

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİ KAZANILMIŞ AGREGALARIN BETONA ETKİSİ

Mehmet KUTLU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yapı Programı

Danışman

Prof. Dr. Özgür ÇAKIR

Eylül, 2023

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİ KAZANILMIŞ AGREGALARIN BETONA ETKİSİ

Mehmet KUTLU tarafından hazırlanan tez çalışması 06.09.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi
Danışman

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Özgür ÇAKIR, Danışman
Yıldız Teknik Üniversitesi
Dr. Öğr. Serhan ULUKAYA, Üye
Yıldız Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Turhan BİLİR, Üye
İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa

Danışmanım Prof. Dr. Özgür ÇAKIR sorumluluğunda tarafımca hazırlanan başlıklı geri kazanılmış agregaların betona etkisi çalışmasında veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim.

Mehmet KUTLU

İmza

TEŞEKKÜR

Tez çalışma sürecimde her konuda bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan, değerli yardım ve fikirleriyle beni yönlendiren çok saygıdeğer ve kıymetli tez danışmanım Prof. Dr. Özgür ÇAKIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu çalışmada laboratuvar deneylerinin yapılması ve deneylerin yorumlanması aşamasında katkı sağlayan Akçansa ürün geliştirme ve merkez laboratuvarı yetkililerine ve bu süreçte benimle yakından ilgilenen laboratuvar şefi Arda SEPETÇİ Bey'e,

Deneyisel çalışmalarda ve tez görsel materyallerinin hazırlanmasında laboratuvar teknisyeni Sayın Murat CONGARA ve Mesut SOYLUER'e,

Tez çalışmamda kullandığım geri kazanılmış agregaların temini konusunda desteğini hiçbir zaman esirgemeyen Büyükçekmece Belediyesi ailesine, Belediye bünyesinde bu projeye ilgi ve alaka gösteren Fen İşleri Müdürü Sayın Enver KILCI ve onun değerli çalışma ekibine,

Her zaman ve her koşulda yanımda olan, bana inancını kaybetmeyen değerli arkadaşlarım Zeynep Beyza GÜNDÜZ ve Ramazan ÇELEBİ'ye,

Deneyisel çalışmalarda birlikte çalıştığımız ve tezimize büyük katkıları olan lisans öğrencileri Ali Barış KANTARCI ve Sezen SEVER'e

Tüm çalışma ve eğitim hayatım boyunca beni maddi, manevi destekleyen sevgili aileme,

Tüm kalbimle ve sonsuz minnetimle teşekkür ederim.

Mehmet KUTLU

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv
İÇİNDEKİLER	v
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ	ix
TABLO LİSTESİ	xi
ÖZET	xii
ABSTRACT	xiv
1 GİRİŞ	16
1.1 Literatür Özeti.....	16
1.2 Tezin Amacı.....	16
2 BETON	18
2.1 Betonda Agreganın Etkisi.....	19
2.2 Betonda Çimentonun Etkisi.....	20
2.3 Betonda Karışım Suyunun Etkisi.....	20
2.4 Betonda Katkı Maddeleri.....	21
2.5 Betonda Silis Dumanın Etkisi.....	22
2.6 Betonda Uçucu Külün Etkisi.....	24
3 GERİ KAZANILMIŞ AGREGA	25
3.1 GKA'ların Tarihçesi.....	25
3.2 Dünyada ve Türkiye'de Agreg ve GKA'nın Durumu.....	26
3.3 GKA Elde Edilme Basamakları.....	29
3.4 GKA ile İlgili Yapılmış Çalışmalar.....	30
4 DENEYSEL ÇALIŞMA	34
4.1 Beton Üretimde Kullanılan Malzemeler.....	35
4.2 Numuneleri Üretimi ve Kodlandırılması.....	42
4.3 Numuneleri Kürlenmesi.....	46
4.4 Taze Beton Deneyleri.....	46
4.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	50
5 DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İRDELENMESİ	54
6 SONUÇ	85
KAYNAKÇA	87

A EK

91

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

93



SİMGE LİSTESİ

f_c	Basınç Dayanımı
E	Elastisite Modülü
f_{ck}	Karakteristik Basınç Dayanımı
F	Kırma Yüğü
S	Kıvam Sınıfı
f_{cmin}	Numuneler İçindeki En Düşük Basınç Dayanımı
f_{cm}	Ortalama Basınç Dayanımı
f_{cts}	Yarmada Çekme Dayanımı
D	Yoğunluk

KISALTMA LİSTESİ

AB	Avrupa Birliği
CEM	Çimento Tipi
DA	Doğal Agreg
GKA	Geri Kazanılmış Agreg
SD	Silis Dumanı
TAÜ	Toplam Agreg Üretimi
TS	Türk Standartları
UK	Uçucu Kül
YA	Yapay Agreg

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1	Küresel agrega üretimi	27
Şekil 3.2	Dünya çapında GKA tüketimi.....	27
Şekil 3.3	2015 yılında bazı Avrupa ülkelerinde toplam agrega ve GKA üretiminin karşılaştırılması	28
Şekil 3.4	ABD’de GKA’nın kullanım alanları	28
Şekil 3.5	Japonya’da atık beton geri dönüşüm süreci	30
Şekil 4.1	GKA karışım gradasyon eğrisi	37
Şekil 4.2	5 MPa dayanıma sahip yapının yıkım öncesi.....	37
Şekil 4.3	5 MPa dayanıma sahip yapının yıkım sonrasındaki inşaat atıkları	37
Şekil 4.4	İnşaat yıkıntı atıklarının el ile ayrıştırılması.....	38
Şekil 4.5	İnşaat yıkıntı atıklarının kırılması işlemi	38
Şekil 4.6	Konkasör makina işlemi ardından oluşan GKA.....	38
Şekil 4.7	1 ve 2 no’lu GKA’lar	39
Şekil 4.8	Numunelerin kürlenmesi	47
Şekil 4.9	Cebri karıştırıcılı betoniyer	48
Şekil 4.10	Taze beton çökme deneyleri.....	48
Şekil 4.11	Kalıpların daralarının alınması ve yoğunluk tayini.....	50
Şekil 4.12	Beton basınç deneyleri	52
Şekil 4.13	Yarmada çekme deneyleri	53
Şekil 4.14	Yarmada çekme deneyleri sonucu numune yüzeyleri.....	54
Şekil 5.1	GKA oranı %0 olan serilerde basınç dayanımı	55
Şekil 5.2	GKA oranı %10 olan serilerde basınç dayanımı	56
Şekil 5.3	GKA oranı %20 olan serilerde basınç dayanımı	57
Şekil 5.4	GKA oranı %30 olan serilerde basınç dayanımı	58
Şekil 5.5	GKA oranı %40 olan serilerde basınç dayanımı	59
Şekil 5.6	GKA oranı %50 olan serilerde basınç dayanımı	60
Şekil 5.7	GKA oranı %75 olan serilerde basınç dayanımı	61
Şekil 5.8	GKA oranı %100 olan serilerde basınç dayanımı	62
Şekil 5.9	Mineral katkısız serilerde basınç dayanımı	61
Şekil 5.10	%5 SD katkılı serilerde basınç dayanımı	62
Şekil 5.11	%10 SD katkılı serilerde basınç dayanımı	63

Şekil 5.12 %5 UK katkılı serilerde basınç dayanımı.....	64
Şekil 5.13 %10 UK katkılı serilerde basınç dayanımı.....	65
Şekil 5.14 %5 SD %5 UK katkılı serilerde basınç dayanımı	66
Şekil 5.15 GKA oranı %0 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	68
Şekil 5.16 GKA oranı %10 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	69
Şekil 5.17 GKA oranı %20 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	70
Şekil 5.18 GKA oranı %30 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	71
Şekil 5.19 GKA oranı %40 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	72
Şekil 5.20 GKA oranı %50 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	73
Şekil 5.21 GKA oranı %75 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	74
Şekil 5.22 GKA oranı %100 olan serilerde yarmada çekme dayanımı	75
Şekil 5.23 Mineral katkısız serilerde yarmada çekme dayanımı	77
Şekil 5.24 %5 SD katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı	78
Şekil 5.25 %10 SD katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı	79
Şekil 5.26 %5 UK katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı.....	80
Şekil 5.27 %10 UK katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı.....	81
Şekil 5.28 %5 SD %5 UK katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı	82

TABLO LİSTESİ

Tablo 4.1.	GKA'ların elek analiz değerleri.....	36
Tablo 4.2	DA'ların elek analiz değerleri.....	36
Tablo 4.3	SD'nı fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	39
Tablo 4.4	UK'un fiziksel ve kimyasal özellikleri	40
Tablo 4.5	Süper akışkanlaştırıcı maddenin fiziksel ve kimyasal özellikleri.....	41
Tablo 4.6	Çimentonun kimyasal özellikleri	41
Tablo 4.7	Çimentonun fiziksel özellikleri.....	42
Tablo 4.8	CEM 42,5r çimentosuna ait dayanım sonuçları.....	42
Tablo 4.9	Beton numunelerin adlandırılması.....	42
Tablo 4.10	9dm ³ beton için gerekli malzeme miktarları.....	43
Tablo 4.11	Taze haldeki betonun çökme sonuçları.....	47
Tablo 4.12	Taze haldeki betonun birim hacim değerleri	48
Tablo A.1	28.gün basınç dayanım sonuçları.....	88
Tablo A.2	28.gün yarmada çekme dayanım sonuçları.....	89

Geri Kazanılmış Agregaların Betona Etkisi

Mehmet KUTLU

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Prof. Dr. Özgür ÇAKIR

Son yıllarda artan nüfus ve hammadde yetersizliği dünyanın karşı karşıya kaldığı önemli sorunların başında gelmektedir. Bu sorunlara karşı etkili önlemlerin alınması gerektiği açıktır. Mevcut enerji ve doğal kaynaklar kullanılarak üretilen ve kullanılmaz hale gelen malzemelerin yeniden kullanılması büyük önem taşımaktadır. Çözüm arayışları sürerken mevcut kaynakları etkin tüketmekle beraber kullanılan malzemelerin geri kazandırılıp tekrar hayata kazandırılması gerekmektedir.

Tekrar kullanılmamak üzere stok alanlarına gönderilen malzemeler hem çevre kirliliğine neden olmakta hem de kaynak sorunlarının yaşandığı dünyamızda çeşitli sosyo-ekonomik sorunlara sebebiyet vermektedir. Özellikle gelişmiş ülkeler, bu sorunları aşmak için farklı yöntem ve çözüm arayışlarında bulunmuş ve bunları ileriye taşımışlardır.

İstanbul ve benzeri büyük şehirlerimizde depreme karşı önlem almak adına Kentsel dönüşüm çalışmalarının hız kazandığı görülmektedir. Depreme uygun olmayan yapıların yıkımı ve bu yıkımlarının ardından oluşan inşaat yığıntı atıkları, farklı alanlarda kullanılmak üzere işlenmekte ve ardından geri

kullanılmak üzere farklı alanlarda kullanılmaktadır.

Bu çalışmada İstanbul Büyükçekmece ilçesinde yaklaşık 5 MPa dayanıma sahip Kentsel dönüşüm sonucu yıkılan bir binadan alınan agregaların yeni beton üretiminde kullanılabilirliği incelenmiştir. Yapıdan alınan agregalar betonda farklı oranlarda (%0, %10, %20, %30, %40, %50, %75 ve %100) kullanılması sonucunda oluşacak basınç dayanımları incelenmiştir. Mineral katkı olarak farklı oranlarda silis dumanı ve uçucu kül, kimyasal katkı olarak süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Sonuç olarak 8 takım halinde 288 adet beton numunesi üretilmiş ve sonuçlar basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kentsel dönüşüm, inşaat yıkıntı atıkları, geri kazanılmış agrega, geri kazanılmış agregalı betonun mekanik özellikleri

YILDIZ TEKNİKÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Effect of Recycled Aggregates on Concrete

Mehmet KUTLU

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Supervisor: Prof. Dr. Özgür ÇAKIR

Increasing population and raw material shortage in recent years is one of the most important problems facing the world. It is clear that effective measures should be taken against these problems. It is of great importance to reuse materials that are produced using existing energy and natural resources and become unusable. While the search for solutions continues, the materials used should be recycled and brought back to life, while consuming the existing resources effectively.

Materials sent to stock areas not to be reused both cause environmental pollution and cause various socio-economic problems in our world where resource problems are experienced. Especially developed countries have sought different methods and solutions to overcome these problems and have carried them forward.

It is seen that Urban Transformation works have gained momentum in order to take precautions against earthquakes in Istanbul and similar big cities. The demolition of buildings that are not suitable for earthquakes and the construction debris wastes generated after these demolitions are processed to be used in different areas and then used in different areas to be reused.

In this study, the usability of aggregates taken from a building with a strength of 5 MPa in Istanbul Büyükçekmece district, which was destroyed as a result of urban

transformation, in new concrete production was investigated. Checking the suitability of aggregates: Sieve analysis, unit weight, Los Angeles abrasion test and methylene blue tests were carried out to see the contamination of the aggregate surfaces. Then, the compressive strengths that will occur as a result of the use of aggregates taken from the structure in concrete at different rates (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 75% and 100%) were investigated. Different proportions of silica fume and fly ash were used as mineral additives, and superplasticizers were used as chemical additives. As a result, 288 concrete samples in 8 sets were produced and the results were compared with the compressive strength and splitting tensile strength.

Keywords: Urban transformation, construction demolition waste, recycled aggregate, mechanical properties of recycled aggregate concrete

1.1 Literatür Özeti

Deprem kuşağında bulunan ülkemizin son 25 yılı incelendiğinde Kocaeli Gölçük depreminde 73342 yapı hasar almıştır; bunu takip eden yıllarda irili ufaklı depremler yaşayan ülkemiz Bingöl depremi sonucunda 6000 yapı hasar alırken; 2011 yılında Van'da meydana gelen deprem sonrasında 17005 yapının hasar aldığı ve son olarak 2023 yılında yaşanan merkez üssü Maraş olan depremle beraber büyük yapı kayıpları olduğu kayıtlara geçmiştir [1]. Bu veriler bize kentsel dönüşümü bir alternatif olmaktan çıkarmış zorunluluk haline getirmiştir. 2012 yılında 6306 sayılı Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkındaki Kanun'un yürürlüğe girmesiyle beraber kentsel dönüşüm süreci başlamıştır. Kentsel dönüşüm projeksiyonu yapıldığında; bu dönüşümün 20 yıl alması planlanmaktadır. Bu süre zarfında yaklaşık 7 milyon yapının yıkılıp yeniden inşası göz önüne alındığında T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'na göre Türkiye'de toplam 500 milyon ton inşaat yıkıntı atığının meydana geleceği düşünülmektedir [2]. Yeniden yapılacak olan yapıların; beton üretiminde kullanılacak agregaların ise doğal kaynakların tüketilmesine ve çevreye vereceği doğrudan ve dolaylı ekolojik zararlarının önüne geçmek için geri kazanılmış agrega (GKA) kullanımı alternatif bir çözüm olacaktır. Beton üretiminde en yüksek oranda kullanılan malzeme olması sebebiyle agregaların temini için kullanılacak metotlar önemli bir yer tutmaktadır. Bununla beraber servis ömrünü tamamlamış, eskimiş veya yıkılmış yapılardan elde edilecek olan agregaların kullanımı birçok açıdan avantaj sağlayacaktır.

1.2 Tezin Amacı

Dünyada ve ülkemizde Doğal agrega (DA) sahalarının hızla tükenişi; bununla beraber deprem kuşağında yaşayan ülkemizde yaşanan sürekli depremler ve bu depremlerin sonucunda oluşan inşaat yıkıntı atıkların bertarafı düşünüldüğünde GKA kullanımı önemli hale gelmiştir. Özellikle son yıllarda ülkemizde yaşanan

doğal afetler sonucunda Kentsel Dönüşüm projeleri T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı koordinasyonunda ön plana çıkmaktadır. İstanbul gibi mega şehirlerimizde kentsel dönüşüm projeleri hız kazanmıştır. Kentsel dönüşüm sonucu yıkılan yapıların yıkıntı atığı sorunu meydana gelmiş bu konu için çalışmalar başlamıştır. Bu çalışmada İstanbul Büyükçekmece ilçesinde bulunan bir yapıdan elde edilen inşaat yıkıntı atıklarından elde edilen agregaların yeniden değerlendirilebilirliği için çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Geri kazanılmış agrega çalışmaları göz önüne alındığında; yeni üretilecek olan betonlarda kullanılacak geri kazanılmış agregaların dayanım koşullarını sağlaması için silis dumanı ve uçucu kül kullanılmıştır.

CO₂ salınımının yaklaşık %8'ine sebebiyet veren çimentonun bu etkilerini azaltmak için hazır beton firmaları alternatif mineral katkıları malzemeleri kullanmaktadırlar, bunların başında Silis Dumanı (SD) ve Uçucu Kül (UK) gelmektedir. Bu çalışmada çimento ikamesi olarak farklı oranlarda SD ve UK kullanılmıştır.

Kentsel dönüşüm çalışmalarının yaşandığı İstanbul ve diğer şehirlerimizde bu dönüşümün ardından oluşan inşaat yıkıntı atıklarının depolanma sorunun azaltmak için atıkların geri dönüşümü yapılmaktadır. Bu çalışmada inşaat yıkıntı atıklarından agrega geri dönüştürülüp kullanılmıştır. Bu hem azalan doğal agrega kaynaklarının alternatifi olması, depolama sorununun azaltması, doğal çevreye verilen zararın en az seviyelere indirilmesi ve İstanbul'da azalan doğal agrega kaynaklarına ulaşmak için harcanan enerji ve CO₂ salınımının engellenmesi adına yapılan bir çalışmadır. Yaklaşık 5 MPa dayanıma sahip yapıdan elde edilen inşaat yıkıntı atıkları önce fiziki eleme yapıp yabancı maddelerden ayrıştırılmış ardından uygun ekipmanlar ile betonda kullanılabilirliği farklı deneyler ile ölçülmüştür. Buradan elde edilen GKA ile DA'lar farklı oranlarda (%0, %10, %20, %30, %40, %50, %75 ve %100) ikame edilmiştir. Yeterli dayanım değerleri elde edilmesi için mineral katkıları kullanılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2 BETON

Çimento, iri agrega, ince agrega ve suyun, kimyasal ve mineral katkı ilave edilerek veya edilmeden uygun şekillerde karıştırılmasıyla meydana gelen ve çimentonun hidratasyonu ile gerekli özellikleri kazanmış olan malzemedir [3].

Betonun tarihçesi 5000 yıl önce Roma dönemine kadar uzanmaktadır. Ardından Orta Çağ Avrupa'sında ve 18-19. yüzyılda İngiltere ve Fransa'da kullanıldığına dair kayıtlar vardır ve yaklaşık 20.yy'dan beri beton dünyanın her ülkesinde ana yapı malzemesi haline gelmiştir [4]. Orta Asya ile Anadolu coğrafyası incelediğinde ise Horasan Harcı adı verilen bir bağlayıcının kullanılması beton olarak nitelendirilir. Çağdaş beton teknolojisi 17.yy'ın başında ilk doğal olmayan çimentonun üretilmesi ve Portland çimentosunun buluşuyla başlamıştır. 18.yy'ın başında ise hazır betonun başlaması ve ardından teknolojik gelişmelerin ilerlemesiyle beton kalitesi de yükselmiştir. Özellikle kimyasal ve mineral katkı malzemelerin betonda kullanılması yakın tarihlerde liflerin, cam tozu vb. ürünlerinde betonda kullanılmasıyla yüksek dayanımlı betonlar üretilmeye başlanmıştır [5].

Hazır beton üretimi ülkemizde Avrupa'dan yarım asır sonra başlamıştır. Günümüze bakıldığında ülkemiz hazır beton üretiminde dünyada önemli bir konumdadır. 1988 yılında yaklaşık olarak 1,5 milyon metreküp beton üreten Türkiye; takip eden yıllarda üretim miktarı artmış, 2017 yılında yıllık 115 milyon metreküp, 2018 yılında 100 milyon metreküp ardından inşaat sektöründeki daralmanın da sonucunda 2019 yılında 77 milyon metreküp, 2020 yılında 95 milyon metreküp beton üretimi gerçekleştirmiştir [6].

Birinci Dünya Savaşı'ndan önce karışım tasarlanırken dayanım açısından değil agrega, su ve çimentonun göreceli hacimleriyle belirlenmekte idi. Buna rağmen 11-15N/mm² dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Hacimler tasarlanırken ise sırasıyla su, çimento ve agrega 1:2:4, 1:1.5:3 ve 1:1:2 oranlarında hazırlanmıştır. 1930'lu yıllara gelindiğinde 15-20N/mm², 1950'li yıllarda 20-30N/mm²'e kadar

dayanımlar artarak devam etmiştir [2]. Günümüzde ise 800N/mm^2 basınç dayanımları elde edildiği bilinmektedir. Yüksek dayanımların elde edilmesinde kimyasal süreçlerin daha iyi anlaşılması ve buna paralel olarak teknolojide yaşanan ilerlemenin katkısı olduğu bilinmektedir.

2.1 Betonda Agreganın Etkisi

Agregaları genel itibariyle doğal agregalar, yapay agregalar (YA) ve geri kazanılmış agregalar olarak sınıflandırmak mümkündür. DA'lar: Mekanik işlemler dışında herhangi bir işleme tabi tutulmamış olan mineral kaynaklardan elde edilir. YA'lar: Endüstriyel işlem sonucunda elde edilen mineral kökenli agregaları ifade eder. GKA ise daha öncesinde herhangi bir yapıda kullanılmış olan inorganik malzemelerin işleminden geçirilmesi sonucu elde edilirler [7]. Beton üretiminde %70-75 oranında agreganın kullanıldığı düşünüldüğünde betondan arzu edilen özelliklerin oluşması için agreganın karakteristik özelliklerinin bazı koşulları yerine getirmesi beklenir. Betonda agregalardan beklenen özelliklerin başında; gereken dayanımı barındırması ve dış etkilere karşı dayanıklı olması gelir. Örneğin aşınmaya maruz kalacak betonda agregadan yeterli aşınma dayanımı beklenirken; don olaylarının yaşandığı coğrafyalarda ise don etkisine karşı uygun agrega seçimi yapılmalıdır.[8].

Agregaların tane boyut dağılımı betonda kritik etkiye sahiptir. Uygun granülometri ile hazırlanan betonda hava boşluğu az olacağından betonun yoğunluğu da artacaktır ve bunun sonucunda çimento-su miktarı daha ekonomik hale gelecektir.

Betonda agreganın sağladığı teknik özelliklerin başında; sertleşmiş betonda aşınmaya karşı dayanımın artması, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi ve azaltması, çevresel nedenlerle oluşan etkilere karşı da dayanıklılığın artması ve en önemli sonucu ise betonun taşıdığı yüklere karşı gerekli dayanımı sağlaması beklenmektedir. İçerisinde agrega olmayan bir betonda çok fazla hacim değişikliği görülebilir. Yani çimento hamurunun zamanla sertleşmesiyle meydana gelecek büzülme ve çatlamalara karşı da agregalar tarafından belirli bir miktar engellenmiş veya sınırlandırılmış olur [9].

2.2 Betonda Çimentonun Etkisi

Çimento aynı zamanda hidrolik bağlayıcı olarak da ifade edilmektedir. Su ile karıştırıldığında hidrasyon reaksiyonlarıyla priz alarak sertleşebilen hamur meydana getiren ve sertleştikten sonra dayanıklılığını ve kararlılığını su içerisinde sürdürebilen inorganik yapı malzemesidir [3]. Portland çimentosunun üretim süreçlerinde açığa çıkan CO₂ miktarı, küresel anlamda CO₂ salınımının yaklaşık %8'sini oluşturmaktadır [10].

