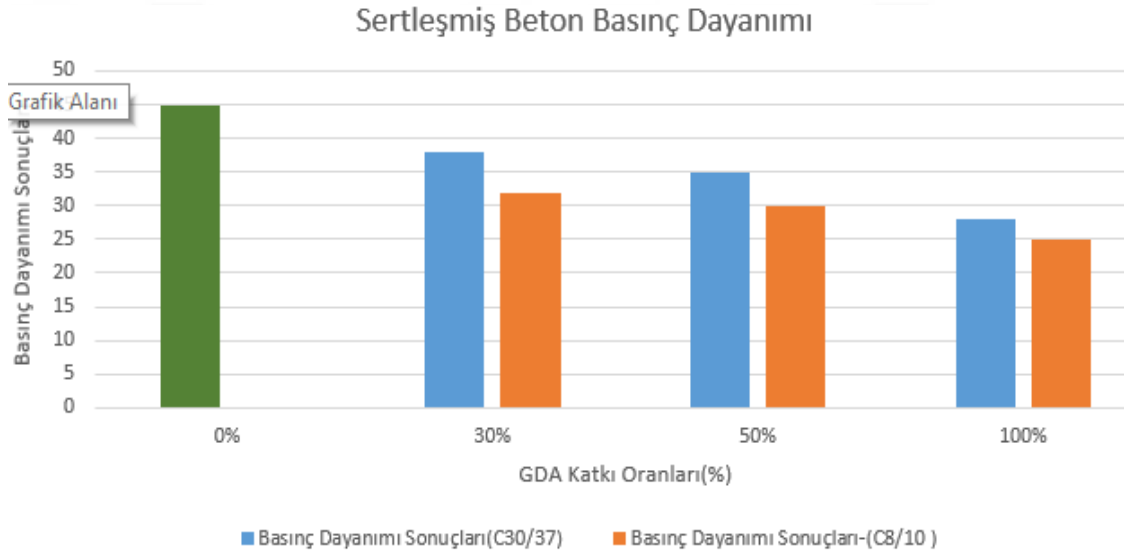
Şekil 31 ve Şekil 32'de basınç deneyi için kullanılan sistem gösterilmiştir. Mevcut hazırlanan küp numuneler burada basınç deneyine maruz kalmış ve farklı oranlarda GDA ile oluşturulmuş numunelere ait basınç dayanımları Şekil 33'de verilmiştir.