Çimentonun hammaddesi kalker ve kildir. Kırılmış kalker ve kil öğütülerek ince bir malzeme haline getirilir. Bu malzemeler 1400-1500°C'lere kadar döner fırınlarda pişirilir. Bu işlem sonucunda açığa çıkan malzemeye klinker denir. Bu süreçlerden sonra klinkere alçı taşı eklenip (%4-5 oranında) çok ince toz halinde öğütülerek portland çimentosu elde edilir. Katkılı çimento üretilecek ise klinker ve alçı taşına ek olarak seçilecek çimento tipine bağlı olarak yüksek fırın cürufu, UK, SD vb. katkı maddeleri eklenir. Betonda kullanım oranı yaklaşık %10 olan çimento betonun en önemli bileşenlerindendir. Çimentonun su ile kimyasal bir tepkimeye girmesiyle hidrasyon adı verilen süreç başlar. İlk zamanlarda plastik kıvamda olan çimento hamuru süre ilerledikçe sertleşip katı hale geçer. Çimento hamuru betondaki agregaların yüzeyinde bir tabaka oluşturur ve agregaların arasındaki boşlukları doldurarak, agrega tanelerini birbirine bağlayarak agrega, çimento ve varsa katkı maddelerinin bir bütün halinde çalışmasını sağlar. Su ile başlatılan hidrasyon, ısı veren yani ekzotermik bir reaksiyondur. Bundan dolayı hidrasyon ısıısının miktarı, betonun kullanılacağı yapı tipi için önem arz eder. Hidrasyon ısıısı ile beton genleşmeye başlar. Dış ortam ile temas eden yüzeyle iç bölge arasında ısı farkından dolayı büzölmeler ve gerilmeler meydana gelir. Bu tepkimeler sonunda beton boşluklu ve geçirimli hale gelir [11].

2.3 Betonda Karışım Suyunun Etkisi

Betonda karışım suyunun iki görevi bulunmaktadır. Bunlardan birincisi çimento ile reaksiyona girerek agregaları bağlamak diğeri ise betonun işlenebilirliğini sağlamaktır. Genel olarak içilebilir suların betonda kullanımı önerilmektedir. Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları ile ilgili olan TS 500'de ise karma suyunun asidik özellik taşıması gerektiği belirtilmiştir. Beton içerisinde

karışım suyu kimyasal maddeler ile organik ve endüstri atıkları içermemelidir. Ayrıca aynı yönetmelikte yüksek alüminli çimento ile yapılan betonlarda deniz suyu kullanılamaz ibaresi bulunmaktadır [12]. Beton – Karma Suyu ile ilgili olan TSE EN 1008:2003 yönetmeliğinde deniz suyu ve acı göl sularının; beton içerisinde donatı veya metal madde bulunmayan betonlarda kullanılabileceği, içerisinde donatı veya metal madde bulunan betonlarda ise deniz suyu kullanımını toplam klorür muhtevası ile belirlemiştir [13].

Yapının sudan korunması o yapının ömrünün uzatılması anlamına gelir. Suyla maruz kalan yapılarda çirçeklenme, ıslanma, nemlenme, çatlama, erime vb. olaylar meydana gelmektedir. Su aynı zamanda metallerde de korozyona sebebiyet vereceğinden yapıda ciddi hasarlar meydana getirir. Bundan dolayı geçirimsizlik yüksek performanslı betonlarda aranan özelliklerden biridir [14].

2.4 Betonda Katkı Maddeleri

Beton katkı maddeleri genel olarak mineral katkılar ve kimyasal katkılar olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Mineral katkılar bir başka ifade ile endüstriyel veya doğal puzolanlar olarak adlandırılırlar. Bu katkıların seçiminde yapının türü ve çevresel koşulları da dikkate alınıp seçilir. Mineral katkılar betona uzun süreli dayanım ve yüksek durabilite sağlamaktadır. Bunların dışında betondaki çimento oranını azaltacağından CO₂ emisyonunu da azaltacaktır. Bilinen mineral katkılar: SD, UK, metakolin ve doğal puzolanlardır. Puzolanik katkıların bağlayıcılık özelliğı yoktur fakat bağlayıcı özellikte olabilmesi için ince taneli durumlarda olması gerekir. Puzolanlarda ince tane oranı artıkça bağlayıcılık da artmaktadır [11]. Çevresel ve ekonomik zararları azaltmak için demir-çelik fabrikaları ile termik santral atıklarından elde edilen ve betonda bulunan çimentoya en yakın özellik gösteren yüksek fırın cürufu, SD ve UK vb. mineral katkıları betonda durabilite ve dayanımı artırmak için kullanılmaktadır [15].

Teknoloji ve bilimdeki gelişmeler, betonun teknolojisine de yansıyarak kimyasal katkıları betonun beşinci bileşeni durumuna getirmiştir. Kimyasal katkılar taze betonun işlenebilirliğini artırmak, sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığını artırmak, priz sürelerini optimum seviyelere getirmek için beton üretiminde kullanılırlar. Beton teknolojisinde kimyasal katkı maddeleri, su içerisinde erime

özelliği bulunan katkı maddeleri olarak da tanımlanmaktadır [11-16]. Yapının türüne ve yapının bulunduğu bölgenin durumuna göre farklı tipte kimyasal katkıları kullanılabilmektedir. 1930'larda akışkanlaştırıcıların temelini Lignosülfonatlar meydana getirmekteydi. 1960'lı yıllardan itibaren ise Vinilkopolimer ve nihayetinde modifiye Polikarboksilatların ortaya çıkmasıyla beraber beton teknolojisinde yenilikler meydana gelmeye başladı [17]. Taze betonda akıcı ve kolay işlenebilirliği yerine getirebilmek için akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır [18]. Kimyasal katkıların kullanımı aynı zamanda s/ç oranını sabit tutarak, su ve çimento miktarını azaltıp ekonomik yarar da sağlamaktadır [19]. Betonun donma-çözünme dayanıklılığını artırmak amacıyla hava sürükleyici katkıların etkinliği, donma-çözünme tekrar sayısı artıka artmaktadır. Betonda kullanılan hava sürükleyici katkıların dayanım açısından etkinliğini, eğilme dayanımı deneyleri daha iyi göstermektedir [20]. Soğuk havalarda beton dökümü ve püskürtme betonlarda ise priz hızlandırıcı katkıları sayesinde geri tepme kaybı (püskürtme beton uygulaması sırasında yüzeye yapışmadan yere düşen ve zai olan beton) minimum seviyelere indirilir [21]. Priz geciktirici ve hızlandırıcı kimyasal katkıları, taze betonda priz süresini değiştirerek; değişen hava sıcaklıklarında betonun işlenmesini kolaylaştırır [22-23].

Türk Standartı TS EN 197-1:2012'e göre ise kimyasal katkıların oranları sınırlandırılmıştır. Buna göre kimyasal katkıların toplam muhtevası, çimento kütlesinin %1,0'ini geçmemelidir. Organik katkıların kuru bazdaki miktarı çimento kütlesinin %0,5'ini geçmemelidir. Yine aynı standartta belirtilen kimyasal katkıları donatının korozyonunu artırmamalı, çimentonun veya çimentodan üretilen beton ve harçların özelliklerini bozmamalıdır [24].

2.5 Betonda Silis Dumanının Etkisi

Mikrosilika ve yoğunlaştırılmış silika dumanı olarak da isimlendirilen SD, yapay puzolan olarak adlandırılır. Bu ürün silikon veya ferrosilisyum alaşımı üretiminde bir elektrik ark fırınında yüksek saflıkta kuvarsın ısıyla indirgenmesi sonucunda oluşur. SD yüksek sıcaklıklarda, 2000°C seviyesinde oksitlenmiş bir buhar olarak yükselirler. Soğuduğunda ise yoğunlaşır ve bu maddeler filtreler yardımıyla toplanır. Toplanan SD safsızlıklarını gidermek ve boyutları istenilen seviyelere

getirilmek için işlenirler [25]. SD'nın betonda kullanılması ile ilgili ilk olarak 1950 yılında Norveç'te araştırılmaya başlandı. Bu araştırmanın olumlu sonuçlarının alınması ile Oslo'daki Blindtarmen Tüneli inşasında kullanıldı. Bu projede betonların yaklaşık %15'inde SD kullanılmıştır [26]. SD'nın yoğunluğu $2,2 \text{ g/cm}^3$, birim hacim ağırlığı $200\text{-}250 \text{ g/cm}^3$ 'tür. Amorf yapısından ve yüksek miktarlarda SiO_2 içeriğinden dolayı mükemmel bir puzolanik malzemedir [27]. SD genellikle toz halinde kullanılmakla beraber sıvı halde de kullanılabilir. Betonda çimento ikamesi olarak kullanılan SD'nın, çimento ile ikamesi kütlece %5 ile %10 arasında değişmektedir. Beton üretiminde kullanımının en önemli amacı ise yüksek geçirimsizliği sağlamak ve yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanmaktır [25].

SD kendisinden daha büyük çimento taneleri arasındaki su ile yer değiştirerek granülometride ciddi iyileştirmelere yol açar ve betonda bulunan serbest su miktarını artırır. SD taneciklerinin miktarının fazla olması ise ıslanması gereken toplam yüzey alanını artıracığından dolayı su ihtiyacı SD ile orantılı olarak artış göstermektedir [28-29]. Agregası ve çimento ara yüzeyinde iyileştirmelere; erken puzolanik reaksiyonları sayesinde ise betonun mukavemetine ve geçirimsizliğine katkı sağlar. SD'nın kullanımı ile üretilen betonların çok miktarda karışım suyu ihtiyacı vardır. Bu ihtiyacı karşılayabilmesi için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir. İnce taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından beton yüzeyinin perdelanması işlemi güçleşmektedir. Çoğu zaman plastik büzülme çatlaklarına neden olan SD genellikle betonun koyu renk kazanmasına sebep olur [30]. Süper akışkanlaştırıcı katkılarla beraber kullanılması durumunda betonda su/çimento oranını azalırken daha nitelikli bir içyapı oluşmasını sağlar [31].

2.6 Betonda Uçucu Külün Etkisi

Elektrik enerjisi üreten termik santrallerde kullanılan taş kömürünün %10 ile %15'i, linyit kömürünün ise %20-50'si kül açığa çıkarmaktadır. Yanma sonucu ortaya çıkan külün %75-85'i bacadaki gazlar ile çıkarılır ve bu çıkan malzeme UK olarak adlandırılır. Bu açığa çıkan külleri toplamak için yüksek verimli elektrofiltreler kullanılmaktadır [32]. Dünyada UK üretim miktarı 450 milyon tondur. Türkiye'ye baktığımızda ise yıllık üretim 15 milyon ton civarındadır [33].

UK'ün yapısını etkileyen birden fazla durum bulunmaktadır. Bunlar, külü oluşturan kömürün türüne, kömürün yakılmadan önceki pulvarizasyon derecesine, kazanın türüne, yakma ısısına, kül toplama sistemine, külü uzaklaştırma sistemine, kömüre ilave edilen katkı maddelerine bağlıdır [34-35].

UK'deki partikül boyutları, tipik partikül boyutu 20 μm 'nin altındayken 1 μm ' ile 100 μm 'dir [25]. Başlıca bileşenleri SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 ve CaO olup bunların küldeki oranları külün tipine göre değişmektedir. Ayrıca MgO , SO_3 minör birleşen olarak isimlendirilir. UK'ün temel oksit oranı ise SiO_2 %25-60, Al_2O_3 %10-30, Fe_2O_3 %1-15 ve CaO %1-40 oranlarında UK'de bulunur. UK'ler küresel yapılarından dolayı su gereksinimini artırmazlar ve düşük su/çimento oranıyla betonda istenilen işlenebilirliği yerine getirirler. Suya maruz kalan yapılarda ise kireci bağladıkları için betonu dış etkilere karşı dayanıklı hale getirir, su geçirimsizliğini de azaltırlar [36-37]. Betonun dayanımı yanında dayanıklılığının da önemi artmıştır. Günümüzde daha dayanıklı beton üretimi için rötreten kaynaklı mikro çatlakların kabul edilebilir seviyelere indirilmesi sağlanmalıdır. Ayrıca betondaki çimento ikamesi sebebiyle CO_2 salınımı azaltılacağından dolayı çevrecidir. [38-39]. UK'ler; betonda maliyeti düşürmesi, enerji korunumunu sağlaması ve çevresel sorunları azaltması sebebiyle betonda geniş kullanım alanlarına sahip olmaktadır [40].

Türkiye'de UK'ü ilgilendiren standartta (TS EN 197-1:2012) ise; UK'ler iki sınıfa ayrılmıştır: V sınıfı UK'ler ve W sınıfı UK'ler. V tipi UK'leri çoğunlukla puzolanik özelliklere sahip küresel taneciklerden meydana gelen ince toz olarak tanımlanır. W tipi UK'ler ise hidrolik ve/veya puzolanik özellikleri olan ince bir toz tanımıyla açıklanır [24].

Son yıllarda artan nüfus ve hammadde yetersizliği dünyanın karşılaştığı önemli sorunlar haline gelmiştir. Bu sorunlara karşı etkili önlemler alınması gerektiği ortadadır. Çözüm arayışları yalnızca kaynakların verimli kullanılması anlamına gelmemektedir. Mevcut enerji ve doğal kaynaklar kullanılarak üretilmiş ve kullanılamayacak hale gelmiş malzemelerin yeniden kullanılması ciddi önem taşımaktadır. Beton hammaddesinin %50'sini doğal kaynaklardan sağlamaktadır. Dünyada üretilen toplam enerjinin %40'ına ve ortaya çıkan toplam atıkların %50'sine inşaat sektörü sebebiyet vermektedir. İnşaat atıklarına bakıldığında: %40 beton, %30 seramik, %10 ağaç, %5 metal, %5 plastik ve %10 ise diğer malzemelerdir [41]. Beton incelendiğinde, geleneksel beton üretimi için yaklaşık %75 agrega, %12 çimento ve %8 karışım suyu bulunmaktadır. Hazır beton sektörü dünya genelinde yıllık yaklaşık 1,6 milyar ton çimento ve yaklaşık 1 milyar ton karışım suyu kullanmaktadır. Yine aynı yaklaşımla sektörün agrega kullanımı ise 10 milyar ton civarındadır. Sonuç olarak beton sektöründe yıllık yaklaşık 12,6 milyar ton malzeme kullanılmaktadır. Bu derece yüksek miktarlarda malzeme kullanımı dünyanın ekolojik sistemini de önemli ölçüde etkilemektedir [42]. Gelişmiş ülkeler ortaya çıkan enerji krizi, kaynak israfı vb. sorunlara karşı atıkların geri kazanılması ve tekrar kullanıma sunulması amacıyla yeni yöntemler araştırmış ve geliştirmiştir.

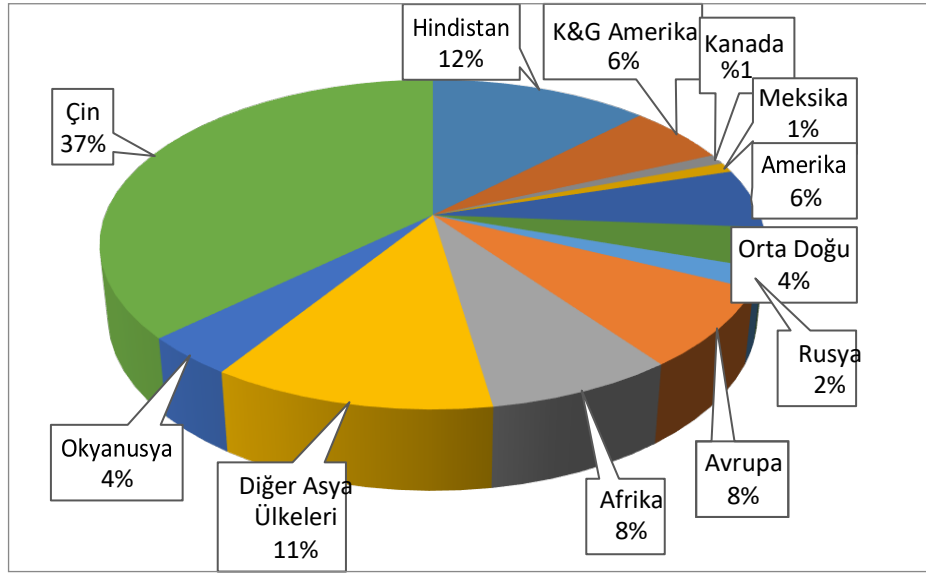
3.1 GKA'ların Tarihçesi

GKA'ların yeniden kullanılması fikri II. Dünya Savaşının ardından tahrip olmuş Avrupa'da ortaya çıkmıştır. Özellikle Almanya'da başlayan süreç daha sonraları birçok Avrupa ülkesine yayılmıştır. Savaşın ardından enkaz atığının 400 ile 600 milyon m³ olduğu düşünülmektedir. Ortaya çıkan enkaz atıklarının geri dönüştürülmesi için Almanya'da üretime başlayan tesiste 1955 yılına kadar 175.000 konut inşa edilmiştir. 1956 yılına gelindiğinde ise Almanya'da savaşın meydana getirdiği yapı kalıntılarının yaklaşık %85'inin temizlendiği görülmektedir [43]. Dünya geneline bakıldığında GKA kullanımı için standartlar

ve yönetmelikler hazırlanmakta ve geri dönüşüm için teşvikler verilmektedir. Almanya, Danimarka, Fransa, İspanya, ABD gibi ülkelerde; agrega çıkarılacak sahaların sınırsız bir potansiyelinin olmadığı ve inşaat atık yönetiminin ortaya çıkardığı sorunlar sebebiyle GKA'nın değerlendirilmesi, teşvik politikaları sonucunda önem kazanmış ve bu konuda büyük ölçekli projelerin arttırılması planlanmıştır [44].

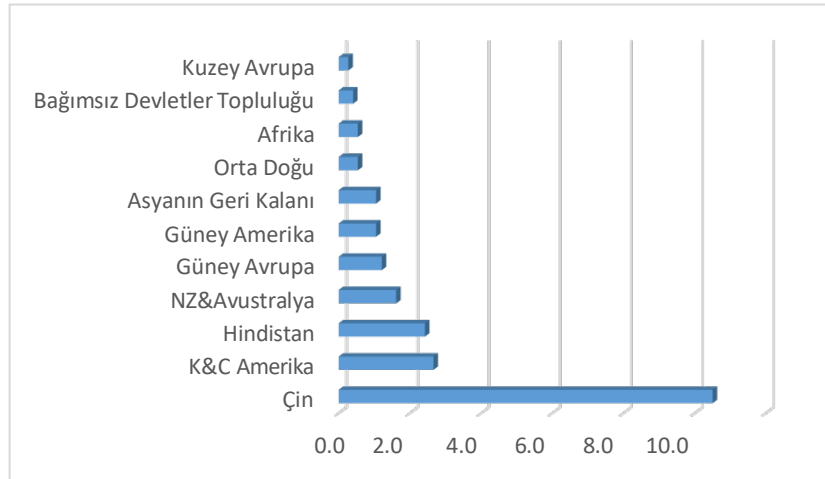
3.2 Dünyada ve Türkiye’de Agrega ve Geri Kazanılmış Agreganın Durumu

Nüfus artışına paralel olarak inşaat ve yıkıntı atığı meydana gelmektedir. İnşaat sektörünün ise önemli bir doğal kaynak tüketicisi olduğu bilinmektedir. Hazır beton üretimi için küresel ölçekte toplam agrega üretimi 2007 yılında 21 milyar ton iken 2014’te bu rakam 40 milyar tondur. Rakamlar dikkate alındığında üretim neredeyse iki katına ulaşmıştır. Çin, Hindistan, Endonezya, Malezya, Tayland, Körfez Ülkeleri, Türkiye, Rusya ve Brezilya gibi ülkeler ise inşaat ve yıkıntı atıklarının geri kazanımı için en güçlü artışların yaşandığı ülkelerdir. Bu nedenle gelişmiş ve gelişmekte olan ekonomiler, doğal kaynakların giderek tükenmesi ve sürdürülebilir atık yönetimine ilişkin artan farkındalıkla beraber inşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesi konusunda artan bir ilgi ortaya koymaktadırlar [45]. İnşaat atıklarının geri kazandırılması ve yeniden kullanımı mümkündür. Fakat yetersiz düzenleyici kanunlar ve bilgi eksikliği nedeniyle gelişmekte olan ülkelerde henüz istenilen seviyelere çıkılamamıştır. İnşaat ve yıkıntı atıklarının kullanımına yönelik teşvik süreci ülkeden ülkeye büyük ölçüde farklılıklar oluştursa da inşaat ve yıkıntı atıklarının GKA kullanımının artması ve pazarın önemli bir parçası haline gelmesi umutla beklenmektedir [46].



Şekil 3.1 Küresel agrega üretimi [48]

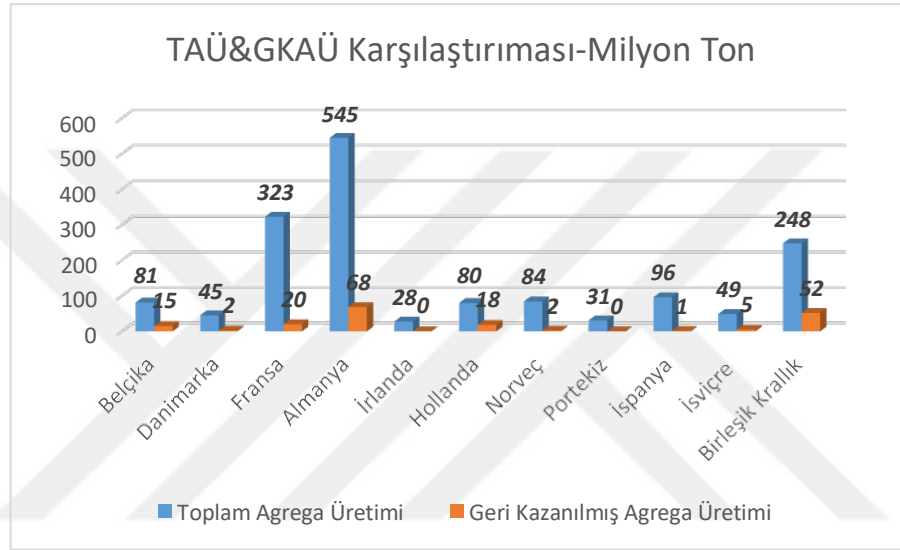
Şekil 3.1’de görüldüğü üzere inşaat sektöründeki hızlı yükselişinin ardından meydana gelen beton ihtiyacı ve buna paralel olarak agrega kullanımının en fazla olduğu ülke Çin’dir. Ardından Hindistan, Amerika ve Kanada gelmektedir [47]. Küresel ölçekte GKA’nın toplam tüketimi Şekil 3.2’de gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Dünya çapında GKA tüketimi (milyar ton) [49]

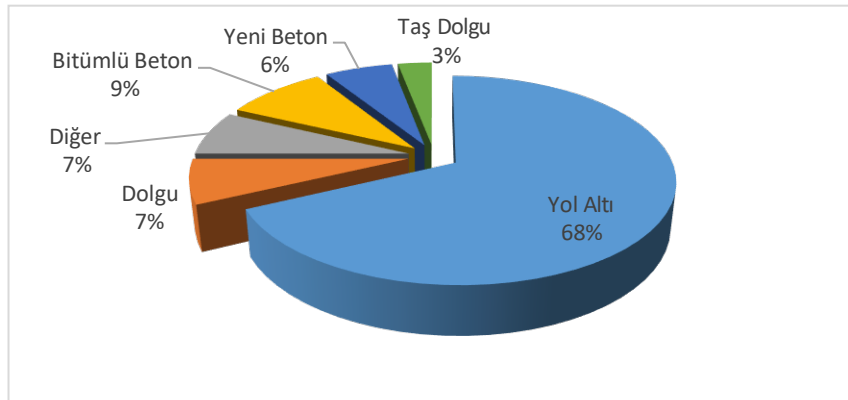
İçinde bulunduğumuz on yılda, hızla artan inşaat faaliyetleri nedeniyle agrega satışlarının yanı sıra en büyük agrega üreticilerinden birisi Çin olmuştur. Çin tek başına 2010-2015 yılları arasında dünya çapındaki tüm talebin yarısını karşılamaktadır [48].