Şekil 31. Beton Basınç Deneyi



Şekil 32. Beton Basınç Deneyi Düzenneği

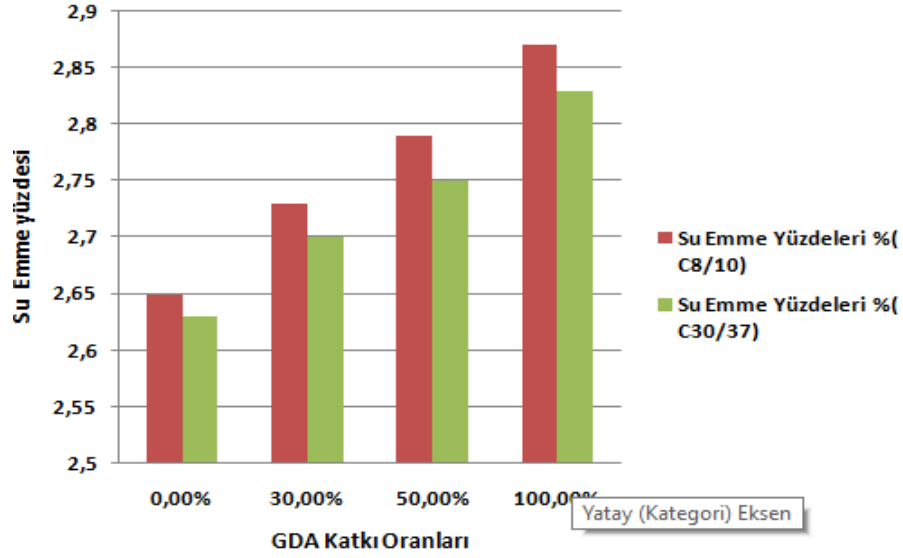


Şekil 33. Sertleşmiş Beton Basınç Dayanımı

Şekil 33’de görüldüğü gibi atık agregaya yüzdesine göre basınç dayanımları değişmiştir. Beton basınç dayanımı C8/10 olan agregalar ile üretilen beton karışımı ile C30/37 dayanımlı beton agregaları arasında ciddi basınç dayanım farkı olduğu görülmüştür. İkame edilen geri dönüştürülmüş agregaya miktarı arttıkça basınç dayanımı 5 ila 7 MPA arasında değişim göstermiştir.

4.3.2. Su Emme Deneyi

Sertleşmiş betonda su emme tayini TS 3624’e uygun olarak gerçekleştirilmiştir.(TS 3624, 2011)



Şekil 34. Sertleşmiş Beton Su Emme Yüzdeleri

Şekil 34’te görülen sonuçlara göre sertleşmiş betondaki GDA miktarının artması su emme yüzdesini de artırmıştır. Basınç dayanımı C8/10 olan GDA’nın %30-50-100 oranındaki ikamelerindeki su emme yüzdesi kontrol numunesine göre sırasıyla %3,01,%5,28,%8,30 oranında artarken, basın dayanımı C30/37 olan GDA’nın %30-50-100 oranındaki ikamelerindeki su emme yüzdesi kontrol numunesine göre sırasıyla %2,66, %4,56,%7,60 oranında artış göstermiştir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu bölümde, yapılan deney sonuçları yorumlanarak değerlendirilecektir.

Geri dönüşüm agregasının su emmesi aynı boyuttaki doğal agregaya göre çok daha yüksek değer vermiştir. Bu değerlerdeki fark GDA yüzeyinin daha fazla pürüzlülüğü ile boşluklu yapıda olması ve bünyesindeki harç kalıntılarının fazla su emmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Su emme yüzdeleri incelendiğinde; geri dönüşümlü agregalarda su emme yüzdelerinin daha fazla olduğu görülmüş. Bu durum, yüzey alanlarının daha geniş ve boşluklu bir yapıya sahip olmasına bağlanmıştır. Literatüre bakıldığında; geri kazanılmış agregalar doğal agregalara göre %24-29 oranında daha boşluklu bir formda olduğunu gösteren çalışmalara paralel bulgular elde edilmiştir. (Hoffmann, Schubert, Leemann & Motavalli, 2012). Aynı şekilde, Corinaldesi yapmış olduğu çalışmalarda doğal agregalar için su emme değerini %3-3.5, geri dönüşümlü agregalar için ise su emme değerini %6.8-8.8 aralıklarında değerler kaydetmiştir (Corinaldesi, 2010). Bu çalışmadaki elde edilen sonuçlar diğer çalışmalardaki sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Doğal agregaya ile oluşturulan beton numuneler en yüksek dayanımı vermiş ve betonunun dayanım sınıfı yeni üretilen betonun dayanım sınıfını etkilemektedir. Daha iyi betondan elde edilen agregalar daha iyi sonuç vermektedir. Basınç dayanımı sonuçlarını kullanılan agrega kalitesinin etkilediği görülmüştür. Kullanılamaz düzeyde (C8/10) düşük dayanımlı beton atıkların geri dönüştürülmesiyle elde edilen agregalarla yeni üretilen betonla dahi C25/30 sınıfı beton elde etmek mümkün olduğu görülmüştür. Karışıma katılan geri dönüşümlü beton agregası miktarı arttıkça beton dayanımı düşmektedir. Bu çalışmada dökülen numuneler arasında en iyi dayanım %30 geri dönüşümlü %70 normal agregaya karışımıyla elde edilmiştir.