Yang vd. [49] yaptıkları çalışmalarda, Çin'in hızlı kentleşmesinin sonucu olarak, özellikle büyük şehirlerde artan miktarda inşaat ve yıkıntı atıklarının ortaya çıktığını bildirmişlerdir. Çin, dünyada katı atıkların yaklaşık %30'una sebep olmaktadır. Bu atıkların %40'ı inşaat ve yıkıntı atığı kaynaklıdır. Yeni yapıların yıkılması sonucunda yılda 100 milyon ton ve eski yapıların yıkılması sonucunda 200 milyon ton atık üretilmektedir. Çin'de atıkların işlenmesi amacıyla düzenleyici politikalar mevcuttur. Fakat inşaat ve yıkıntı atıklarını içeren açık ulusal bir mevzuat eksikliği vardır.



Şekil 3.3 2015 Yılında bazı Avrupa ülkelerinde toplam agrega ve GKA üretiminin karşılaştırılması [50]

Şekil 3.3'te Avrupa'daki bazı ülkeler incelendiğinde Almanya'nın hem agrega üretimi hem de GKA üretiminde ön sıralarda olduğu görülmektedir. Ardından Fransa ve İngiltere gelmektedir.



Şekil 3.4 ABD'de GKA'nın kullanım alanları [51]

Şekil 3.4'te ABD'de GKA'ların kullanıldığı inşaat faaliyetleri bulunmaktadır. GKA'nın en fazla kullanıldığı alan yol altı tabanı olarak görülmektedir. Bunu bitümlü betonlar, dolgu alanları ve yeni üretilen betonlarda kullanımı takip etmektedir. ABD'de kullanım alanları dikkate alındığında GKA'ların büyük oranda yol altı dolgusu ve genel dolgu alanları olduğu söylenebilir.

3.3 GKA Elde Edilme Basamakları

Beş aşamadan meydana gelen geri dönüşüm basamakları şu şekilde sıralanabilir:

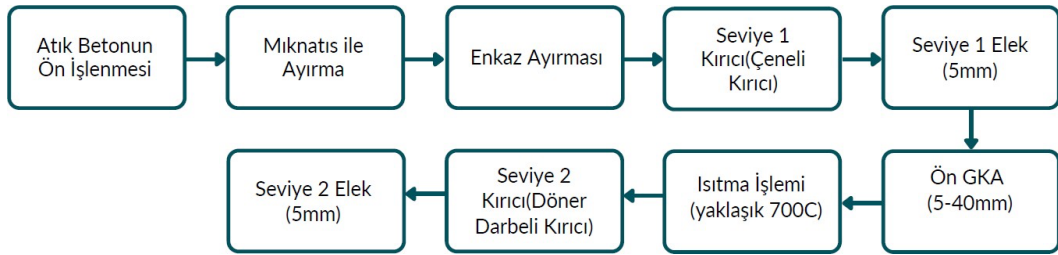
1. Meydana gelen atıkların çöpe karışmadan bulunduğu ortamda ayrılarak biriktirilmesi,
2. Meydana gelen atıkların çöple karışmadan temiz bir şekilde farklı alanlarda toplanmasının sağlanması,
3. Kaynağında ayrı bir şekilde toplanan malzemelerin türüne göre ayrılması: metal, plastik, cam vb.
4. Malzemelerin işlemlerden geçtikten sonra yeni bir ürün olarak ekonomiye tekrar kazandırılması süreci,
5. Geri kazanılan ürünün tekrar kullanıma sunulmasıyla ortaya çıkan yeni ürünün ekonomik hayata kazandırılması [52].

Mekanik kırma yoluyla inşaat ve yıkım atıklarından GKA üretmek nispeten ucuz ve kolaylıkla temin edilebilmektedir. Bu nedenle inşaat yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesi işlemi hem gelişmiş hem de gelişmekte olan ülkelerde yapılabilir [53]. İnşaat ve yıkıntı atıklarında bulunan kirletici malzemeleri ayırmak ve verimli bir şekilde sınıflandırmak için hemen hemen her tesiste aynı süreçlerden geçirilir: [54]

- Ayırma
- Kırma
- Metal malzemeleri ayrılması
- Tarama ve yabancı maddelerin (ahşap, kâğıt, plastik) uzaklaştırılması

Japonya'da GKA proseslerini şu şekilde özetleyebiliriz: Öncelikle eleme işleminden geçen agrega, ardından temizleme ve yıkama aşamalarından geçmektedir. Diğer ayrıştırma yöntemlerinden ayıran bölüm ise ısıtma sürecidir. 300°C'lere varan yüksek sıcaklıklardan sonra zayıflamış eski harcın bir kısmı, GKA'nın kalitesini iyileştirmek için 2 no'lu kırım esnasında ayrılacaktır. Fakat bu sürecin dezavantajı ise ısıtma süreçleri ve ek kırma-eleme aşamalarından dolayı

fazla enerji ve yatırım maliyetini de beraberinde getirir.



Şekil 3.5 Japonya'da atık beton geri dönüşüm süreci [55]

Karışık olarak bulunan yapı molozundan üretilen geri kazanılmış ve işlenmiş agregalar %1'den daha az olmak kaydıyla katışık durumda bulunabilir ve yol inşaatı amacıyla uygun olmaktadır fakat bu durum beton üretimi için kullanılacak agrega seçiminde ister istemez uygun olmamaktadır. Betonda kullanılacak GKA'lar %95'ten fazla eski beton içeren saf haldeki malzemelerden elde edildiği takdirde, beton agregalarının teknik özelliklerini karşılamak adına yeterince temiz olmaktadır [58].

3.4 GKA ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Nik. D. Oikonomou [57] tarafından yapılan çalışmada, GKA'sının uygunluk kriterleri ve kullanılacak alanları incelemiştir. Doğal afetler ve kullanım ömrünü tamamlamış yapıları yıkımı sonucunda meydana gelen atıkların tekrar kullanılma yolları incelenmiştir. Yıkım sonucu meydana gelen atıkların yaklaşık %40'ının beton, %30'unun seramik, %5'inin plastik, %10'unun ahşap ve geri kalan atıkların çeşitli malzemelerden oluştuğunu belirtmiştir. GKA'larının kullanımının ekolojik açıdan fayda sağlayacağı sonucuna varmıştır.

Corinaldesi ve Mirconi [58] tarafından yapılan deneysel çalışmada, geri kazanılmış beton agrega kullanımı ile beton mukavemetinin azaldığı ve bu azalmanın %40'lara kadar vardığı görülmüştür. Ancak %20'ye kadar ince GKA veya %30'a kadar kaba GKA içeren betonun dayanımında herhangi bir azalmanın olmadığı ama bu seviyelerin üzerine çıkıldıkça GKA içeriği arttıkça dayanımında sistematik azalmaların olduğu sonucuna varmıştır.

Sagoe-Crentsil vd. [59] tarafından yeni beton üretimi için tamamı GKA'lardan oluşan beton serileri üretilmiştir. %100 GKA'dan üretilen bu serilere uygun dayanım sonuçları elde etmek için çimento ikamesi olarak curüf kullanılmıştır. Bu

Üretilen numuneler bir yıl süreyle krde bekletilmiştir. Sonuç olarak curüf katılan serilerde basınç, yarmada çekme ve karbonatlaşma oranının daha fazla olduğu ayrıca GKA ile üretilen serilerde su emme oranının daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

Tu T., Chen Y., Hwang C. [60] yaptıkları çalışmalarda, GKA'sını kullanarak yüksek dayanımlı beton üretmek amacıyla 10 grup deney yapmışlardır. Deneyler sonucunda elek analizi, birim ağırlığı, kuru birim ağırlığı, su emme kapasitesi ve aşınma sonuçlarının genel olarak DA'dan daha kötü sonuçlar verdiğini gözlemlemişlerdir. Ancak iyi tasarım hesabı uygulandığında GKA'larını da kullanarak yüksek dayanımlı beton retililebileceğini görmüşlerdir.

Buck [61] tarafından yapılan çalışmada, eski beton kırıklarının tekrar kullanılması ile ilgili çalışmada eski beton kırığı sonucunda meydana gelen agregaların kullanıldığında daha yüksek su emme ve daha düşük özgül ağırlığa sahip olduklarını belirtmiştir. Silisli agregalar ve kalker agregası beton kırıkları kullanarak üretilen betonların 90 günlük basınç dayanımlarının DA'larla üretilen eski betonların dayanımından daha düşük olduğunu belirlemiştir. Eski betonlardan elde edilen agregaların içerdikleri harçlardan dolayı daha boşluklu olduğu ve bunun donma-çözünme tekrarlarında mukavemeti artırabileceğini ileri srmştir.

Young vd. [62] tarafından yapılan çalışmada, DA'lardan üretilen beton numunelerini kırarak elde ettikleri iri agregayı %0, %5 ve %100 oranlarında DA'lar ile ikame edilerek ve buna ek olarak suya doygun yüzey kuru GKA ile %100 oranında ikame ederek tekrar beton numuneler üretmişlerdir. GKA da birim hacim ağırlığı, su emme kapasitesi, özgül hacim ağırlığı ve nem içeriği llmştir ve DA ile kıyaslanmıştır. GKA ile üretilen numunelerde özgül ağırlık ve birim ağırlığında daha düşük, nem içeriği ve su emme kapasitesinin daha yüksek olduğunu belirlemişlerdir. Elde edilen numunelerin slump değerleri de llmştir. DA ile üretilen betonlar ile GKA'lardan elde edilen numunelerin çökme değerleri aynı çıkmıştır. Çalışma sonucunda, %50 oranında iri DA ile ikame edilmiş numunelerin basınç dayanımları şahit numunelere yakın değerler aldığı, yarmada çekme dayanımını %100 GKA ile ikame edilen numunelerin şahit betonuna göre daha iyi sonuçlar verdiği, eğilme dayanımı GKA ile üretilen numunelerde daha yüksek fakat ilerleyen srelerde şahit betona göre daha düşük

sonuç verdiği, bunlar göz önüne alındığında geri kazanım oranı %50 olan GKA ve suya doygun yüzey kuru agrega ile üretimin yapılabilineceğini savunmuştur.

Jianzhuang Xiao [63] tarafından yapılan çalışmada, GKA ile üretilen betonlar kullanılarak üretilen kirişin eğilme ve kesme davranışlarını, GKA ile üretilen yarı precast kirişin eğilme ve kesme davranışını incelemiştir. Ayrıca bu çalışmada çelik fiber takviyeli GKA döşemenin kayma davranışı ve ekstantrik basınç altında kolonun davranışını incelemiştir. Sonuç olarak GKA ile üretilen beton kirişlerin DA ile üretilen beton kirişlerle benzer performans sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Kesme kuvveti performansı kıyaslandığında GKA'lı kirişin kesme kaybının DA'lı kiriş ile benzer olduğu görülmüştür. Aynı koşullar altında sıradan betonla karşılaştırıldığında GKA'lı kirişin diyagonal kesit alanı zorlama yüklerinin, DA'lı kirişten daha küçüktür sonucuna varılmıştır.

Günçan N. F. [64] yaptığı çalışmada, C16 dayanımı için üretilen standartla ürettiği numunelerde %0, %30, %50, %60, %70 ve %100 oranlarında C16 sınıfındaki eski beton atığı içeren beton numuneler üretmiştir. Üretilen numuneler üzerinde farklı şekillerde mekanik ve fiziksel araştırmalar yapmıştır. Bu araştırmalar sonucunda içerisinde eski beton atığı bulunan betonun dayanımının ve birim hacim ağırlığının azaldığını gözlemlemiştir.

Etxeberria vd. [65] yaptıkları çalışmada, beton numuneler için kırılmış betondan üretilen GKA'lardan elde edilen kaba agregaları kullanmışlardır. %0, %25, %50, ve %100 oranlarında DA'lar ile GKA'lar ikame edilmiştir. Dört farklı GKA ile üretilen betonların basınç dayanım sonuçlarının aynı çıkması için beton tasarımı hazırlamışlardır. GKA'ların taze beton özelliklerini, su-çimento oranını ve düşük mukavemet değişikliğini incelemek amacıyla ıslak durumda fakat suya doyurulmamış olarak kullanılmıştır. Beton numune üretiminde kullanılan geri kazanılmış beton agregalarının yarmada çekme mukavemetinin geliştirilmesi açısından analiz gerçekleştirilmiştir. GKA'lar kullanılarak üretilen betonların DA kullanılarak üretilen betonlara göre daha düşük elastisite modülü oranına sahip oldu görülmüştür.

Köken vd. [66] yaptıkları çalışmalarda, beton basınç dayanımı 20MPa olan atık betonlardan elde edilen GKA'ların mekanik ve fiziksel özelliklerini incelemiştir. Bu agregalardan farklı karışım oranlarında beton üretilmiştir. 1.

Karışımın tamamen GKA'lerden meydana gelmektedir. 2. karışımında iri agrega olarak GKA ince agrega olarak kırma taş kumu kullanılmıştır. 3. karışımında ise tamamı doğal olan kırma taş agregalar kullanılmıştır. Sonuç olarak GKA'lı betonlarda agregaların üzerinde bulunan harçlardan dolayı GKA'ların DA'lara göre birim ağırlığının düşük olduğu, deneyde kullanılan agregaların Los Angeles Aşınma kaybının %31,72 olduğu saptanmıştır. Bu da agreganın parçalanma ve aşınmaya karşı dayanıklı olduğunu göstermiştir. GKA'ların beton üretiminde miktarı arttıkça taze haldeki betonda işlenebilirliğinin azaldığı görülmüştür. İşlenebilirliği arttırmak amacıyla GKA'ların betonda kullanım oranlarıyla ilişkili olarak akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmalıdır. Ayrıca betonda kullanılan GKA oranı arttıkça 7 ve 28 günlük beton basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Betonda GKA miktarı arttıkça yarmada çekme dayanım sonuçlarının azaldığı tespit edilmiştir.

Khatib [67] yaptığı çalışmada, içerisinde ince GKA bulunan betonun özelliklerini incelemiştir. GKA, 5 mm'den daha küçük partiküller bulunan betondan ve kırılmış tuğladan meydana gelmiştir. Tüm karışımlar için su-çimento oranı sabit tutulmuştur. Üretilen betonlarda ince agrega sırasıyla %0, %25, %50 ve %100 oranlarında küçük partiküllü beton ve kırılmış tuğladan üretilen malzeme ile ikame edilmiştir. Genel olarak kırılmış beton içeriği bulunan numunelerde %15-30 oranlarında dayanım kaybı görülmektedir. Bunun yanı sıra, %50'ye kadar kırılmış tuğla içeren betonların sonuçları ile şahit numunelerin sonuçları mukavemet açısından benzer sonuçlar vermiştir. Kırılmış tuğla ile %100 ince agreganın yer değiştirilmesi ile de dayanım oranı sadece %10 seviyelerine gerilemiştir. Kırılmış beton ve kırılmış tuğla içeren betonda daha çok genleşme ve rötre çatlağı meydana gelmiştir.

İstanbul ili Büyükçekmece ilçesi sınırları içerisinde yapım yılı 1988, mevcut beton dayanımı 5.81 MPa olan ve 1.derece deprem bölgesinde bulunan bir yapının kentsel dönüşüm sonucu yıkımından meydana gelen inşaat yıkıntı atıklarının değerlendirilmesi amacıyla yapılan bu çalışmada yapıdan alınan agregaların tekrar değerlendirilmek üzere kullanımı amaçlanmıştır. Bu çalışmada bu yapılardan elde edilen agregalar farklı oranlarda %0, %10, %20, %30, %40, %50, %75 ve %100 GKA olarak kullanılmış; SD ve UK kullanılarak beton serileri üretilmiş ve geleneksel beton ile kıyaslanmıştır. Üretilen beton numuneleri uygun koşullarda kür edilmiş, 28. günde dayanımları hem fiziksel hem de mekanik deneyleri yapılmıştır. Beton üretiminde mineral katkı olarak SD ve UK kullanılmış, kimyasal katkı olarak süperakışkanlaştırıcı kullanılmıştır. DA'lar kalker esaslı kırma taşlar kullanılmış, fiziksel ve mekanik deneyleri yapılmıştır. GKA'lar ise yukarıda bahsi geçen yapıdan elde edilmiş ve uygun granülometride elde edilmek için çeneli kırıcı yardımıyla ince ve iri agregalar olarak kullanılmak üzere hazırlanmıştır. Deney numune betonları üretilirken CEM I 42.5R çimentosu kullanıştır. Hedef dayanımı C30/37 olan beton numunelerinin s/ç oranı 0.47 olarak belirlenmiş ve XC1 (kuru veya sürekli ıslak) etki sınıfına maruz kalacağı düşünülen beton serileri üretilmiştir. Bu deney kapsamında şahit beton (RL0), RL10(%10 geri kazanılmış agregalar ikameli), RL20(%20 geri kazanılmış agregalar ikameli), RL30(%30 geri kazanılmış agregalar ikameli), RL40(%40 geri kazanılmış agregalar ikameli), RL50(%50 geri kazanılmış agregalar ikameli), RL75(%75 geri kazanılmış agregalar ikameli) ve RL100(%100 geri kazanılmış agregalar ikameli) oranlarında GKA ikameli deney numuneleri hazırlanmış ve her biri için takım adlandırılması yapılmıştır. Her bir takım için basınç deneyleri 10x10x10 boyutlarında küp kalıplara yarmada çekme deneyleri içinse; 10x20 silindir kalıplara yerleştirilmek üzere: 18 adet küp, 18 adet silindir numuneleri hazırlanmıştır. Toplam üretimde 8 takım göz önünde bulundurulduğunda basınç deneyleri için 144 adet numune, yarmada çekme deneyleri içinse 144 adet beton numuneleri hazırlanmıştır. Üretilen numuneler değerlendirilme aşamasında; katkı

oranları ve GKA oranları gözetilerek kıyaslanmıştır.

4.1 Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Numuneler hazırlanırken CEM I 42.R çimento, mineral katkı olarak SD ve UK, kimyasal katkı maddesi olarak süperakışkanlaştırıcı, ince ve iri DA, iri ve ince GKA ve su kullanılmıştır.

4.1.1 Agregalar

Numuneler üretilirken kullanılan GKA'lar mahaldeki yıkımın ardından öncelikle kaba atıklardan arındırılmış ardından farklı boyutlarda hazırlanmak üzere konkasör (çeneli kırıcı) yardımıyla kullanıma hazır hale getirilmiştir. Agregaların maksimum dane çapı 22,4 mm olarak belirlenmiştir. Agregaların granülometrisi belirlenirken TS EN 1097-3:1999 ve TS EN 1097-6:2013'a uygun olarak hazırlanmıştır. Elek analizi sonuçları Tablo 4.1'de paylaşılmıştır. Tablo 4.1 incelendiğinde ince DA olarak doğal kum, taş tozu ve 1 no; ince GKA olarak GKA1, kaba DA 2 no, kaba GKA'lar ise GKA 2 no olarak adlandırılmıştır.

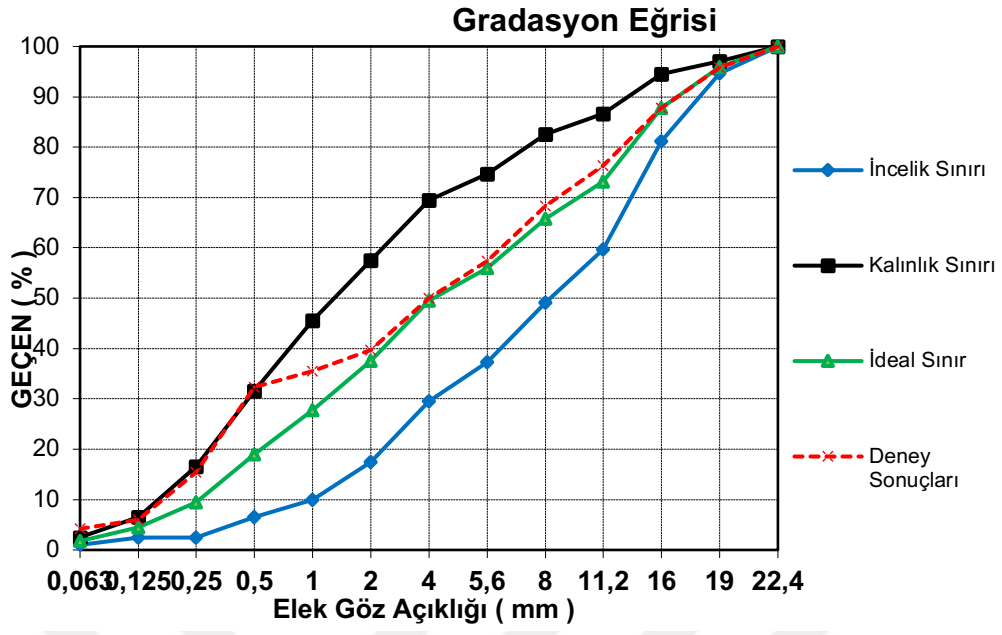
Üretimde kullanılan DA'ların en büyük dane boyutu 4 mm olan silis esaslı doğal kum kullanılmış ve en büyük tane çapı 22,4 mm olan kalkerli kırmataş kullanılmıştır. Agregaların granülometrisi ve teknik yeterlilikleri TS EN 1097-6:2013 ve TS EN 1097-3:1999'a göre hazırlanmıştır. TS EN 933-1:2012'e göre yapılan *Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini- Eleme metodu* sonuçları Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Tablo 4.1 Geri kazanılmış agregaların elek analiz değerleri

Elek mm	AGREGALAR						Karışım
	Doğal Kum	Taş Tozu	GKA 1 No	GKA 2 No	1 No	2 No	
22,4	100	100	100	91	100	100	100
19	100	100	100	70	100	83,4	95,9
16	100	100	100	34	100	51	87,8
11,2	100	100	89	4	98,8	6,5	76,3
8	100	100	66	3	73,1	1,5	68,4
5,6	100	99,1	32	3	32,4	0,9	57,5
4	100	94,2	8	3	8	0,9	50
2	99,2	55,3	4	2	1,9	0,9	39,7
1	98,1	38	3	2	1,6	0,9	35,5
0,5	94,2	28,4	2	2	1,6	0,9	32,3
0,25	35,2	24,2	2	1	1,4	0,8	15,4
0,125	3,1	20,9	2	1	1,4	0,8	6
0,063	0,9	18					4,2
Karışım	27	22	0	0	26	25	100

Tablo 4.2 Doğal agregaların elek analiz değerleri

Elek mm	AGREGALAR						Karışım
	Doğal Kum	Taş Tozu	GKA 1 No	GKA 2 No	1 No	2 No	
22,4	100	100	100	91	100	100	100
19	100	100	100	70	100	94,5	98,7
16	100	100	100	34	100	64,8	91,4
11,2	100	100	89	4	95,3	5,9	75,8
8	100	100	66	3	47,4	0,9	63,4
5,6	98,3	99,2	32	3	14,9	0,6	55
4	94,6	91,5	8	3	1,4	0,5	48,9
2	83,3	57,2	4	2	0,6	0,5	37,3
1	71,1	31,9	3	2	0,6	0,5	27,8
0,5	46,3	17,4	2	2	0,6	0,5	17,4
0,25	14	8,8	2	1	0,5	0,5	6,3
0,125	3,1	4,1	2	1	0,5	0,4	2,1
0,063	0,9	18					4,6
Karışım	28	24	0	0	23,5	25,4	100



Şekil 4.1 Geri kazanılmış agrega karışım gradasyon eğrisi



Şekil 4.2 5 MPa Dayanıma Sahip Yapının Yıkım Öncesi



Şekil 4.3 5 MPa dayanıma sahip yapının yıkım sonrasındaki inşaat atıkları



Şekil 4.4 İnşaat yıkıntı atıklarının el ile ayrıştırılması



Şekil 4.5 İnşaat yıkıntı atıklarının kırılması işlemi



Şekil 4.6 Konkasör makina işlemi ardında oluşan GKA



Şekil 4.7 1 ve 2 No'lu GKA'lar

4.1.2 Mineral Katkı Malzemeleri

Mineral katkıları betonda bulunan çimentonun belirli oranlarda ikamesi sonucu kullanılan betonun çevresel koşullara uyum sağlayabilmesi, üretim girdilerinin azaltılması ve betonun dayanımını artırabilmek için kullanılan mineral katkılardır. Bu çalışmada mineral katkı olarak %5 ile %10 arasında değişen oranlarda SD ve UK kullanılmıştır.

4.1.3 Silis Dumanı

SD temini AKÇANSA çimento fabrikasından temin edilmiştir. SD kimyasal birleşen ve fiziksel özellikleri Tablo 4.3'te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 SD'nın fiziksel ve kimyasal özellikleri

Silis Dumanı		
	Birim	Ölçüm Sonuçları
Kızdırma Kaybı	%	2,22
SiO ₂	%	91,58
Na ₂ O	%	1,05
SO ₃	%	0,63
K ₂ O	%	0,35
Na ₂ O Eşd. Cins. Top. Alkali	%	1,28
Cl	%	0,0184
Serbest CaO	%	0,03
Yoğunluk	gr/cm ³	2,3

4.1.4 Uçucu Kül

UK temini ESP-Kül Curüf tesisi Bekirli termik santralinden temin edilmiştir. UK kimyasal birleşen ve fiziksel özellikleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir.

Tablo 4.4 UK'ün fiziksel ve kimyasal özellikleri

Uçucu Kül		
	Birim	Ölçüm Sonuçları
Kızdırma Kaybı	%	2,79
K ₂ O	%	2,3
CaO	%	2,69
Na ₂ O	%	1,12
SO ₃	%	0,5
Fe ₂ O ₃	%	6,87
Na ₂ O Eşd. Cins. Top. Alkali	%	2,63
Reaktif CaO	%	0,05
45 µ Elek Kalıntısı	%	21,1
Priz Başlangıcı	dk.	195
Hacim Genleşmesi	mm	1
Yoğunluk	kg/m ³	2320

4.1.5 Kimyasal Katkı Maddeleri

Deneysel çalışma kapsamında CHRYSO firmasına ait CHRYSO- DELTA 8128 kodlu yüksek oranda su azaltıcı/ süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Katkı malzemesinin teknik özellikleri Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Süper akışkanlaştırıcı malzemenin fiziksel ve kimyasal özellikleri

Kimyasal Katkı/Süper Akışkanlaştırıcı	
Görünüm	Sıvı
Renk	Kahverengi
Koku	Karakteristik
Ph	3,5-5,5
Hacimsel Yoğunluk	1,045-1,085 kg/l
Çözünürlük	Suda çözünür
Viskozite	Bilinmemektedir
En yüksek alkali muhtevası	Kütlece ≤ %5
En yüksek klorür muhtevası	Kütlece ≤ %0,2

4.1.6 Çimento

Bu çalışmada kullanılan çimento AKÇANSA Büyükçekmece fabrikasından üretilen CEM I 42.5 R çimentosu TS EN 197-1:2012 Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar- Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri uygun olarak hazırlanmıştır. Yine bu çimentonun fiziksel özellikleri TS EN 196-2:2013, kimyasal özellikleri TS EN 196-3:2017 ve TS EN 196-6:2020 ve dayanım deneyleri TS EN 196-1:2016'e uygun olarak hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.6 ve 4.7'de dayanım özellikleri Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Çimentonun kimyasal özellikleri

Kimyasal Analiz	Standart	Analiz Sonuçları
SiO ₂ (%) Çözünen		18,88
Çözünmez Kalıntı (%)	≤ %5	0,85
Al ₂ O ₃ (%)		4,97
Fe ₂ O ₃ (%)		3,25
CaO (%)		62,87
MgO (%)		1,26
S ₀₃ (%)	≤ %5	3,82
Kızdırma Kaybı (%)	≤ %5	3,4
Cl (%)	≤ %5	0,041
Na ₂ O / K ₂ O(%)		0,26 / 0,75
Tayin Edilemeyen (%)		0,5
CaO (%)		1,05
C ₃ S(%)		59,19
C ₂ S(%)		9,56
C ₃ A(%)		7,68
C ₄ AF (%)		9,89
LSF (%)		0,99

Tablo 4.7 Çimentonun fiziksel özellikleri

Fiziksel Deneyler	Standartlar	Analiz Sonuçları
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)		3,13
Priz Başlama (dk)	≥ 60	108
Priz Bitiş (dk)		147
Hacim Genleşmesi (mm)	≤ 10	1
Özgül Yüzel (cm ² /gr)		3690
45 µ kalıntısı (%)		3,6
90 µ kalıntısı (%)		0,2≥

Tablo 4.8 CEM I 42,5R Çimentosuna ait dayanım sonuçları

Mekanik Özellik / Gün	Standart	Deney Sonuçları
Erken Dayanım 2 gün	$\geq 20,0$ MPa	34,7
Erken Dayanım 7 gün	-----	47,9
Standard Dayanım 28 gün	$\geq 42,5$ MPa $\leq 62,5$ MPa	58,1

4.2 Numuneleri Üretimi ve Kodlandırılması

Hazır beton reçeteleri hazırlanırken TS EN 206+A2:2021 standarttı göz önüne alınmaktadır. TS EN 206+A2:2021 incelendiğinde beton tasarımında çevresel etki sınıfları dikkate alınıp reçeteler oluşturulmaktadır. Bu çalışmada çevresel etki sınıflarından karbonatlaşmanın sebep olduğu korozyon etki sınıfı dikkate alınmıştır. Bu etki sınıfında şartnamenin belirlediği maksimum ve minimum gereklilikler şöyledir: En büyük su/çimento oranı 0,7 ve en az çimento dozajı 250 kg/m³ fakat mineral katkı kullanıldığında ise 240 kg/m³ yine aynı şartname doğrultusunda en düşük beton sınıfı C20/25'tir. GKA'lı numunelerde dane çapı 5,6-22,4mm aralığında değişen agregalar kullanılmıştır. Tüm beton serilerinde su azaltıcı süper akışkanlaştırıcı malzeme kullanılmıştır. Çökme değerleri S4(160-210mm) sınıfına uygun olarak üretilmiştir. Deneylerde öncelikle kontrol grubu oluşturulmuş buradaki tüm seriler DA'lı numunelerden üretilmiştir. İkinci grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %10 ikamesinden oluşturulmuştur. Üçüncü grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %20 ikamesinden oluşturulmuştur. Dördüncü grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %30 ikamesinden oluşturulmuştur. Beşinci grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %40 ikamesinden oluşturulmuştur. Altı grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %50 ikamesinden oluşturulmuştur. Yedinci grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %75 ikamesinden oluşturulmuştur. Sekizinci grup numuneler GKA'nın DA'lar ile %100 ikamesinden oluşturulmuştur. Tüm grupların ilk numuneleri mineral katkı ilavesiz, diğer numuneler ise %5 SD ve %5 UK katkılı, %10 SD ve %10 UK her grubun son seri ise mineral katkı oranı %10

korunarak %5 SD ve %5 uçucu karıştırılarak kullanılmış ve bu seriler Hibrit seri olarak adlandırılmıştır. Tablo 4.9’de tüm beton gruplarının adlandırılması gösterilmiştir. Tüm seriler hazırlanırken 1m³ beton üretimi yapılmıştır, Tablo 4.10’da 1m³ beton serileri oluşturulurken kullanılan malzemeler gösterilmiştir.

Tablo 4.9 Beton numunelerin adlandırılması

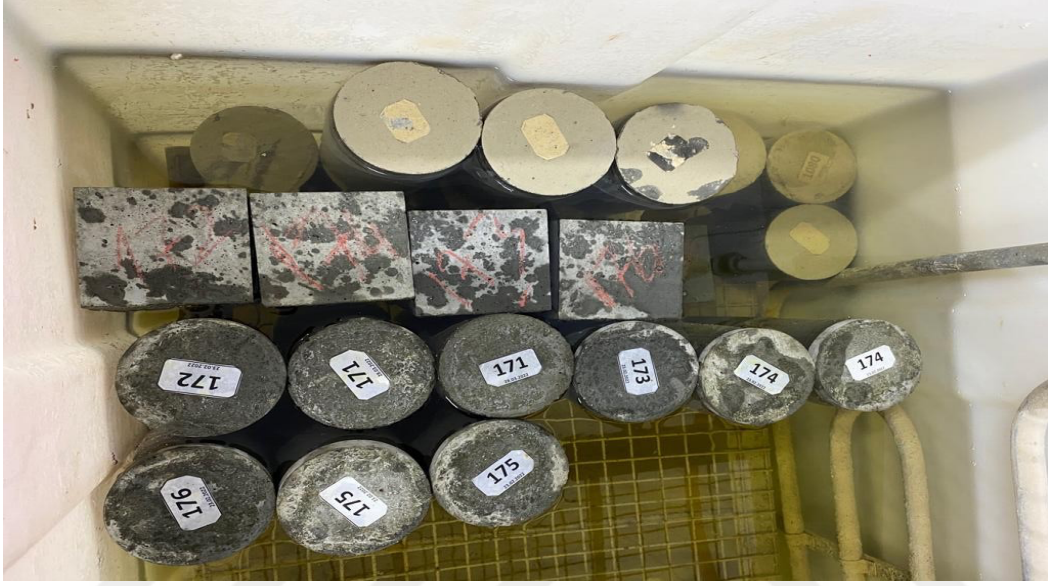
Numune Kodu	Açıklama
RL0C	Doğal Agregalı Seri
RL0SD5	Doğal Agregalı %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL0UK5	Doğal Agregalı %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL0SD10	Doğal Agregalı %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL0UK10	Doğal Agregalı %10 Uçucu Kül Seri
RL0SD5UK5	Doğal Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL10C	%10 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL10SD5	%10 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL10UK5	%10 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL10SD10	%10 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL10UK10	%10 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL10SD5UK5	%10 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL20C	%20 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL20SD5	%20 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL20UK5	%20 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL20SD10	%20 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL20UK10	%20 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL20SD5UK5	%20 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL30C	%30 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL30SD5	%30 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL30UK5	%30 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL30SD10	%30 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL30UK10	%30 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL30SD5UK5	%30 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL40C	%40 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL40SD5	%40 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL40UK5	%40 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL40SD10	%40 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL40UK10	%40 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL40SD5UK5	%40 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL50C	%50 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL50SD5	%50 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL50UK5	%50 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL50SD10	%50 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL50UK10	%50 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL50SD5UK5	%50 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL75C	%75 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL75SD5	%75 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL75UK5	%75 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL75SD10	%75 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL75UK10	%75 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL75SD5UK5	%75 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)
RL100C	%100 Geri Kazanılmış Agregalı İkameli Seri
RL100SD5	%100 Geri Kazanılmış %5 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL100UK5	%100 Geri Kazanılmış %5 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL100SD10	%100 Geri Kazanılmış %10 Silis Dumanı Katkılı Seri
RL100UK10	%100 Geri Kazanılmış %10 Uçucu Kül Katkılı Seri
RL100SD5UK5	%100 Geri Kazanılmış Agregalı Hibrit Seri (%5SD+%5UK)

Tablo 4.10 9dm³ beton için gerekli malzeme miktarları

	Karışık	Kimyasal Katkısı (kg)	Cimento (kg)	SD (kg)	UK (kg)	Su (kg)	Katkı	Doğal Kum (kg)	Taş Tozu (kg)	Toplam GKA (kg)	Toplam Agregası (kg)
KONTROL GRUBU	RL0C	0,9	3,15	0	0	1,4	0,03	4,69	4	0	8,05
	RL0CS5	0,96	2,99	0,16	0	1,4	0,03	4,69	4	0	8,05
	RL0CS10	1,05	2,84	0,32	0	1,4	0,03	4,69	4	0	8,05
	RL0CU5	0,8	2,99	0	0,16	1,4	0,03	4,69	4	0	8,05
	RL0CU10	0,7	2,84	0	0,32	1,4	0,03	4,7	4	0	8,06
	RL0CSU5	0,9	2,84	0,16	0,16	1,4	0,03	4,69	4	0	8,05
RL10	RL10	0,9	3,15	0	0	1,44	0,03	4,65	4,01	0,67	7,24
	RL10S5	0,98	2,99	0,16	0	1,44	0,03	4,65	4,01	0,67	7,24
	RL10S10	1,05	2,84	0,32	0	1,44	0,03	4,65	4,01	0,67	7,24
	RL10U5	0,8	2,99	0	0,16	1,44	0,03	4,65	4,01	0,67	7,24
	RL10U10	0,68	2,84	0	0,32	1,44	0,03	4,65	4,01	0,67	7,24
	RL10SU5	0,9	2,84	0,16	0,16	1,44	0,03	4,65	4,01	0,67	7,24
RL20	RL20	0,9	3,15	0	0	1,57	0,03	4,54	4,03	1,32	6,44
	RL20S5	1	2,99	0,16	0	1,57	0,03	4,54	4,03	1,32	6,44
	RL20S10	1,05	2,84	0,32	0	1,57	0,03	4,54	4,03	1,32	6,44
	RL20U5	0,8	2,99	0	0,16	1,57	0,03	4,54	4,03	1,32	6,44
	RL20U10	0,74	2,84	0	0,32	1,57	0,03	4,54	4,03	1,32	6,44
	RL20SU5	0,9	2,84	0,16	0,16	1,57	0,03	4,54	4,03	1,32	6,44
RL30	RL30	0,9	3,15	0	0	1,68	0,03	4,53	3,98	1,94	5,63
	RL30S5	0,74	2,99	0,16	0	1,68	0,03	4,53	3,98	1,94	5,33
	RL30S10	0,8	2,84	0,32	0	1,68	0,03	4,53	3,98	1,94	5,63
	RL30U5	0,58	2,99	0	0,16	1,68	0,03	4,53	3,98	1,94	5,63
	RL30U10	0,48	2,84	0	0,32	1,68	0,03	4,53	3,98	1,94	5,63
	RL30SU5	0,65	2,84	0,16	0,16	1,68	0,03	4,53	3,98	1,94	5,63
RL40	RL40	0,8	3,15	0	0	1,62	0,03	4,54	4	2,64	4,83
	RL40S5	0,9	2,99	0,16	0	1,62	0,03	4,54	4	2,64	4,83
	RL40S10	1	2,84	0,32	0	1,62	0,03	4,54	4	2,64	4,83
	RL40U5	0,74	2,99	0	0,16	1,62	0,03	4,54	4	2,64	4,83
	RL40U10	0,65	2,84	0	0,32	1,62	0,03	4,54	4	2,64	4,83
	RL40SU5	0,9	2,84	0,16	0,16	1,62	0,03	4,54	4	2,64	4,83
RL50	RL50	0,74	3,15	0	0	1,6	0,03	4,6	4	3,29	4,02
	RL50S5	0,8	2,99	0,16	0	1,6	0,03	4,6	4	3,29	4,02
	RL50S10	0,9	2,84	0,32	0	1,6	0,03	4,6	4	3,29	4,02
	RL50U5	0,65	2,99	0	0,16	1,6	0,03	4,6	4	3,29	4,02
	RL50U10	0,6	2,84	0	0,32	1,6	0,03	4,6	4	3,29	4,02
	RL50SU5	0,74	2,84	0,16	0,16	1,6	0,03	4,6	4	3,29	4,02
RL75	RL75	0,74	3,15	0	0	1,79	0,03	4,56	3,99	4,84	2,02
	RL75S5	0,65	2,99	0,16	0	1,79	0,03	4,56	3,99	4,84	2,02
	RL75S10	0,8	2,84	0,32	0	1,79	0,03	4,56	3,99	4,84	2,02
	RL75U5	0,55	2,99	0	0,16	1,79	0,03	4,56	3,99	4,84	2,02
	RL75U10	0,48	2,84	0	0,32	1,79	0,03	4,56	3,99	4,84	2,02
	RL75SU5	0,68	2,84	0,16	0,16	1,79	0,03	4,56	3,99	4,84	2,02
RL100	RL100	0,9	3,15	0	0	1,81	0,03	4,54	4	6,54	0
	RL100S5	0,9	2,99	0,16	0	1,81	0,03	4,54	4	6,54	0
	RL100S10	0,9	2,84	0,32	0	1,81	0,03	4,54	4	6,54	0
	RL100U5	0,9	2,99	0	0,16	1,81	0,03	4,54	4	6,54	0
	RL100U10	0,9	2,84	0	0,32	1,81	0,03	4,54	4	6,54	0
	RL100SU5	0,9	2,84	0,16	0,16	1,81	0,03	4,54	4	6,54	0

4.3 Numunelerin Kürlenmesi

Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı testleri için hazırlanan tüm numuneler kalıplara yerleştirilip ardından uygun koşullarda 24 saat bekletildikten sonra 20 ± 2 °C sıcaklıkta deney tarihine kadar kirece doygun su içerisinde kr edilmiştir. Uygun koşulların sürekli muhafazası için belirli periyotlarla su sıcaklığı ve havuzda bulunan suyun kireç oranı ölçümleri yapılmıştır.



şekil 4.8 Numunelerin kürlenmesi

4.4 Taze Beton Deneyleri

Beton retimi yapılırken şekil 4.9’da gösterilen cebri karıştırıcılı betoniye kullanılmıştır. Üretilen farklı orandaki GKA’lı ve DA’lı üretim bu makina vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir. Karıştırma işlemi sonrası hazır betonun Slump (kme (h, cm)) değerleri ölçülmüş ve beton numunenin birim hacim ağırlığı (yoğunluk (D, kg/m^3)) hesaplanmıştır.



Şekil 4.9 Cebri karıştırıcılı betoniyer

4.4.1 Slump (Çökme) Deneyleri

Slump deneyleri TS EN 12350-2:2019'ye uygun olarak hazırlanmıştır. Betoniyerden alınan hazır beton koni şeklindeki kesik koniye üç tabaka halinde döküldü. Her tabaka 25 kez şişlendikten sonra bir sonraki tabakaya geçildi. Kesik huni tam olarak beton ile dolmasıyla beraber düşey bir şekilde yukarı yönlü çekildi. Kesik huni ters çevrilip çöken beton ile en üst seviye arasındaki mesafe ölçülmüştür. Şekil 4.10'de bu uygulama gösterilmiştir. Numunelerde işlenebilirliği TS EN 206+A2:2021 standartta verilen kıvam sınıflarından S4 sınıfına (16-21 cm) uygun olarak hazırlanması hedeflendi ve bu doğrultuda süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı maddesi %0,6- 1,05 oranlarında kullanılarak sonuçlar S4 sınıfına uygun olarak hazırlandı. Slump değerleri Tablo 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.10 Taze beton çökme deneyleri

Tablo 4.11 Taze haldeki betonun çökme sonuçları

Numune Kodu	Çökme (cm)	Numune Kodu	Çökme (cm)
RL0C	18	RL40C	19,5
RL0S5	19	RL40S5	19,5
RL0S10	19	RL40S10	19,5
RL0U5	19	RL40U5	19
RL010	18,5	RL4U10	19
RL0S5U5	18	RL40S5U5	19
RL10C	19	RL50C	19
RL10S5	19	RL50S5	17
RL10S10	18	RL50S10	18
RL10U5	19	RL50U5	19
RL1U10	18,5	RL50U10	19
RL10S5U5	18	RL50S5U5	19,5
RL20C	19	RL75C	19
RL20S5	19	RL75S5	18
RL20S10	18,5	RL75S10	18
RL20U5	19	RL75U5	19
RL20U10	20	RL75U10	19
RL20S5U5	19	RL75S5U5	19
RL30C	19,5	RL100C	19
RL30S5	19	RL100S5	20
RL30S10	19	RL100S10	19
RL30U5	19,5	RL100U5	19,5
RL30U10	19	RL100U10	19,5
RL30S5U5	19	RL100S5U5	19,5

4.4.2 Yoğunluk (Birim Ağırlık) Deneyleri

Yoğunluk değerleri TS EN 12350-6:2019'ya uygun olarak hesaplamaları yapılmıştır. Küp ve silindirik kalıpların kütlesi (m^3 , kg) ve hacmi (V , m^3) belirlenmiş; her numune kalıba yerleştirilmeden önce tartılmıştır. Betoniyerden alınan numuneler bu kalıplara yerleştirilip ardından tartım işlemine geçilmiştir; deney sırasında bu süreçleri gösteren görsel Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Taze betonun yoğunlukları (D , kg/m^3) bağıntı 4.1 yardımıyla hesaplanmıştır. Yoğunluk değerleri Tablo 4.12'da gösterilmiştir.

$$D = (m_1 - m_2) / V \quad (4.1)$$



Şekil 4.11 Kalıpların daralarının alınması ve yoğunluk tayini

Tablo 4.12 Taze haldeki betonun birim hacim değerleri

Numune	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Numune	Birim Ağırlık (kg/m ³)
RL0C	2365	RL40C	2299
RL0S5	2324	RL40S5	2273
RL0S10	2327	RL40S10	2260
RL0U5	2339	RL40U5	2285
RL010	2345	RL4U10	2255
RL0S5U5	2358	RL40S5U5	2292
RL10C	2304	RL50C	2280
RL10S5	2291	RL50S5	2245
RL10S10	2271	RL50S10	2245
RL10U5	2299	RL50U5	2263
RL1U10	2301	RL50U10	2237
RL10S5U5	2295	RL50S5U5	2253
RL20C	2331	RL75C	2178
RL20S5	2317	RL75S5	2211
RL20S10	2310	RL75S10	2190
RL20U5	2313	RL75U5	2195
RL20U10	2310	RL75U10	2210
RL20S5U5	2300	RL75S5U5	2201
RL30C	2299	RL100C	2204
RL30S5	2268	RL100S5	2173
RL30S10	2328	RL100S10	2172
RL30U5	2257	RL100U5	2169
RL30U10	2260	RL100U10	2162
RL30S5U5	2260	RL100S5U5	2162

4.5 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Farklı oranlarda (%0, %10, %20, %30, %40, %50, %75 ve %100) GKA, %5-10 SD ve UK ve farklı miktarlarda kimyasal katkı kullanılarak üretilen beton numuneleri kür edildikten sonra 28.günde mekanik deneyleri yapılmıştır.