KAYNAKÇA

- Aydın Ş., Çelik A.G., Güneş İ., (2021). Geri Dönüştürülmüş Beton ve Tuğla Agregalarının Beton Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması, *Journal of Underground Resources*, 10 (20)
- Building Research Establishment (BRE), (1998). Recycled Aggregates, *BRE Digest* 433, November, 1998
- Canpolat, H., (2018). *Kayseri Çinko-Kurşun Üretim Tesisi Atıklarının Beton Parke Taşlarında Kullanılması* (Yüksek Lisans Tezi), Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Corinaldesi, V., (2010). “Mechanical and Elastic Behaviour of Concretes Made of Recycled-Concrete Coarse Aggregates”, *Construction and Building Materials*, 24:1616-1620.
- Durmuş, G., Şimşek, O. ve Dayı, M., (2009). “Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 24:183-189
- Etcheberria, M., Vazquez, E., Mari, 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*, 37:735-742.
- Hoffmann, C., Schubert, S., Leemann, A. ve Motavalli, M., (2012). “Recycled Concrete and Mixed Rubble as Aggregates: Influence of Variations in Composition on the Concrete Properties and Their Use as Structural Material”, *Construction and Building Materials*, 35:701-709.
- Huang B., Wang X., Kua H., Geng Y., Bleischwitz R., Ren J., (2018), Construction and demolition waste management in China through the 3R principle, *Resources, Conservation & Recycling*, 129, 36-44.
- Katz, A., (2003). “Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete”, *Cement and Concrete Research*, 33:703-711.
- Kaya, T. ve Karakurt, C., 2016. Uygulamadaki Beton Parke Taşlarının Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi. *Düzce Üniversitesi. Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 4 (469), 1-6
- Kotan S., (2016), Yıkım işlemleri ve Hafriyat Toprağı ile İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği taslağı, *Yaşanabilir Çevreler ve Marka Şehirler, Hedef 2023, Demolition Conference İstanbul, Türkiye*

- Mehta, K. P. (2002). Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development, *Concrete International*, 24: 23-28,
- Memişoğulları, M., (2019). *Prefabrik Beton Yapı Malzemelerinin Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Parke Yapımında Kullanılabilirliğinin Araştırılması* (Yüksek Lisans Tezi), Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Konya
- Mulder E.,Jong T.P.R. ve Feenstra L., (2007). ClosedCycle Construction: An Integrated Process for the Separation and Reuse of C&D Waste, *Waste Management*, 27, 1408-1415.
- Neville, A.M.(2000). *Properties of Concrete* (Third Edition)", Longman Scientific and Technical, New York.
- Nunes, K. R. A.,Mahler, C. F., Valle, R., Neves, C. (2007). Evaluation of Investments in Recycling Centres for Construction and Demolition Wastes in Brazilian Municipalities, *Waste Management*. Brezilya.
- Oikonomou, N., (2005). Recycled Concrete Aggregates, Cement & Concrete Composites, 27, 315–318.
- Ölmez, E. ve Yıldız, Ş., (2008). "İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli", *Kent Yönetimi İnsan ve Çevre Sorunları'08 Sempozyumu*, 2-6 Kasım 2008, İstanbul]
- Öztürk, M. (2005). *İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi*", Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Pereira, P.,Evangelista, L. ve De Brito, J., (2012). The Effect of Super plasticisers on the Work ability and Compressive Strength of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates, *Construction and Building Materials*, 28:722-729.
- Poon, C.S., (1997). "Management and Recycling of Demolition Waste in Hong Kong", *Waste Management & Research*, 15:561-572
- Poon, C. S.,Shui, Z. H., Lam, L., Kou, S. C.,(2004). Influence of Moisture States of Natural and Recycled Aggregates On The Slump andCompressive Strength of Concrete, *Cement and Concrete Research*, Vol 34, (pp 31-36).
- Poon, C.S., (2007). "Management of Construction and Demolition Waste", *Waste Management*, 27:159-160.
- Pourghadrı S. H. ve Şimşek O. (2018), "Farklı oranlarda geri dönüşüm agregası kullanılarak üretilen betonun bazı mühendislik özelliklerinin araştırılması", *Politeknik Dergisi*, 21(1): 83-91.
- Rakshvir, M. ve Barai, S.V., (2006). "Studies on RecycledAggregates-BasedConcrete", *Waste Management &Research*, 24:225-233.