4.5.1 Basınç Deneyleri

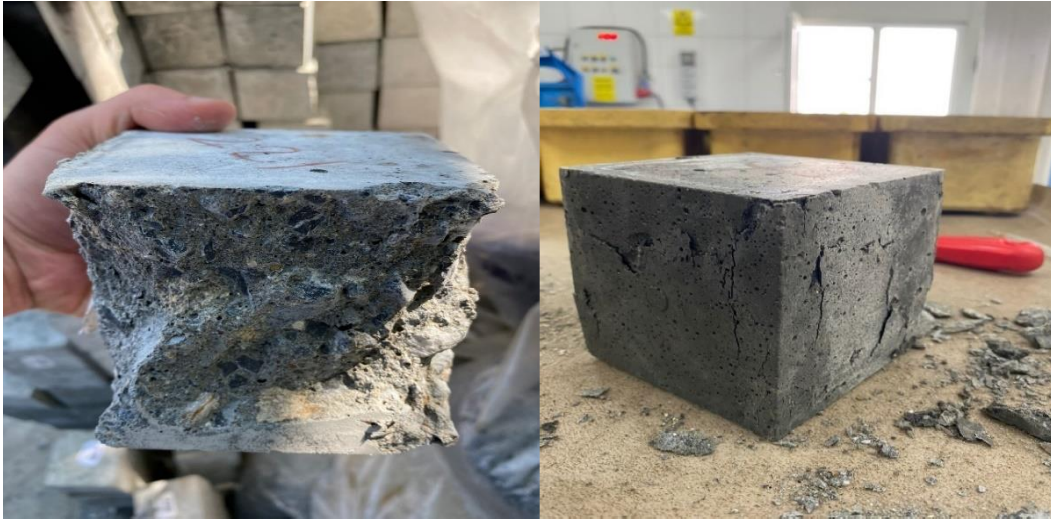
GKA ve DA ile üretilen 144 adet 10x10x10 cm boyutlu küp numuneler ile 144 adet 10/20 cm boyutlu silindir numuneler tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. 28. günde kür havuzundan alınan beton numuneler TS EN 12390-3:2019'e[10] uygun olarak basınç deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler sonucunda numunelerin kırma yükü (F, kN) sonuçları belirlenmiştir. Tüm numunelere 3000 kN kapasiteye sahip basınç aleti kullanıldı ve yükleme hızı 0.6 MPa/sn olarak belirlendi. Deney sırasında kullanılan kalıplar 10x10x10 boyutunda olduğundan 15x15x15 küp numunelere eş değerleri olan dayanım sonuçları için dönüşüm değerleri bağıntı 4.2 yardımıyla hesaplandı. Dönüştürülen basınç dayanımları (f_c , MPa) Tablo EK.1'de verilmiştir. Numunelere ait kırım sonrası görseller Şekil 4.12'da gösterilmiştir.

$$f(150) = f(100) / 1,05 \quad (4.2)$$

Beton sınıfları belirlenirken TS EN 206’da bulunan beton uygunluk kriterleri dikkate alınmıştır. Bu standartta beton sınıfları belirlenirken 2 uygunluk kriteri aranmaktadır. Bu şartlar bağıntı 4.3 ve bağıntı 4.4’te verilmiştir. Her numune makinadan alınan ölçümün ardından bağıntı 4.2 yardımıyla eş değer dayanım sonuçları hesaplanmıştır. Ardından bağıntı 4.3 ve bağıntı 4.4’te bulunan her iki uygunluk koşulunu sağlaması ardından beton sınıfı belirlenmiştir.

$$f_{cm} > f_{ck} + 4.0 \text{ MPa} \quad (4.3)$$

$$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0 \text{ MPa} \quad (4.4)$$



Şekil 4.12 Numunenin beton kırımı ardından oluşan görüntüsü

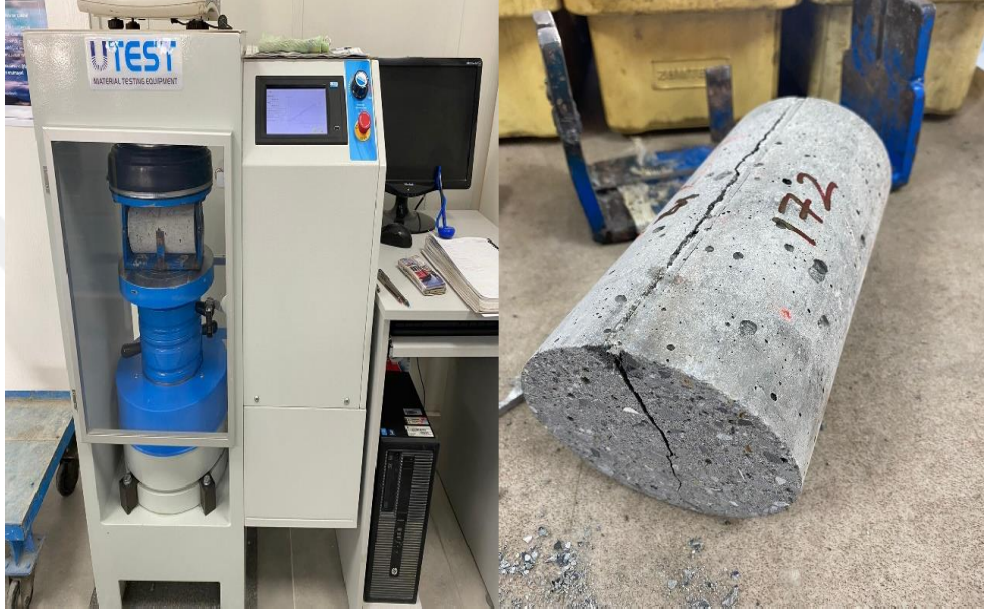
4.5.2 Yarmada Çekme Deneyleri

GKA ve DA ile üretilen 144 adet 10x10x10 cm boyutlu küp numuneler ile 144 adet 10/20 cm boyutlu silindir numuneler tek eksenli basınç ve yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. 28. günde kür havuzundan alınan beton numuneler TS EN 12390-6:2010’a[11] uygun olarak hazırlanmıştır. 10/20 boyutunda silindir numuneler Şekil 4.13’te görüldüğü üzere yarmada çekme deneyleri yapılmıştır. Yarmada çekme deneyi için 3000 kN kapasiteli basınç aleti kullanılmış sabit yükleme hızı olarak 0.001 MPa/sn belirlenmiştir. Yarmada çekme dayanımları (f_{ct} , MPa) bağıntı 4.3 yardımıyla bulunmuş, hesaplanan değerler Tablo EK.2’de gösterilmiştir. Şekil 4.13’te numune kırımının hemen ardından ortadan ayırdıktan sonra oluşan kırılma yüzeyleri gösterilmiştir.

$$f_{ct} = 2F / \pi.L.D \quad (4.3)$$

L= Numune uzunluğu, mm

D= numunenin en kesit boyutu, mm



Şekil 4.13 Yarmada çekme deneyleri

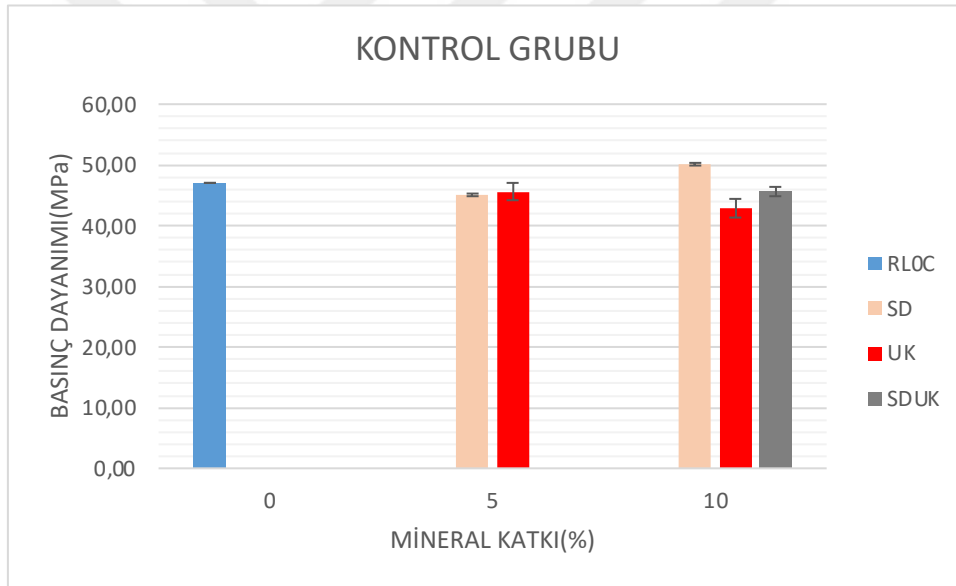


Şekil 4.14 Yarmada çekme deneyleri sonucu numune yüzeyleri

5

DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ ve İRDELENMESİ

Bu bölümde tüm deney numuneleri gruplandırılarak değerlendirilmiştir. Gruplandırma dört farklı kategoride incelenmiştir. İlk iki kategori basınç dayanımı diğer iki kategori yarmada çekme dayanımı açısından değerlendirilmiştir. Bu iki ayrı kategoride bulunan gruplardan ilk gruplar GKA oranı dikkate alınarak incelenirken ikinci gruplar mineral katkı oranı dikkate alınarak değerlendirilmiştir.

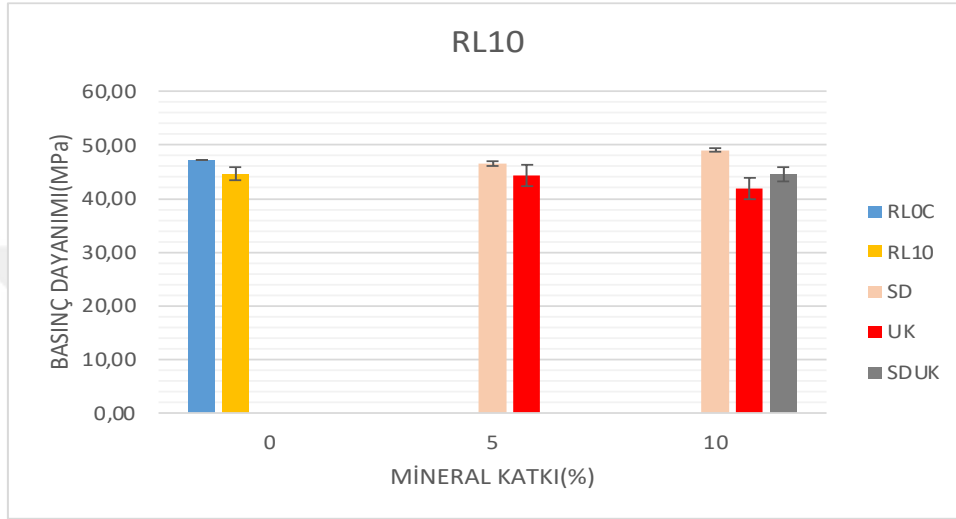


Şekil 5.1 GKA oranı %0 olan serilerde basınç dayanımı

Sahit beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 50,05MPa olarak %10 SD katkılı (RL0SD10) seride görülürken ayrıca bu değer kontrol serileri ile kıyaslandığında dayanıma etkisi yaklaşık %6,2 artış olarak görülmektedir, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL0UK10) seride 42,90MPa olarak belirlenmiştir.
- %5 mineral katkılı seriler (RL0SD5-RL0UK5), kontrol serisi (RL0C) ile kıyaslandığında dayanım açısından farklılıklar gözlemlenmemiştir.

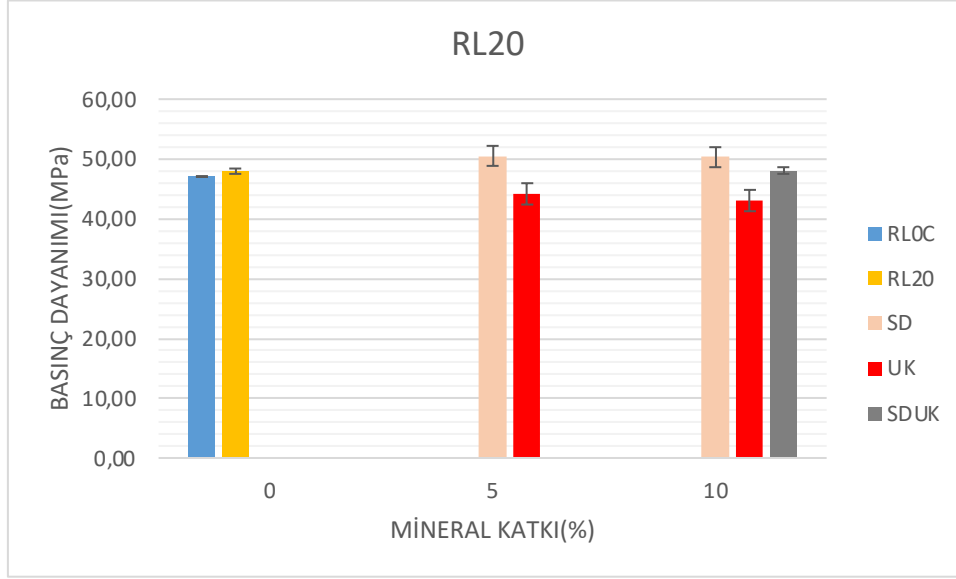
- SD katkılı seriler incelendiğinde, RL0SD5 serisi kontrol serisi ile benzer dayanımlar verirken RL0SD10 serisi yaklaşık %6,2 dayanıma olumlu katkı sağladığı gözlemlenmiştir.
- UK katkılı seriler incelendiğinde, UK'ün artışı ile dayanım açısından düşüş gözlemlenmiştir. RL0UK5 serisinde %3,4, RL0UK10 serisinde yaklaşık %10 azalma gözlemlenmiştir.



Şekil 5.2 GKA oranı %10 olan serilerde basınç dayanımı

%10 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

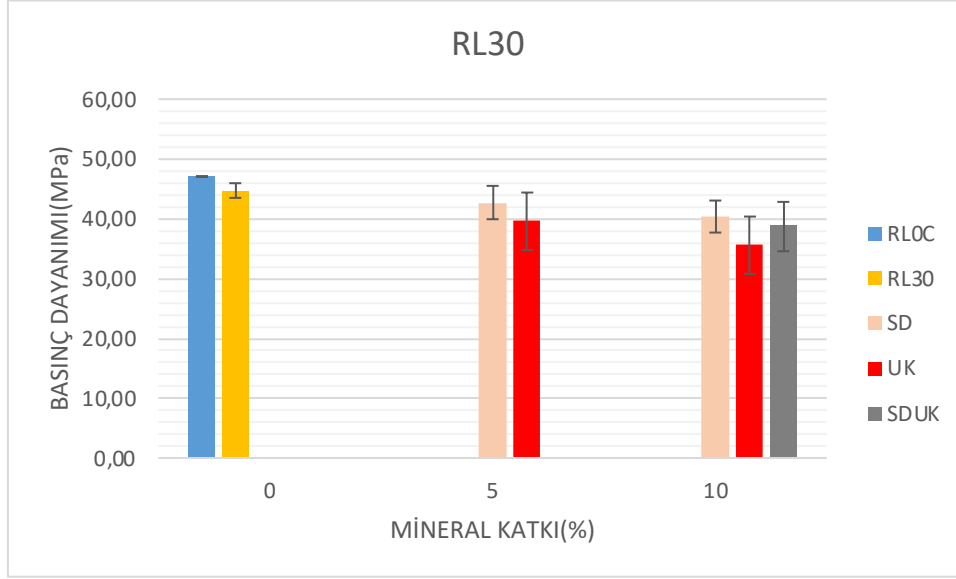
- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 49,08MPa olarak %10 SD katkılı (RL10SD10) seride görülürken, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL10UK10) seride 41,97MPa olarak belirlenmiştir.
- Mineral katkısız serilere kıyasla %10 GKA kullanılan serilerde basınç dayanımı açısından yaklaşık %5,6 azalma görülmüştür.
- %5 mineral katkılı seriler, kontrol serileri ile kıyaslandığında dayanım açısından benzer sonuçlar vermiştir.
- %10 UK kullanılan seriler, kontrol serilerine kıyasla dayanım açısından %6,3 azalma görülürken aksine %10 SD katkılı seriler %10 artış olarak gözlemlenmektedir.
- Hibrit serilerin (RL10SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında %10 mineral katkılı serilerin davranışına benzer sonuçlar görülmektedir. Basınç dayanımı, referans numune ile yaklaşık aynı değerdedir.



Şekil 5.3 GKA oranı %20 olan serilerde basınç dayanımı

%20 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

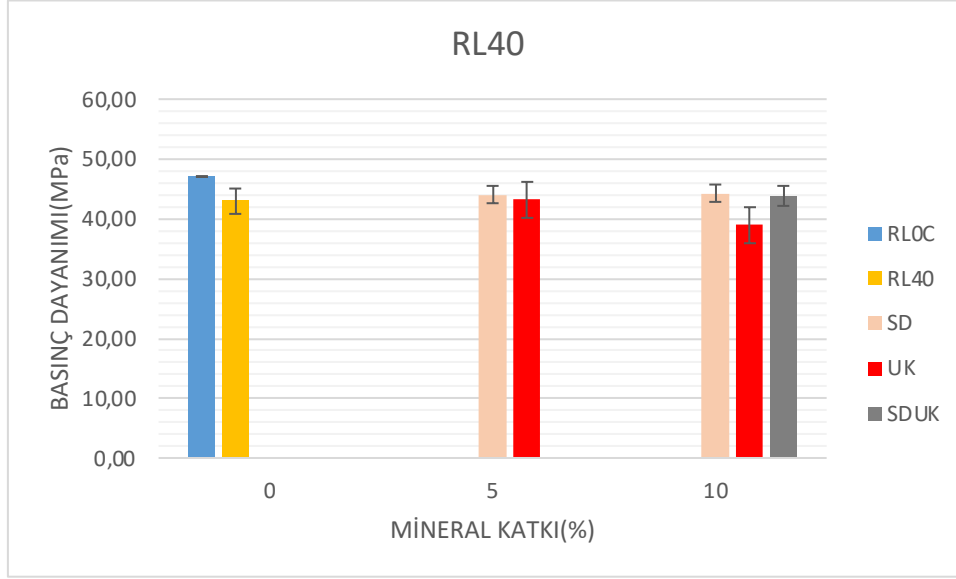
- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 50,52MPa olarak %5 SD katkılı (RL20SD5) seride görülürken, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL20UK10) seride 43,03MPa olarak belirlenmiştir.
- Mineral katkısız serilere kıyasla %20 GKA kullanılan serilerde basınç dayanımı açısından yaklaşık aynı dayanımlar vermiştir.
- %5 mineral katkılı seriler, kontrol serileri ile kıyaslandığında %5 SD kullanımı %5 artış sağlarken yine aynı miktarda UK kullanımı %8,5 azalma olarak gözlemlenmiştir.
- SD katkılı serilerde hem %5 katkılı (RL20SD5) hem de %10 katkılı (RL20SD10) serilerde kontrol serilerine kıyasla benzer performans artışı sağlamıştır.
- UK katkılı serilerde hem %5 katkılı (RL20UK5) hem de %10 katkılı (RL20UK10) serilerde kontrol serilerine kıyasla benzer performans düşüşü gözlemlenmiştir.
- Hibrit serilerin (RL20SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında %20 mineral katkılı serilerin davranışına benzer sonuçlar görülmektedir. Basınç dayanımı, referans numune ile yaklaşık aynı değerdedir.



Şekil 5.4 GKA oranı %30 olan serilerde basınç dayanımı

%30 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

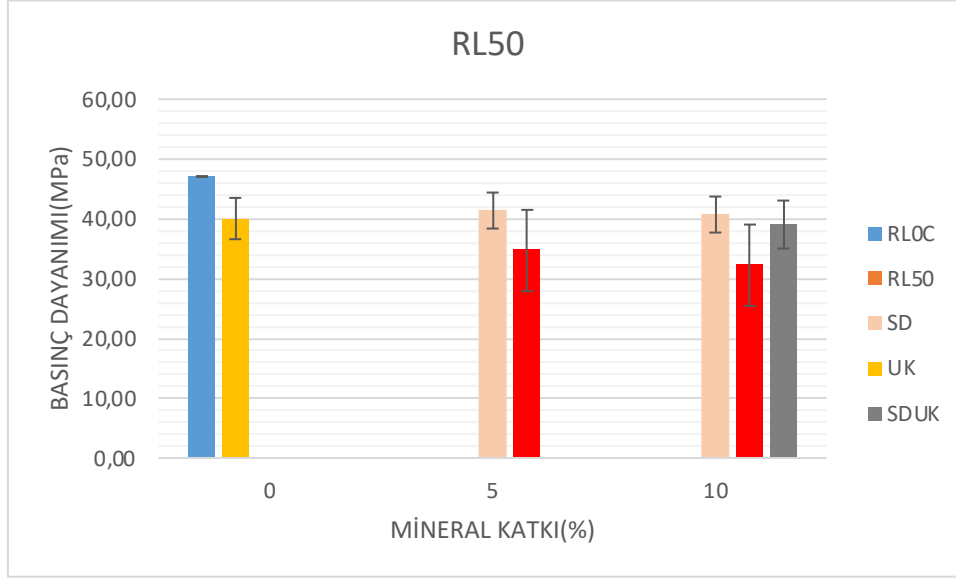
- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 42,72MPa olarak %5 SD katkılı (RL30SD5) seride görülürken ayrıca bu değer kontrol serilerinin dayanımına yaklaşık olarak aynı değerdir, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL30UK10) seride 35,62MPa olarak belirlenmiştir.
- Mineral katkısız serilere kıyasla %30 GKA kullanılan serilerde basınç dayanımı yaklaşık %10 azalmıştır.
- %5 mineral katkılı seriler, kontrol serileri ile kıyaslandığında %5 SD kullanımı kontrol serisi ile aynı sonuçları verirken yine aynı miktarda UK kullanımı %7,7 azalma olarak gözlemlenmiştir.
- SD katkılı seriler incelendiğinde, RL30SD5 serisi kontrol serisi ile benzer dayanımlar verirken RL30SD10 serisi %5,4 dayanım kaybına sebep olmuştur.
- UK katkılı seriler incelendiğinde, UK'ün artışı ile dayanım açısından düşüş gözlemlenmiştir. RL30UK5 serisinde %7,7, RL30UK10 serisinde yaklaşık %20 azalma gözlemlenmiştir.
- Hibrit serilerin (RL30SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında RL30C serisine kıyasla %10 dayanım kaybı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.5 GKA oranı %40 olan serilerde basınç dayanımı

%40 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

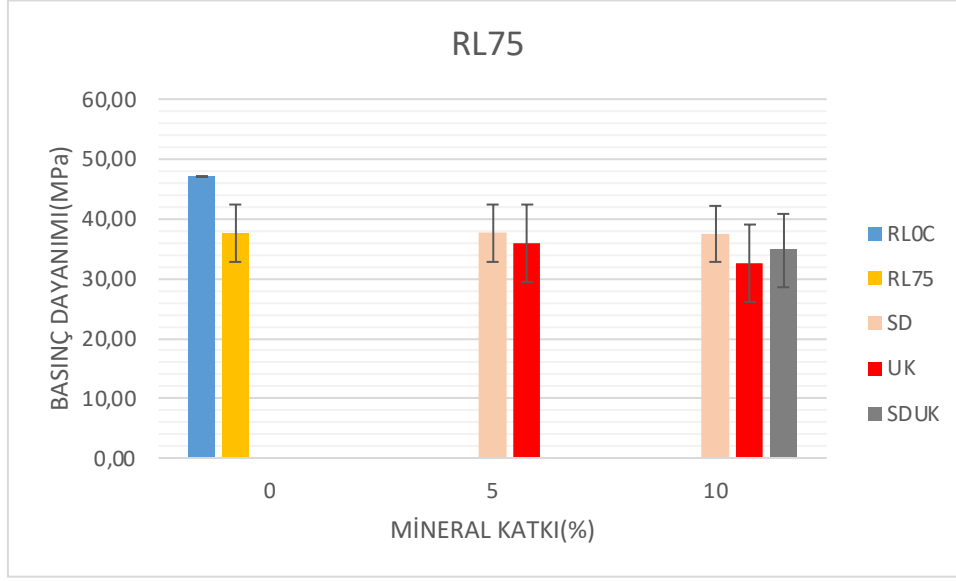
- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 44,27MPa olarak %10 SD katkılı (RL40SD10) seride görülürken ayrıca bu değer kontrol serilerinin dayanımına yaklaşık olarak aynı değerdir, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL40UK10) seride 38,98MPa olarak belirlenmiştir.
- Mineral katkısız serilere kıyasla %40 GKA kullanılan serilerde basınç dayanımı yaklaşık %10 azalmıştır.
- %5 mineral katkılı seriler, kontrol serileri ile kıyaslandığında benzer sonuçlar vermiştir.
- SD katkılı seriler incelendiğinde, kontrol serisi ile benzer sonuçlar vermiştir.
- UK katkılı seriler incelendiğinde, RL40UK5 serisi kontrol serisi ile benzer sonuçlar verirken; RL40UK10 serisi yaklaşık %10 düşüş olarak gözlemlenmiştir.
- Hibrit serilerin (RL40SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında RL40C serisine kıyasla benzer dayanım sonuçları gözlemlenmiştir.



Şekil 5.6 GKA oranı %50 olan serilerde basınç dayanımı

%50 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

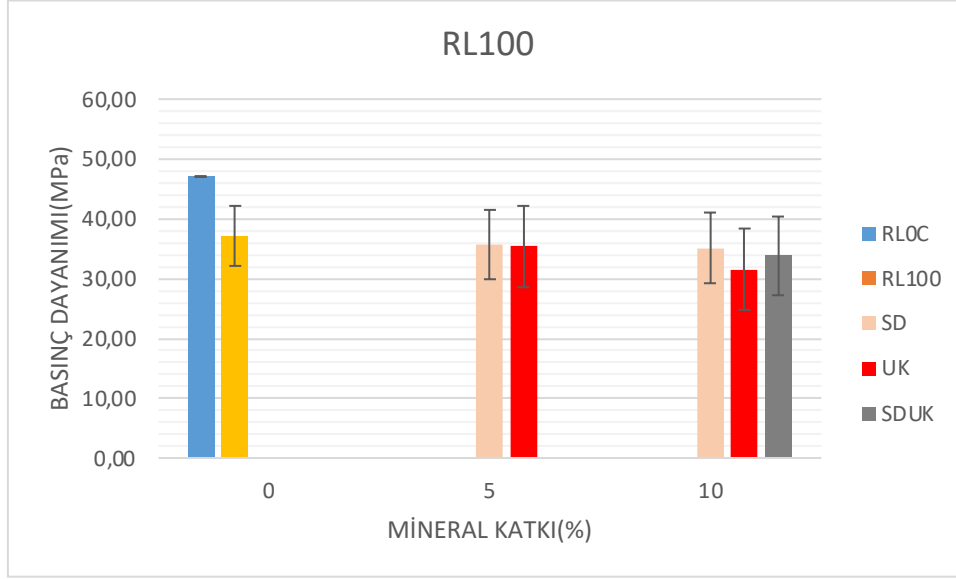
- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 41,46MPa olarak %5 SD katkılı (RL50SD5) seride görülürken ayrıca bu değer kontrol serilerinin dayanımı ile yaklaşık olarak aynı değerdir, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL50UK10) seride 32,30MPa olarak belirlenmiştir.
- Mineral katkısız serilere kıyasla %50 GKA kullanılan serilerde basınç dayanımı yaklaşık %20 azalmıştır.
- %5 mineral katkılı seriler, kontrol serileri ile kıyaslandığında SD kullanımı kontrol serisi ile aynı sonuçları verirken yine aynı miktarda UK kullanımı ile basınç dayanımında %6,2 azalma gözlemlenmiştir.
- SD katkılı seriler incelendiğinde (RL50SD5-RL50SD10), kontrol serileri ile gözle görülür farklılıklar gözlemlenmemiştir.
- UK katkılı seriler incelendiğinde, UK'ün artışı ile dayanım açısından düşüş gözlemlenmiştir. RL50UK5 serisinde %6,2 RL50UK10 serisinde yaklaşık %16,4 azalma gözlemlenmiştir.
- Hibrit serilerin (RL50SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında RL50C serisine kıyasla %4 dayanım kaybı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.7 GKA oranı %75 olan serilerde basınç dayanımı

%75 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 37,68MPa olarak %5 SD katkılı (RL75SD5) seride görülürken ayrıca bu değer kontrol serilerinin dayanımı ile yaklaşık olarak aynı değerdir, en düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL75UK10) seride 32,57MPa olarak belirlenmiştir.
- Mineral katkısız serilere kıyasla %75 GKA kullanılan serilerde basınç dayanımı yaklaşık %25 azalmıştır.
- %5 mineral katkılı seriler (RL75SD5-RL75UK5), kontrol serileri ile kıyaslandığında yaklaşık olarak aynı dayanım sonucunu verdiği gözlemlenmiştir.
- SD katkılı seriler incelendiğinde (RL75SD5-RL75SD10), kontrol serileri ile gözle görülür farklılıklar gözlemlenmemiştir.
- UK katkılı seriler incelendiğinde, UK'ün artışı ile dayanım açısından düşüş gözlemlenmiştir. RL75UK5 serisinde %4,5, RL50UK10 serisinde yaklaşık %15,4 azalma gözlemlenmiştir.
- Hibrit serilerin (RL75SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında RL75C serisine kıyasla %8,2 dayanım kaybı gözlemlenmiştir.



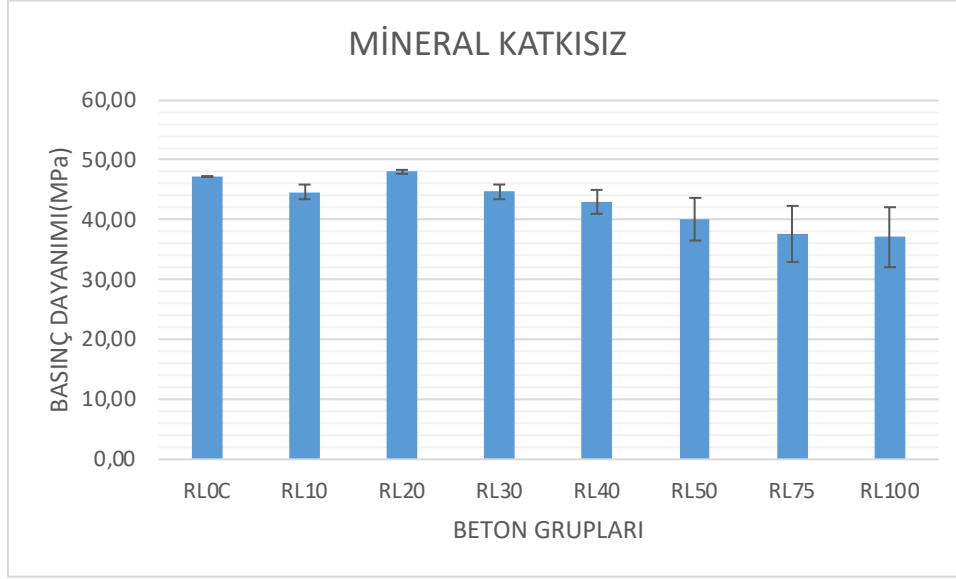
Şekil 5.8 GKA oranı %100 olan serilerde basınç dayanımı

%100 GKA'lı beton serilerinin basınç dayanımları incelendiğinde;

- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek basınç dayanımı 37,10MPa olarak kontrol serilerinde (RL100C) gözlemlenmiştir ve bu değer şahit numune ile kıyaslandığında yaklaşık %27 azalma olarak görülmüştür. En düşük basınç dayanımı %10 UK katkılı (RL100UK10) seride 31,57MPa olarak belirlenmiştir.
- %5 mineral katkılı seriler (RL100SD5-RL100UK5), kontrol serileri ile kıyaslandığında yaklaşık olarak aynı dayanım sonucunu verdiği gözlemlenmiştir.
- SD katkılı seriler incelendiğinde (RL100SD5-RL100SD10), kontrol serileri ile gözle görülür farklılıklar gözlemlenmemiştir.
- UK katkılı seriler incelendiğinde, UK'ün artışı ile dayanım açısından düşüş gözlemlenmiştir. RL100UK5 serisinde %4,8, RL100UK10 serisinde yaklaşık %17,5 azalma gözlemlenmiştir.
- Hibrit serilerin (RL100SD5UK5) basınç dayanımları dikkate alındığında RL100C serisine kıyasla %9,5 dayanım kaybı gözlemlenmiştir.

Tüm gruplarda geri kazanılmış agrega oranı ve mineral katkı oranı dikkate alınıp basınç dayanımı açısından değerlendirildiğinde;

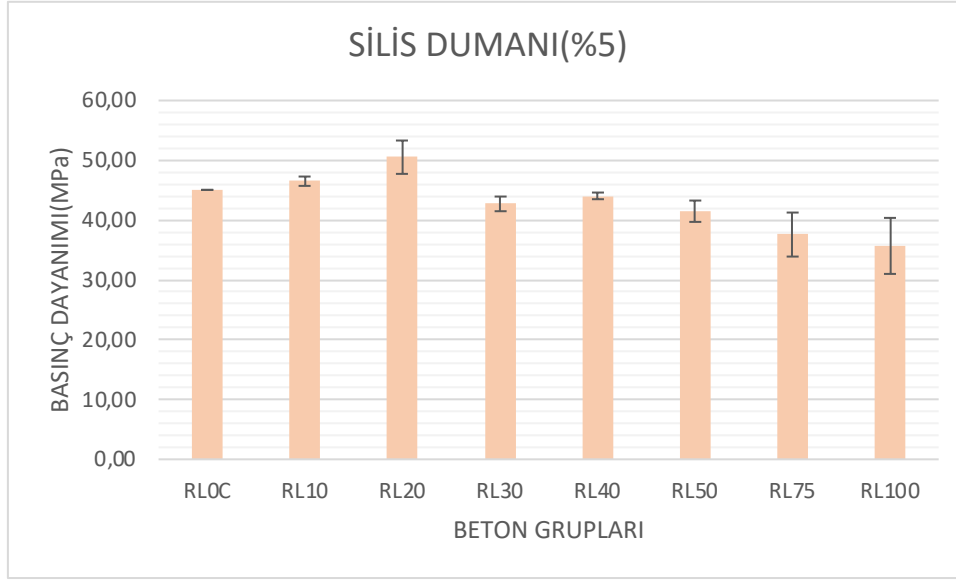
- Seriler dikkate alındığında GKA oranı artması ile; %10 ve %20 GKA oranına sahip gruplar kontrol grubu ile kıyaslandığında benzer basınç dayanım sonuçları verdiği görülmektedir. GKA oranı %30 ve üzerindeki takımlarda beton basınç dayanım sonuçlarının olumsuz etkilendiği saptanmıştır.
- Tüm seriler içerisinde en yüksek basınç dayanımı RL20S5 serisinde gözlemlenmiştir. %20 oranında GKA içeren diğer serilerde benzer dayanım sonucuyla diğer tüm gruplar içerisinde basınç dayanımına etkisinin arttığı görülmektedir. Yine bu grupta bulunan SD oranı %10 olan serinin kontrol serisine kıyasla yüksek olduğu gözlemlenmiştir. %20 GKA oranına sahip UK'lü serilerin performans açısında SD'na kıyasla daha düşük dayanım sonuçları verdiği görülmektedir.
- %20 geri kazanılmış oranına sahip numunelerin ortalaması diğer tüm grupların üzerinde sonuçlar vermiştir. GKA oranı %20 olan grubun tüm mineral katkılı ve mineral katkısız serileri dikkate alındığında grubun basınç dayanımı ortalamasının 47,38MPa olduğu görülmektedir; bu dayanım GKA oranı %0 olan serilere kıyasla %2 daha yüksek dayanım sonuçları aldığı görülmektedir.
- Tüm seriler içerisinde en düşük basınç dayanımı GKA oranı %100 olan grupta görülmektedir. %100 GKA'lı grupta; mineral katkılı seriler ve mineral katkısız serilerin genel ortalaması 34,5MPa'dır. Bu değer kontrol grubu olan %0 GKA kullanılan seriye göre %32 dayanım kaybını yarattığı gözlemlenmiştir. Tüm seriler değerlendirildiğinde ise en düşük basınç dayanımına sahip seri UK oranı %10, GKA oranı %100 olan RL100U10 serisinde görülmüştür. Bu değer şahit seri RLOC ile kıyaslandığında %49,2 oranında dayanım kaybı yarattığı; en yüksek dayanımlı seri olan RL20S5 serisi ile kıyaslandığında ise %60 oranında basınç kaybı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.9 Mineral katkısız serilerde basınç dayanımı

Mineral Katkısız Geri Kazanılmış Agregalı beton gruplarının basınç dayanımları incelendiğinde;

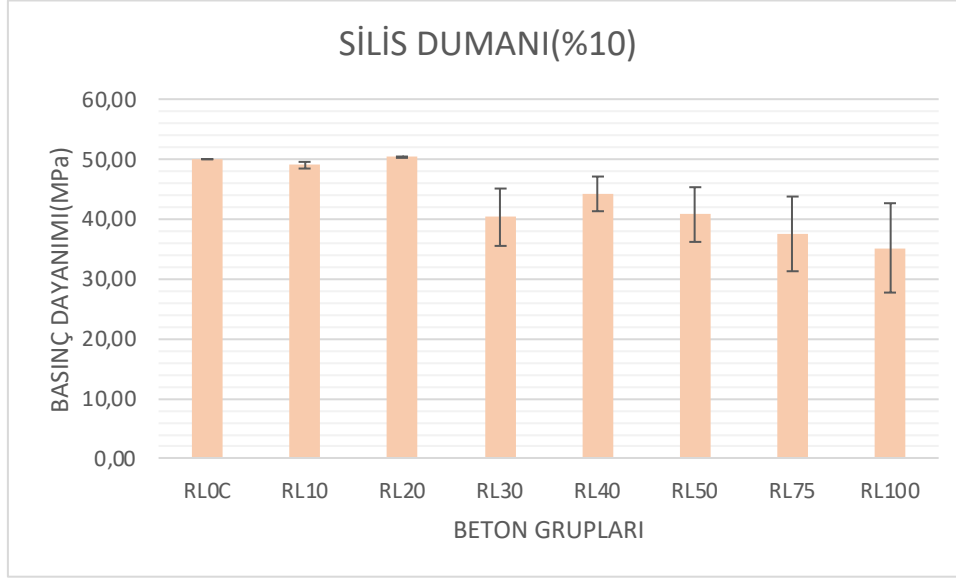
- Tüm seriler incelendiğinde GKA oranı %20 olan RL20 serilerinde ortalama 50,4MPa dayanım ile en yüksek dayanımı sağlamıştır. En düşük dayanım ortalama 38,9MPa dayanım ile RL100 serilerinde gözlemlenmiştir. Bu beton grubunda en yüksek dayanım ile en düşük dayanım arasında %22’lik fark bulunmaktadır.
- Sonuçlar incelendiğinde RL20 serisi dışında görülen değerlerde düzenli bir düşüşün olduğu görülmektedir.
- RLOC serisi dikkate alındığında RL10 serisinde %5’lik azalma görülürken RL20 serisi bu seri ile kıyaslandığında %1,8 iyileşme gözlenmiştir. RLOC seri ile en düşük dayanıma sahip RL100 serisi arasında ise %21’lik fark olduğu görülmektedir.
- Bu grupta RLOC serisi ile RL20C serisi benzer sonuçlar verirken son üç seride de yakın dayanımlar elde edildiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.10 %5 SD katkılı serilerde basınç dayanımı

%5 SD Katkılı GKA'lı beton gruplarının basınç dayanımları incelendiğinde;

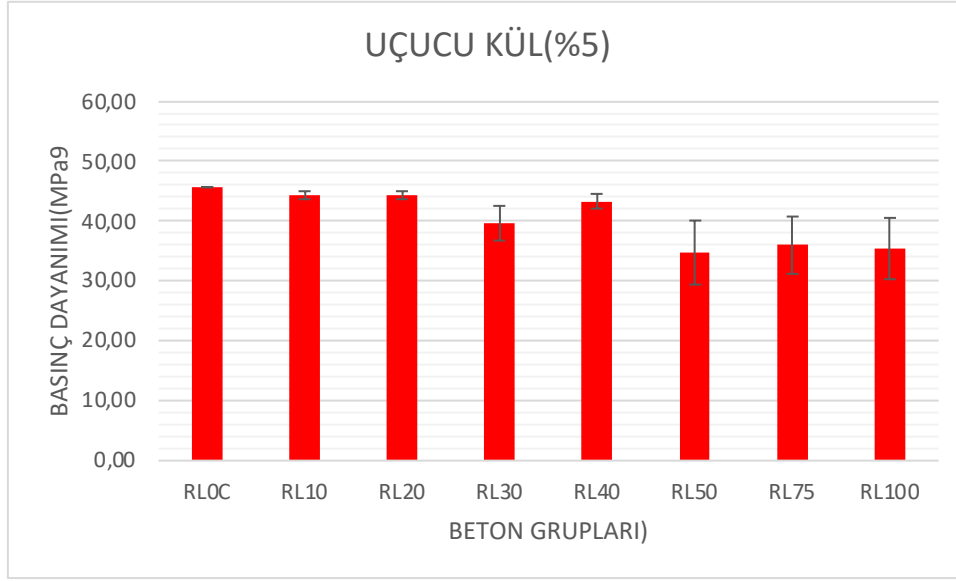
- GKA oranı %20 olan RL20S5 serilerinde ortalama 53,1MPa dayanım ile en yüksek dayanımı sağlamıştır. En düşük dayanım ortalama 37,5MPa dayanım ile RL100S5 serilerinde gözlemlenmiştir. Bu beton grubunda en yüksek dayanım ile en düşük dayanım arasında %29,3'lük fark bulunmaktadır.
- Sonuçlar RL0S5 serisi ile kıyaslandığında RL10S5 ve RL20S5 serilerinde iyileşme görülürken bunun dışında kalan serilerde dayanım açısından kayıp görülmektedir. Son beş seri kendi içinde değerlendirildiğinde RL40S5 serisi RL30S5 serisine göre %3'lük iyileşme görülürken bu dışında kalan serilerde düzenli bir azalmanın olduğu göze çarpmaktadır.
- Kontrol serisi olan RL0C serisi dikkate alındığında bu grupta sadece RL20S5 serisi 53,05MPa dayanım ile kontrol serisinde %6 daha yüksek dayanım sonucu vermiştir.



Şekil 5.11 %10 SD katkılı serilerde basınç dayanımı

%10 SD Katkılı GKA'lı beton gruplarının basınç dayanımları incelendiğinde;

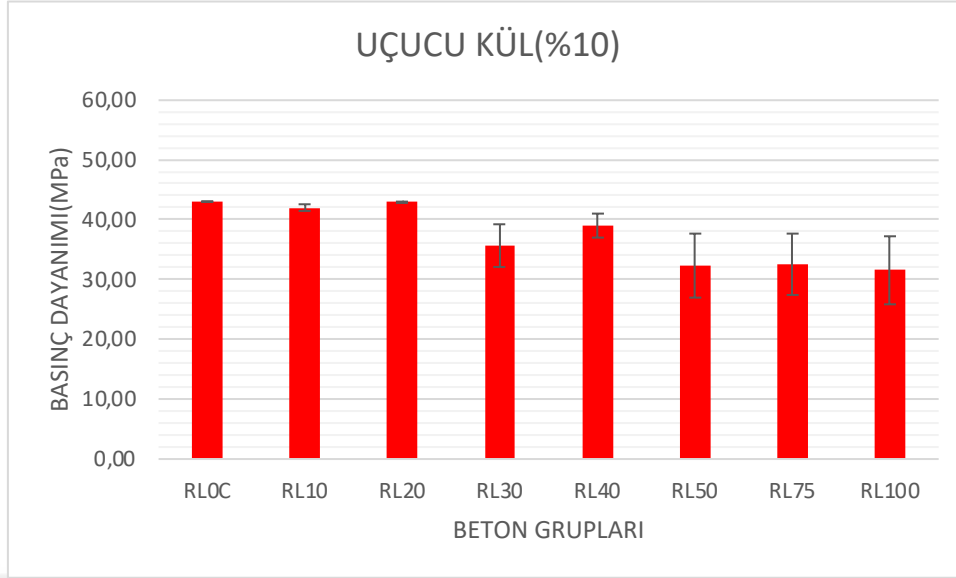
- GKA oranı %20 olan RL20S10 serisi bir önceki kontrol grubu ve %5 SD katkılı serilerde olduğu gibi en yüksek dayanıma sahiptir. RL20S10 seri 52,9MPa dayanıma sahip iken bu gruptaki kontrol serisi olan RL0C serisi ile benzer sonuçlar vermiştir.
- Bu grupta en dikkat çeken seri ise RL30S10 seridir. Bu RL75S10 ve RL100S10 serisi dışındaki tüm serilerden daha düşük dayanım sonucu vermiştir.
- Bu grupta en yüksek dayanıma sahip RL20S10 serisi ve en düşük dayanıma sahip RL100S10 serisi arasında %30 oranında fark bulunmaktadır.
- Kontrol serisi olan RL0C serisi ile kıyaslandığında; bu grupta sırasıyla RL0S10, RL10S10 ve RL20S10 serileri daha yüksek dayanım elde edilmiştir. RL0C serisi göz önüne alındığında RL20S10 serisi %6 daha iyi sonuç vermiştir.
- RL20 serilerinde RL20S5 ve RL20S10 seriler arasındaki sonuçların benzer olması dikkat çekicidir.
- Bu grupta ilk üç seri benzer sonuçlar verirken RL30S10 ile RL50S10 benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5.12 %5 UK katkılı serilerde basınç dayanımı

%5 UK Katkılı GKA'lı beton gruplarının basınç dayanımları incelendiğinde;

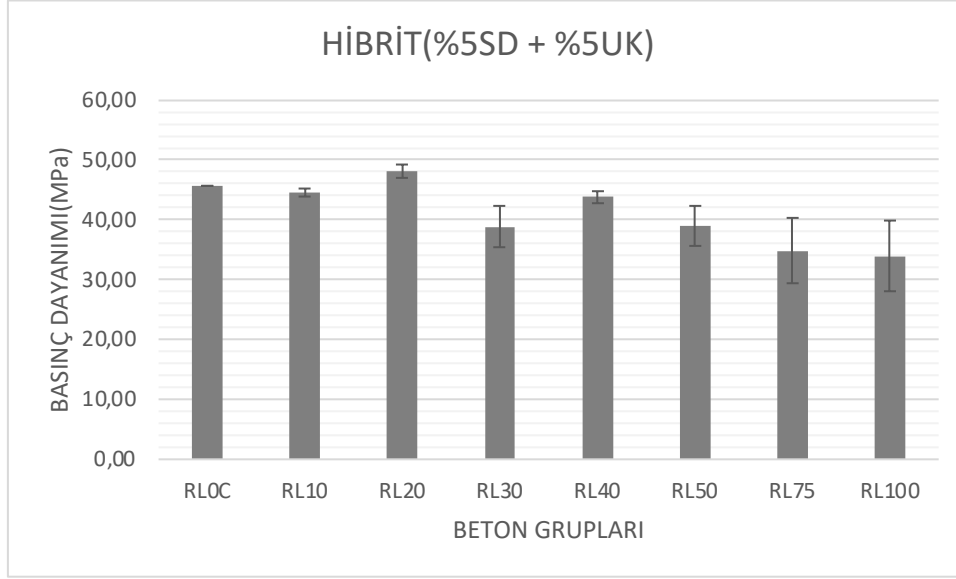
- GKA oranı %0 olan RL0C serisi bu grupta 50,06MPa dayanım ile en yüksek sonucu vermiştir. İkinci en yüksek dayanımı RL10U5 serisinde gözlemlenmiştir. RL0C serisi ile RL10U5 serisi arasında %7'lik fark bulunmaktadır.
- Bu grupta en düşük dayanım RL50U5 serisinde gözlemlenmiştir. En yüksek dayanıma sahip RL0C serisi ile kıyaslandığında %25'lik fark gözlemlenmiştir.
- Grup içerisinde GKA oranının artmasıyla doğrudan bir azalmanın olmadığı aksine RL20U5, RL40U5 ve RL50U5 serileri GKA miktarında bir sonraki ve bir önceki serilerden ayrılmıştır.
- Tamamı GKA kullanılan seri RL50U5 kullanılan seri ile benzer sonuçlar verse de yaklaşık 0,5MPa dayanım açısında iyileşme görülmektedir.
- Bu grubu diğer gruplarda ayıran en önemli veri RL20 serisinde gözlemlenmiştir. Diğer tüm gruplarda RL20 serileri en yüksek dayanım göstermesine rağmen bu grupta en yüksek dayanım kontrol serisinde görülmektedir.
- Bu grupta ilk üç seri benzer sonuçlar verirken son üç seride de benzer dayanımlara sahip olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.13 %10 UK katkılı serilerde basınç dayanımı

%10 UK Katkılı GKA'lı beton gruplarının basınç dayanımları incelendiğinde;

- GKA oranı %20 olan RL20U10 serisi ile kontrol serisi benzer sonuçlar verse de en yüksek dayanım 45,2MPa dayanım ile RL20U10 serisinde gözlemlenmektedir.
- En düşük dayanım GKA oranı %100 olan RL100U10 serisinde görülmektedir. Bu değer ile en yüksek dayanıma sahip RL20U10 serisi arasında %26'lık fark görülmektedir.
- Sondaki beş seri incelendiğinde RL40U10 serisi dışındaki serilerde düzenli bir azalışın olduğu görülmektedir.
- RL0C serisi ile RL20U10 serisi kıyaslandığında %8 daha düşük dayanım görülürken en düşük dayanıma sahip RL100U10 serisine göre ise %32 daha yüksek dayanım elde edilmiştir.
- Bu grupta ilk üç seri benzer sonuçlar verirken son üç grupta kendi içerisinde yakın dayanımlara sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 5.14 %5 SD %5 UK katkılı serilerde basınç dayanımı

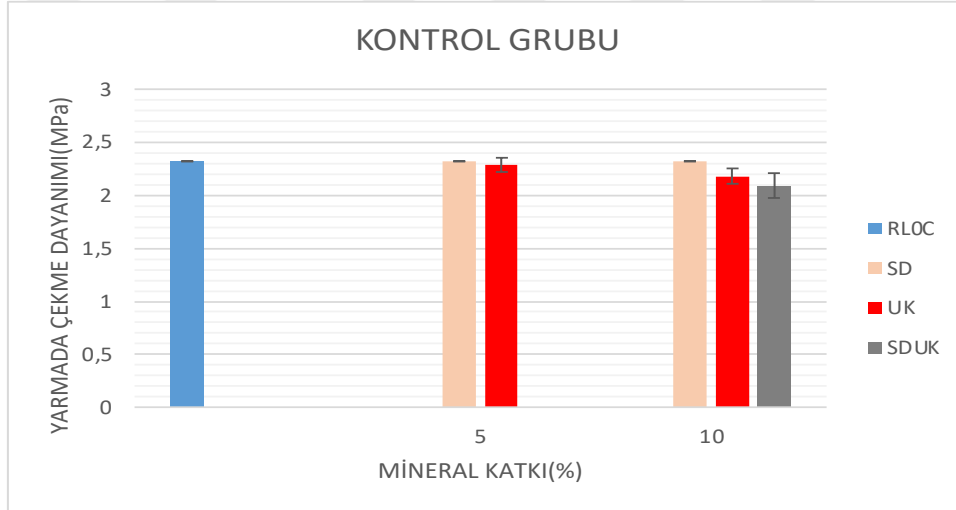
%5 SD ve %5 UK Katkılı (Hibrit Seriler) Geri Kazanılmış Agregalı beton gruplarının basınç dayanımları incelendiğinde;

- GKA oranı %20 olan RL20S5U5 serisi 50,49MPa dayanım ile en yüksek dayanıma sahip olduğu gözlemlenmiştir. RL100S5U5 serisi grup içerisinde diğer seriler ile kıyaslandığında en düşük dayanıma sahiptir. RL20S5U5 ile RL100S5U5 serisi kıyaslandığında %30'luk fark görülmektedir.
- Kontrol serisi RL20S5U5 Hibrit serisi ile kıyaslandığında benzer sonuçlar versede RL20S5U5 serisi yaklaşık 1MPa daha yüksek dayanım sonucunu vermiştir.
- Kontrol serisi Hibrit grubundan en düşük dayanıma sahip RL100S5U5 serisi ile kıyaslandığında %28 daha iyi sonuç verdiği görülmektedir.
- Hibrit grubunda RL10S5U5 ve RL40S5U5 serileri benzer sonuçlar verirken yine bu grupta RL30S5U5 ve RL50S5U5 serileri yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.
- Son beş seri kendi içerisinde kıyaslandığında diğer gruplarda görüldüğü gibi RL40S5U5 serisi diğer serilere göre daha yüksek dayanım verirken diğer serilerde GKA artarken dayanımın azaldığı görülmektedir.