- Rami A. Arjantin, Haya H. Arjantin, Cemal A. Arjantin, Darina Al Momani, Dana Esrep, Ömer Obeidat & Mithat Öztürk (2023). 'Properties of concrete placed with different percent ages of recycled, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785323013822>, 5 Mart 2023.
- RILEM TC 121-DRG, (1994) "Specifications for Concrete with Recycled Aggregates", *Materials and Structures*, 27:557-559.
- Samton, G., (2003). Construction & Demolition Waste Manual, *DDC Reducing And Recycling Construction & Demolition Waste*, 2-28.
- Savaş, Ö., 2002. *Atık Betonların Geri Kazanımı*. (Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Sheen, Y.N., Wang, H.Y., Juang, Y.P. ve Le, D.H., (2013). Assessment on the Engineering Properties of Ready-Mixed Concrete Using Recycled Aggregates", *Construction and Building Materials*, 45:298-305
- Süme, E., (2016). *Geri Dönüşüm Agregasının Beton Yol Kaplamasında Kullanılabilirliği* (Yüksek Lisans Tezi), Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon
- T.C Resmi Gazete, Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği . (25406), 18.3.2004.
- Topçu, İ.B., (1997). "Physical and Mechanical Properties of Concrete Produced with Waste Concrete", *Cement and Concrete Research*, 27:1817-1823.
- TS EN 1008, Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton savunmaki işlemlerden geri kazanılan su dahil, su, beton karma suyu olarak çıkışın tayini kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 1097-6 Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su emme Oranının Tayini ,Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 206 Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara
- TS EN 932 Agregaların genel özellikleri için deneyler , Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1,2012, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler, Bölüm 1:Tane büyüklüğü Dağılımı Tayini-Eleme Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3,2012, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler, Bölüm 3:Tane Şekli Tayini, Yassılık Endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Türkiye İstatistik Kurumu (2020), Atık İstatistikleri, <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index.php/Atik- Istatistikleri- 2020-37198>
- UEPG 2018, 2010-2020 European Aggregates Association (UEPG) Annual Reviews, 2010 ve 2017 Yıllarında agrega üretim miktarları.
- URL-1. (2023, Ocak 20) <https://sifiratik.com/2018/10/04/geri-donusum-nedir-geri-donusumun-onemi>.
- URL-2. (20 Ocak 2023) <https://www.aa.com.tr/tr/yasam/insaatta-atik-donusumu-basliyor/145239>
- URL-3. (20 Ocak 2023) <https://www.corum.bel.tr/haberler/insaat-ve-yikinti-atiklari-gecici-biriktirme-alani-olusturuldu>
- URL-4. (20 Ocak 2023) <https://www.aa.com.tr/tr/yasam/insaatta-atik-donusumu-basliyor>
- URL-5. (2023, Şubat 21) T.C Resmi Gazete, Hafriyat Toprağı İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği . (25406),
- URL-6. (2023, Şubat 21) Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun(28309) ,
- URL-7. (2023, Mart 17) İstanbul İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/-istanbul_-cdr2021-20230126093112.pdf
- URL-8. (2023, Mart 17), İzmir İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/izmir-ilcdr-2021-20220811104124.pdf>
- URL-9. (2023, Mart 17), Konya İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/konya-ilcdr-2021-20220811104238.pdf>
- URL-10. (2023, Mart 17) Trabzon İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/trabzon-ilcdr-2021-20221229100316.pdf>
- URL-11. (2023, Mart 17) Bursa İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/bursa_-cdr2021-20230215130819.pdf,
- URL-12. (2023, Mart 17) Kocaeli İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu. <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/kocaeli-ilcdr-202120220816111805.pdf>,

URL-13. (2023, Mart 17) Manisa İli 2021 Yılı Çevre Durum Raporu, <https://webdosya.csb.gov.tr/db/ced/icerikler/manisa-ilcdr-202120221109132207.pdf>,

Yalçın, H., Gürü M., (2006). *Çimento ve Beton*, Palme Yayıncılık, Ankara

Yang, J., Du, Q. & Bao, Y., (2011). Concrete with Recycled Concrete Aggregate and Crushed Clay Bricks, *Construction and Building Materials*, 25:1935- 1945.