Tüm gruplar mineral katkı oranı dikkate alınıp basınç dayanımı açısından değerlendirildiğinde;

- Tüm seriler SD katkısı oranı dikkate alınıp değerlendirildiğinde; %10 SD katkılı seriler %5 SD katkılı serilere göre daha yüksek basınç dayanımı verdiği görülmektedir. RL10S5 serisi 48,9MPa basınç dayanımı sonucunu verirken RL10S10 serisi 51,5MPa basınç dayanımı sonucu verdiği görülmektedir. Geri kazanım oranı %30 olan serilerde SD katkısı %5 olan serilerde 44,9MPa basınç dayanımı sağlarken %10 SD serilerin 52,9MPa basınç dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir.
- Tüm seriler UK katkı oranı dikkate alınıp değerlendirildiğinde; SD katkı miktarının artmasıyla oluşan dayanım artışları UK'lü serilerde ters etki yaratmıştır. %5 UK katkılı serilerin %10 UK katkılı serilere göre daha yüksek basınç dayanımı sonucu verdiği görülmüştür. %10 GKA'lı betonlar dikkate alındığında UK miktarı %5 olan serilerde 46,5MPa basınç dayanımı sonucu elde edilirken %10 UK katkılı serilerde 44,1MPa basınç dayanımı elde edilmiştir. %20 GKA'lı seriler dikkate alındığında %5 UK katkılı seriler 46,45MPa dayanım sonucunu verirken %10 UK katkılı serilerde bu değer 45,18MPa'dır.
- Mineral katkı oranı %10 olan UK katkılı seriler mineral katkı oranı %10 SD ve %10 mineral katkılı (%5 SD ve %5 UK) Hibrit seriler ile kıyaslandığında daha düşük dayanım sonuçları görülmüştür. GKA oranı aynı olan tüm serilerde UK'lü seriler daha düşük basınç dayanımları kazanmıştır. GKA oranı %10 olan seriler dikkate alındığında %5 SD %5 UK katkılı Hibrit seri 46,8MPa basınç dayanımı sonucunu verirken %10 SD katkılı seri 51,5MPa dayanım sonucu ve %10 UK katkılı seride ise 44,07MPa basınç dayanımı sonucunu vermiştir. GKA oranı %20 olan seriler dikkate alındığında ise; %10 SD katkılı seriler 52,93MPa dayanım sonuçları, %10 mineral katkılı Hibrit seriler 50,5MPa dayanım sonucu görülürken; UK katkılı serilerde bu değer 45,2MPa'dır.

- %10 mineral katkılı tüm seriler dikkate alındığında en yüksek dayanım sonuçları %10 SD katkılı serilerde görülmektedir. GKA oranı %30 olan seriler bu açıdan değerlendirildiğinde; %10 SD katkılı seriler 42,4MPa dayanım kazanırken, %10 mineral katkılı hibrit seri 40,7MPa ve %10 UK'lü seride 37,4MPa dayanım sonucu görülmüştür. %40 GKA'lı seriler incelendiğinde ise %10 SD katkılı seriler 46,5MPa, %10 mineral katkılı Hibrit seriler 46MPa ve %10 UK katkılı serilerde ise 40,9MPa'dır.
- Mineral katkı oranı fark etmeksizin tüm seriler değerlendirildiğinde; SD %5 ve %10 olan seriler UK katkılı seriler, Hibrit seriler ve mineral katkısız serilere kıyasla GKA oranı aynı olan serilerde en yüksek basınç dayanımı sonucunu verdiği görülmüştür.

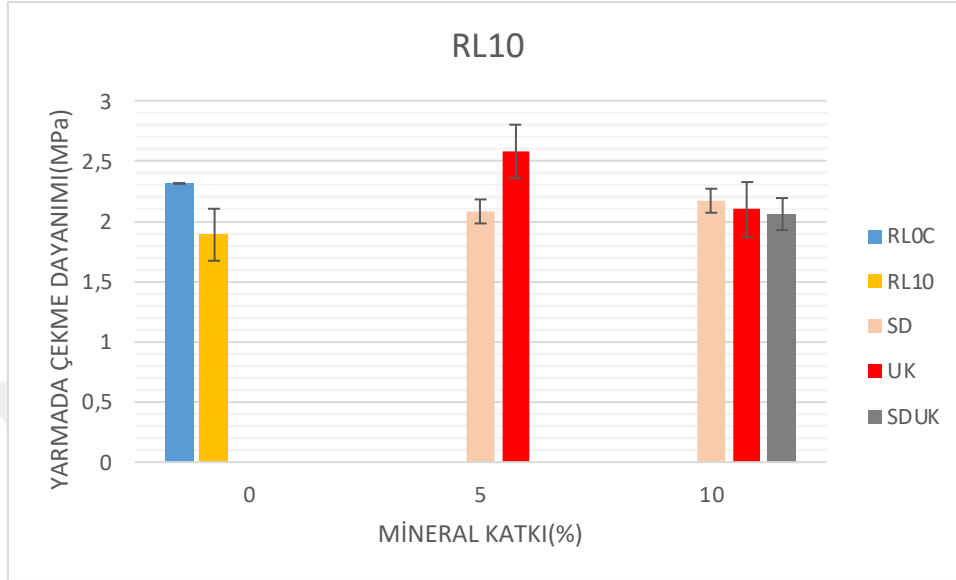


Şekil5.15 GKA oranı %0 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

Sahit beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

- Bu grupta kontrol serisi diğer tüm seriler ile kıyaslandığında Hibrit serisi ile benzer çekme dayanımı verirken diğer tüm serilerden daha düşük çekme dayanımı vermiştir.
- SD yüzdesi 5 olan RL0S5 serisi ile mineral katkı yüzdesi 10 olan SD serisi RL0S10 serisi ile aynı sonucu vermiştir.
- Mineral katkı yüzdeleri kendi içlerinde değerlendirildiğinde; %5 katkılı seriler benzer sonuçlar vermesine karşılık; mineral katkı oranı %10 olan serilerde sırasıyla SD, UK ve Hibrit serisine doğru azalan çekme dayanımları elde edilmiştir.

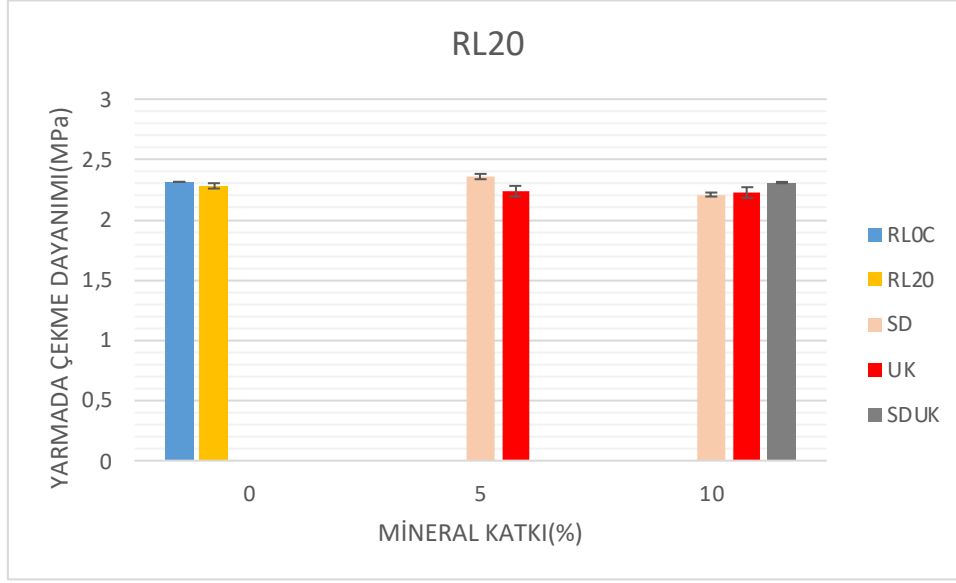
- En yüksek çekme dayanımı 2,32MPa dayanım ile SD %5 ve SD oranı %10 olan RL0S5, RL0S10 serilerinde gözlemlenirken en düşük dayanım kontrol serisi olan RL0C ile Hibrit seri olan RL0S5U5 serislerinde görülmektedir. Aradaki çekme dayanımı farklı %10,5 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 5.16 GKA oranı %10 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%10 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

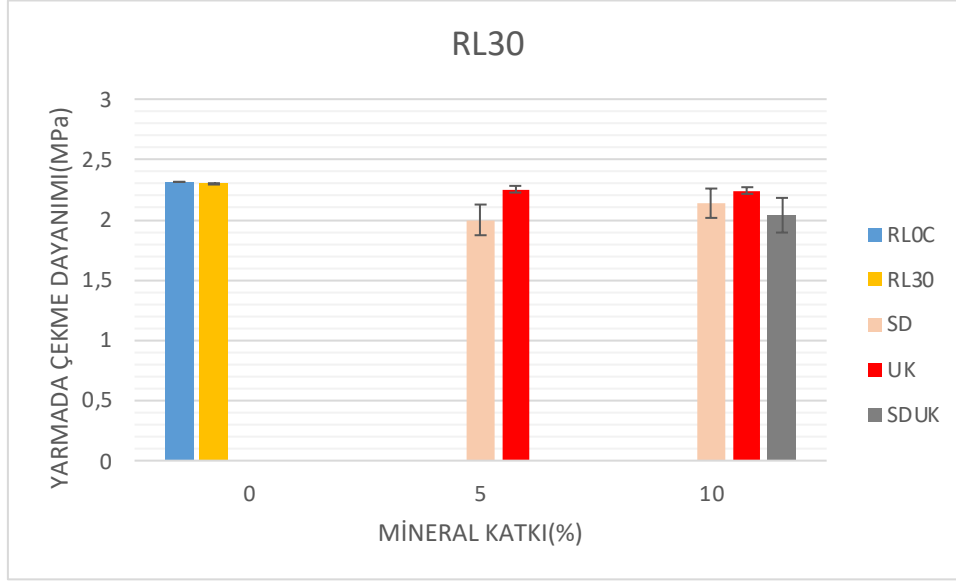
- En yüksek çekme dayanımı UK oranı %5 olan RL10U5 serisinde gözlemlenmiştir. En düşük basıç dayanımı kontrol serisi olan RL10C serisinde gözlemlenmiştir. RL10U5 serisi 2,6MPa çekme dayanımı sonucunu verirken RL10C serisi 1,9MPa çekme dayanımı sonucu görülmektedir. En yüksek çekme dayanımı ile en düşük çekme dayanımı arasındaki oransal fark ise; %26,7'dir.
- Mineral katkı yüzdesi aynı olan seriler incelendiğinde; katkı yüzdesi 5 olan serilerde uçucucu küllü seri, SD katkılı seriye göre daha yüksek çekme dayanımı verdiği görülmektedir; bu oran %24'tür. Katkı yüzdesi 10 olan seriler kıyaslandığında benzer sonuçlar gözlemlenmektedir. Bu grupta en yüksek çekme dayanımı RL10S10 serisinde 2,2MPa görülürken ardından RL10U10 serisi 2,1MPa ve son olarak RL10S5U5 serisinde 2,1MPa çekme dayanımı sonucu elde edilmiştir.
- Bu grup şahit numune olan RL0C serisi ile kıyaslandığında RL10C seri dışında daha yüksek dayanım sonuçları görülmektedir.



Şekil5.17 GKA oranı %20 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%20 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

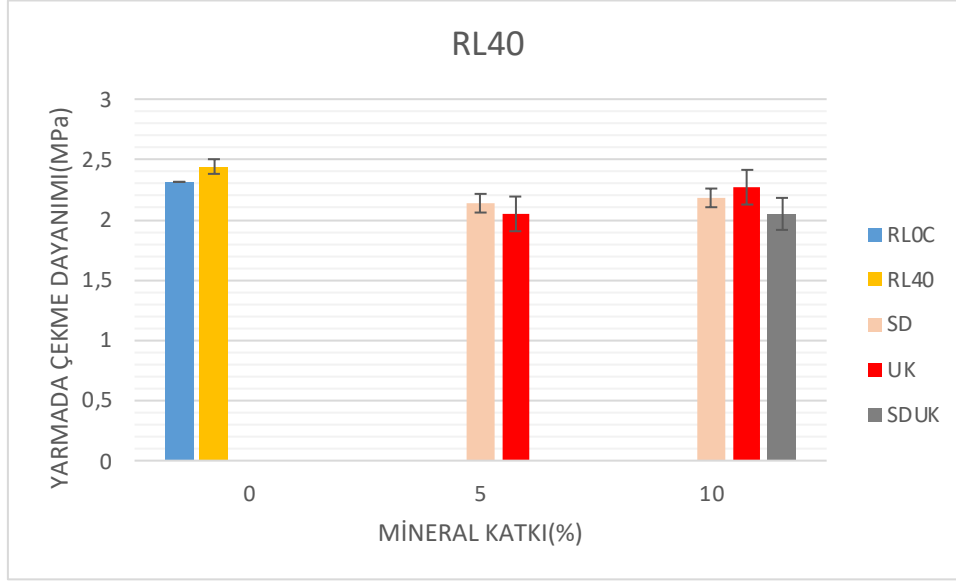
- Tüm serilerde benzer çekme dayanımları gözlemlenmektedir.
- En yüksek yarmada çekme dayanımı 2,4MPa dayanım ile RL20S5 serisinde görülürken en düşük basınç dayanımı 2,2MPa dayanım ile RL20U5 serisinde görülmektedir; bu değerler şahit numune olan RL0C serisi ile kıyaslandığında daha yüksek dayanımlar elde edildiği görülmektedir.
- Katkılı seriler kendi içlerinde kıyaslandığında %5 katkılı serilerin benzer dayanımlar verdiği yarma çekme dayanım sonuçları arasında %5 fark olduğu gözlemlenmiştir. %10 katkılı seriler incelendiğinde; GKA
- %0 ve %10 gruplarının aksine bu grupta Hibrit seriler en yüksek çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir. Bu grupta RL20S5U5 Hibrit serisi 2,3MPa çekme dayanım sonucunu verirken RL20U10 serisi 2,2MPa ve RL20S10 serisi 2,2MPa dayanım sonucunu verdiği görülmektedir.
- Bu gruptaki tüm seriler şahit numune RL0C serisi ile kıyaslandığında daha yüksek dayanım sonucunu verdiği görülmektedir.



Şekil 5.18 GKA oranı %30 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%30 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

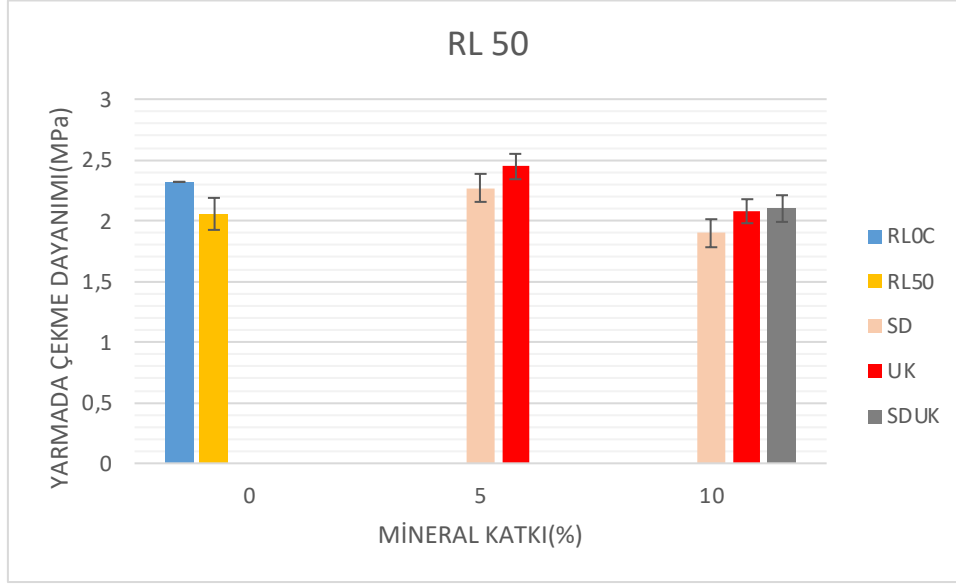
- En yüksek yarmada çekme dayanımı kontrol serisi olan RL30C serisinde 2,3MPa dayanım ile gözlemlenmiştir. Bu değer şahit numune ile kıyaslandığında 0,2MPa daha yüksek çekme dayanımı farkı olduğu görülmektedir.
- Mineral katkı yüzdesi 5 olan seriler kıyaslandığında benzer sonuçlar görülmüştür. %5 SD katkılı seri 2,0MPa çekme dayanımı sonucunu verirken %5 UK'lü seriler 2,3MPa dayanım sonucunu görülmektedir; bu fark oransal olarak %12,5'tir.
- Mineral katkı yüzdesi 10 olan seriler kendi içlerinde kıyaslandığında benzer dayanım sonuçları verdiği görülmektedir. RL30U10 serisi 2,2MPa çekme dayanımı verirken, RL30S10 serisi 2,24MPa ve RL30U5S5 serisi 2,04Mpa çekme dayanımı görülmektedir. Bu grupta en yüksek dayanım sonucunu %10 UK'lü seride görülmektedir.
- Tüm grup RL0C serisi ile kıyaslandığında daha yüksek çekme dayanımı sonucu verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.19 GKA oranı %40 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%40 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

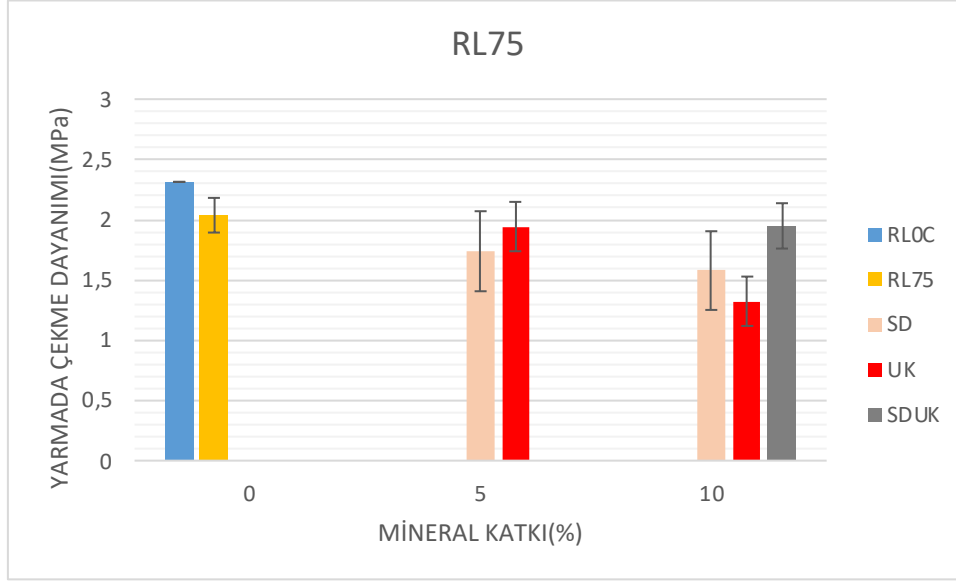
- En yüksek çekme dayanımı kontrol serisi olan RL40C serisinde 2,4MPa'dır. En düşük çekme dayanımı ise aynı sonuçlar veren; %5 UK'lü seri ile hibrit serilerde görülmektedir. Bu değerler kıyaslandığında en yüksek çekme dayanımı ile en düşük çekme dayanımı arasında %19 fark olduğu görülmektedir.
- Mineral katkı oranı %5 olan seriler incelendiğinde; benzer sonuçlar görülmektedir. RL40S5 serisi 2,1MPa çekme dayanımı verirken; RL40U5 serisi 2,1MPa çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir. Bu değerler arasındaki fark oransal olarak incelendiğinde %4,2'dir
- Mineral katkı oranı %10 olan seriler incelendiğinde; UK'lü seriler bu gruptaki diğer serilere göre daha yüksek çekme dayanımı sonucunu verdiği gözlemlenmektedir.
- RL40U5 serisi ile RL40S5U5 serisi aynı çekme dayanımı verdiği görülmektedir.
- Şahit seriler olan RL0C ile kıyaslandığında tüm grup benzer ya da daha yüksek dayanım sonucu verdiği gözlemlenmiştir.



Şekil 5.20 GKA oranı %50 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%50 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

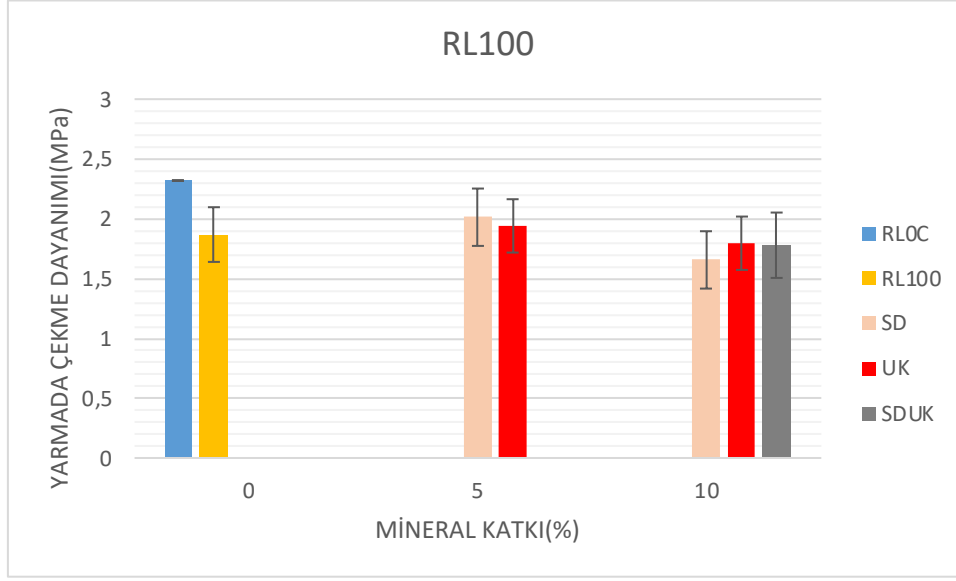
- GKA oranı daha düşük olan önceki seriler ile kıyaslandığında ilk defa çekme dayanımı sonucu açısından 2,0MPa dayanım sonucunun altında değer bu grupta; RL50S5 serisinde 1,9MPa çekme dayanımı ile gözlemlenmiştir.
- En yüksek çekme dayanımı sonucu RL50U5 serisi olan uçucuc kül oranı %5 serisinde görülmektedir. En düşük yarmada çekme dayanımı sonucu RL50S10 serisinde görülmektedir.
- Mineral katkı oranı yüzde 5 olan seriler incelendiğinde benzer çekme dayanım sonuçları gözlemlenmiştir; RL50S5 serisi 2,3MPa dayanım sonucunu verirken RL50U5 serisi 2,5MPa dayanım sonucunu verdiği görülmektedir. Bu iki seri arasındaki fark oransal olarak %7,9'dur.
- Mineral katkı oranı yüzde 10 olan seriler kendi içlerinde değerlendirildiğinde; SD kullanılan seri dışındaki UK'lü seri ile hibrit seri benzer sonuçları verdiği gözlemlenmiştir.
- Tüm grup şahit seri olan RL0C serisi ile kıyaslandığında RL50S10 serisi dışında diğer seriler ya benzer sonuçları ya da daha yüksek çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir.



Şekil 5.21 GKA oranı %75 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%75 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

- En yüksek çekme dayanımı RL75C serisinde 2,04MPa dayanım gözlemlenmiştir. Bu değer şahit numune olan RL0C serisinden daha düşük dayanım sonucu olduğu görülmektedir. En düşük çekme dayanımı sonucu 1,32MPa dayanım sonucu ile RL75U10 serisinde görülmektedir. En yüksek çekme dayanımı sonucu ile en düşük basınç dayanım arasında oransal olarak %54,5'tir.
- Mineral katkı oranı %5 olan seriler incelendiğinde; UK'lü seri silis dumanı katkılı seriye göre %11,5 oranında daha yüksek çekme dayanımı sonucu verdiği gözlemlenmektedir.
- Mineral katkı oranı %10 olan seriler incelendiğinde; Hibrit serisi olan RL75S5U5 serisi daha yüksek çekme dayanımı sonucunu verirken bu grupta en düşük çekme dayanımı RL75U10 serisinde görülmektedir.
- UK oranı %5 olan seri ile Hibrit seri benzer çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir.
- Şahit numune grubu ile kıyaslandığında en yüksek basınç düşüşlerinin GKA oranı %75 olan serilerden sonra başladığı gözlemlenmektedir.



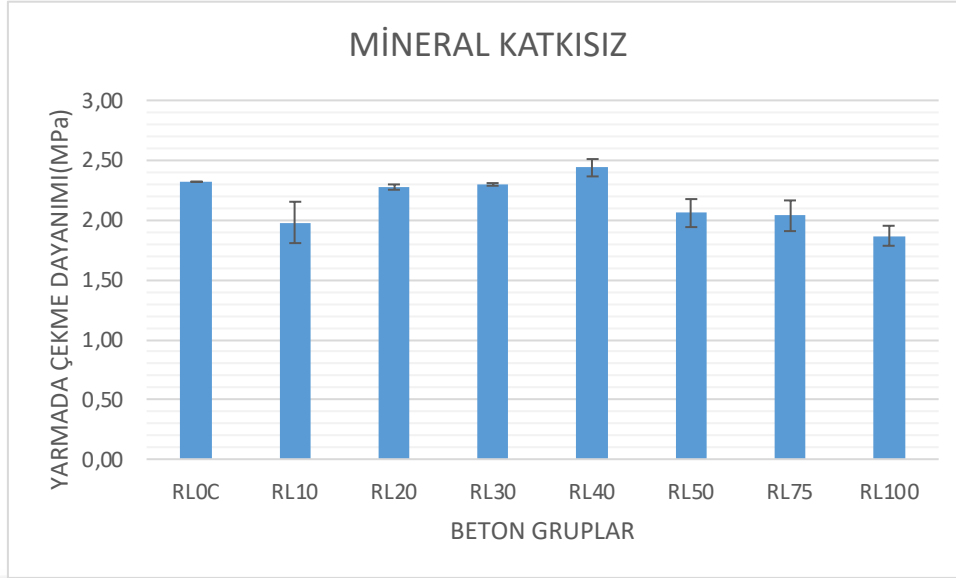
Şekil 5.22 GKA oranı %100 olan serilerde yarmada çekme dayanımı

%100 GKA'lı beton serilerinin yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

- En yüksek yarmada çekme dayanımı RL100S5 serisinde 2,02MPa dayanım sonucuyla gözlemlenmiştir. Bu değer RL0C şahit seriler ile kıyaslandığında %3 oranında daha düşük dayanım elde edildiği sonucunu verdiği görülmektedir. En düşük yarmada çekme dayanımı RL100S10 serilerinde görülmektedir.
- Mineral katkı oranı % 5 olan seriler incelendiğinde benzer dayanımı sonuçların çıktığı görülmektedir.
- Mineral katkı oranı %10 olan seriler incelendiğinde; en yüksek dayanım Hibrit serilerde görülmektedir. Bu grupta SD katkılı serilerin (RL100S10) dayanıma; UK (RL100U10) ve Hibrit serilere (RL100S5U5) göre daha düşük dayanım gösterdiği görülmektedir.
- Bu gruptaki tüm serilerin şahit numuneden (RL0C) daha düşük dayanım sonucunu verdiği görülürken; kontrol serisinde (RL100C) grubun ortalama çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir.

Tüm gruplarda GKA oranı ve mineral katkı oranı dikkate alınıp yarmada çekme dayanımı değerlendirildiğinde;

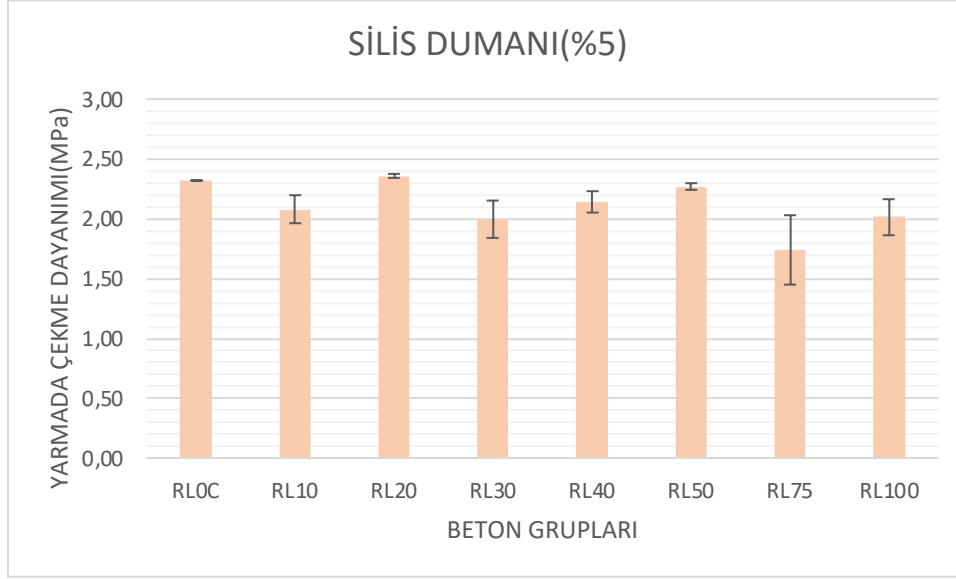
- Tüm seriler göz önüne alındığında GKA oranı artışıyla veya azalışıyla yarmada çekme dayanımı ilişkisi kuracak bir sonuç görülememiştir. GKA oranı %0, %10, %20, %30, %40 ve %50 olan gruplarda elde edilen çekme dayanımı sonuçları benzerdir. GKA oranı %75 ve %100 olan gruplar diğer gruplara kıyasla daha düşük çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir.
- Tüm seriler dikkate alındığında en yüksek yarmada çekme dayanımı sonucu GKA %40, mineral katkısız seri olan RL40C serisinde 2,4MPa dayanım görülmüştür. Bu değer şahit numune olan RL0C serisi ile kıyaslandığında %5 daha yüksek çekme dayanımı oluştuğunu göstermektedir.
- GKA oranı %30 olan serilerde UK ile SD katkısı kıyaslandığında benzer çekme dayanımları gözlemlenirken; %30 ve üzerinden GKA oranına sahip gruplarda UK'ün SD'na kıyasla daha yüksek performans sağlaması dikkat çekmektedir.
- Tüm gruplar dikkate alındığında en düşük yarmada çekme dayanımı ortalaması %75 GKA'lı gruplarda görülmüştür. Bu grupta bulunan mineral katkılı ve mineral katkısız tüm serilerin ortalaması 1,78MPa dayanımdır. Bu grup %0 olan kontrol grubu ortalaması ile kıyaslandığında %26 oranında daha düşük performans gösterdiği gözlemlenmiştir. Tüm seriler içerisinde en düşük yarmada çekme dayanımı %75 GKA'lı, UK oranı %10 olan RL75U10 serinde görülmüştür. Bu değer şahit numune olan RL0C serisi ile kıyaslandığında %75 çekme dayanımı kaybı yarattığı yine en yüksek çekme dayanımına sahip RL40C serisi ile kıyaslandığında ise %84 çekme dayanımı kaybı yarattığı görülmüştür.



Şekil 5.23 Mineral katkısız serilerde yarmada çekme dayanımı

Mineral Katkısız GKA'lı beton gruplarının yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

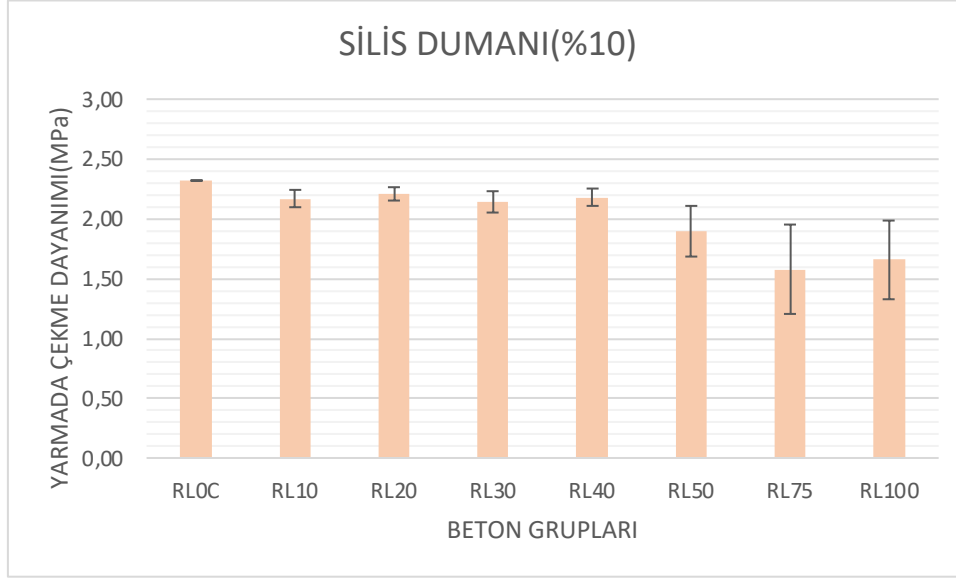
- Bu grubun yarmada çekme dayanımı ortalaması 2,2MPa'dır. Bu durum dikkate alındığında RL50C, RL75C ve RL100C serilerinin ortalamasının altında kaldığı bu duruma ek olarak RL10C serisi grup ortalamasını altında kaldığı görülmektedir.
- Mineral katkısız bu grupta; en yüksek çekme dayanımı sonucu RL40C serisinde olduğu görülmektedir. RL0C serisi ile kıyaslandığında oransal olarak %5 daha yüksek dayanım sonucu gözlemlenmiştir. En düşük yarmada çekme dayanımı sonucu RL100C serisinde 1,9MPa'dır. Bu değer RL0C serisi ile kıyaslandığında %20 oranında daha düşük dayanım sonucu verdiği görülmektedir.
- En yüksek çekme dayanımı RL40C serisi ile RL100C serisi kıyaslandığında %23 çekme dayanımı farkı olduğu görülmektedir.
- RL0C serisi dışında grup değerlendirildiğinde; RL40C serisine kadar düzenli bir çekme dayanımı elde edildiği görülürken RL40C serisinde en yüksek dayanım ardından gelen serilerde düzenli bir azalışın olduğu görülmektedir.



Şekil 5.24 %5 SD katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı

%5 SD Katkılı GKA'lı beton gruplarının yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

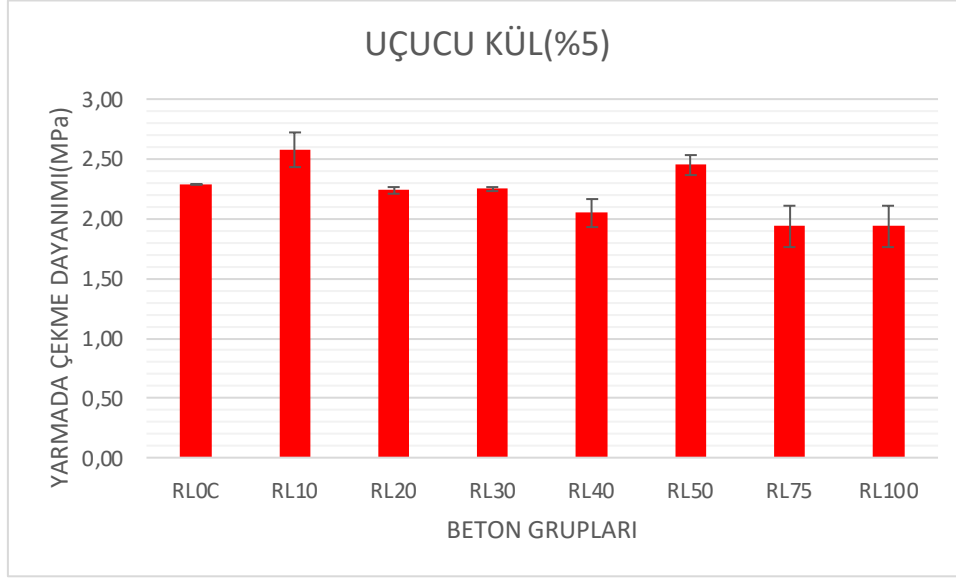
- Grup ortalaması 2,1MPa'dır. Bu değer dikkate alındığında RL10S5, RL30S5, RL75S5 ve RL100S5 serilerinin ortalamasının altında çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir.
- En yüksek basınç dayanımı sonucu RL20S5 serisinde gözlemlenmiştir. En düşük basınç dayanımı sonucu RL75S5 serisinde gözlemlenmiştir. RL20S5 serisi ile RL75S5 serisi kıyaslandığında aradaki farkın %35 olduğu görülmektedir. Tüm seriler dikkate alındığında düzenli bir artış veya düzenli bir azalıştan söz edilememektedir. RL20S5 serisi kontrol serisi ile kıyaslandığında benzer çekme dayanımı sonucu gözlemlenirken aradaki fark sadece %1'dir.
- RL75S5 serisi kontrol serisi ile kıyaslandığında %33 oranında çekme dayanımı farkının olduğu görülmektedir.
- İçeriğindeki GKA oranı artarken çekme dayanımı artış düzeni RL30S5, RL40S5 ve RL50S5 sadece bu serilerde görülmektedir.



Şekil 5.25 %10 SD katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı

%10 SD Katkılı GKA'lı beton gruplarının yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

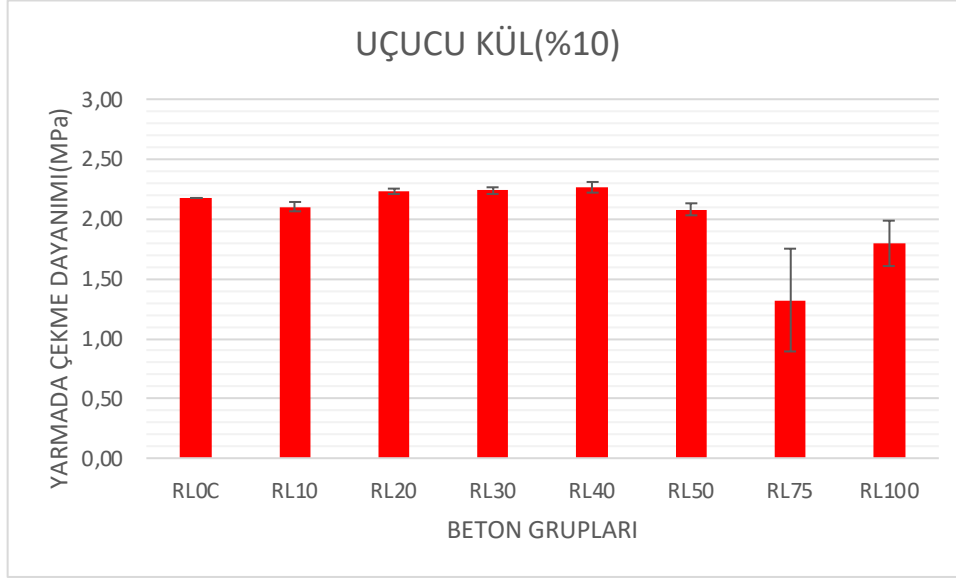
- Grup ortalaması yaklaşık 2MPa'dır. RL50S10, RL75S10 ve RL100S10 serileri ortalama çekme dayanımının altında kaldığı görülmektedir. Son üç seri dışındaki seriler dikkate alındığında çekme dayanım sonuçları benzerdir.
- En yüksek yarmada çekme dayanımı 2,3MPa dayanım ile RL0C serisinde gözlemlenmiştir. Bu değer şahit numune RL0C serisi ile kıyaslandığında aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.
- En düşük çekme dayanımı RL75S10 serisinde görülmektedir. Bu değer kontrol serisi RL0S10 serisi ile kıyaslandığında %46 oranında dayanım kaybı olduğu gözlemlenmiştir. GKA oranı %10 ile %40 arasında olan serilerin çekme dayanımı hayli yakındır. Grafik incelendiğinde SD katkısı ile geri kazanılmış agrega arasında kurulan çekme dayanımı ilişkisi RL50S10 serisinde önceki serilere kıyasla ciddi dayanım kayıplarının olduğunu göstermektedir.
- RL40S5 serisi ile RL50S5 serisi kıyaslandığında %15 oranında çekme dayanımı kaybının olduğu görülmektedir.



Şekil 5.26 %5 UK katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı

%5 UK Katkılı GKA'lı beton gruplarının yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

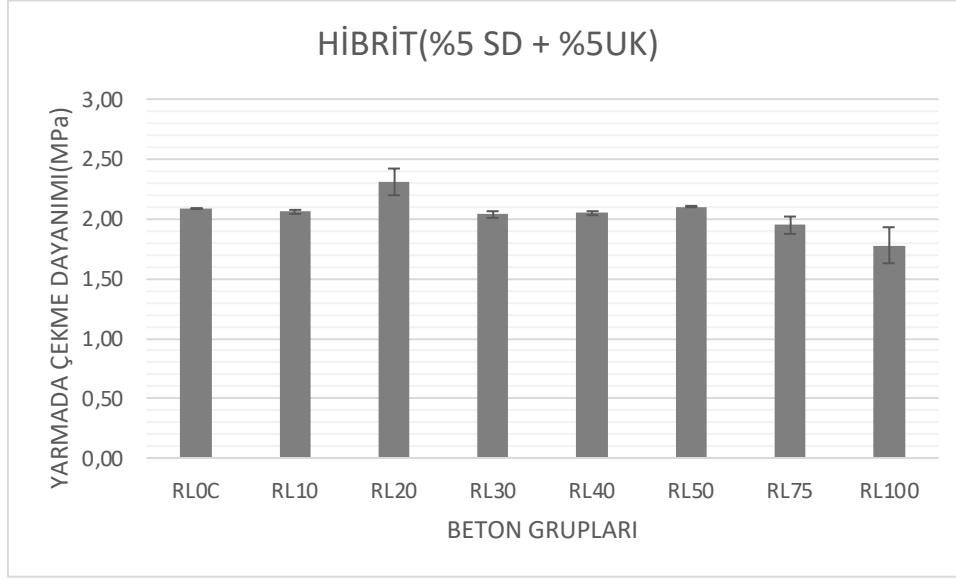
- Grup ortalaması 2,2MPa'dır. RL40U5, RL75U5 ve RL100U5 serileri bu değer altında çekme dayanımı verdiği görülmektedir.
- En yüksek çekme dayanımı 2,6MPa dayanım sonucu ile RL10U5 serilerinde gözlemlenmiştir. Bu değer RL0U5 serisi ile kıyaslandığında %12 daha yüksek dayanım kazanıldığını göstermektedir.
- En düşük çekme dayanımı RL75U5 ve RL100U5 serilerinde 1,9MPa dayanım sonucu ile gözlemlenmiştir. Bu değer RL0U5 serisi ile kıyaslandığında %18 oranında dayanım kaybının olduğu görülmektedir. RL10U5 serisi ile RL100U5 serisi kıyaslandığında %32 oranında dayanım farkının olduğu görülmektedir.
- Grafik incelendiğinde RL50U5 serisinin RL0U5 serisinin üzerinde dayanım sonucu verdiği ve RL10U5 serisi dışında kalan tüm serilerden çekme dayanımı açısından daha yüksek dayanım sonucu verdiği görülmektedir.
- RL20U5 ve RL30U5 serileri çekme dayanımı açısından benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.



Şekil 5.27 %10 UK katkılı serilerde yarmada çekme dayanımı

%10 UK Katkılı GKA'lı beton gruplarının yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

- Grup ortalaması yaklaşık 2MPa'dır. RL75U10 ve RL100U10 serileri ortalama çekme dayanımı açısından grup ortalamasının altında değer verdiği görülmektedir.
- En yüksek çekme dayanımı RL40U10 serisinde görülmektedir. Bu değer kontrol serisi olan RL0C seri ile kıyaslandığında %2,5 oranında daha yüksek dayanım sonucunu kazandığını göstermektedir.
- En düşük çekme dayanımı RL75U10 serisinde görülmektedir. Bu değer kontrol serisi ile kıyaslandığında %65 oranında dayanım kaybının olduğu görülmektedir.
- Bu grupta GKA oranı %40 olan seriler ile %75 olan seriler kıyaslandığında dayanım kaybının %70'lere ulaştığı görülmektedir. RL10U10 ile RL40U10 serileri arasında GKA oranı artışıyla beraber çekme dayanımı artışının olduğu RL40U10 serisinden sonra bu ilişkinin kaybolduğu görülmektedir.



Şekil5.28 %5 SD %5 UK katkıli serilerde yarmada çekme dayanımı
%5 SD ve %5 UK Katkıli (Hibrit Seriler) GKA'lı beton gruplarının yarmada çekme dayanımları incelendiğinde;

- Grup ortalaması yaklaşık 2MPa'dır. RL75S5U5 ve RL100S5U5 serileri grup ortalamasının altında çekme dayanımı sonucu verdiği görülmektedir.
- En yüksek çekme dayanımı RL20S5U5 serisinde olduğu görülmektedir. Bu seri RL0S5U5 serisi ile kıyaslandığında çekme dayanımı açısından %10 daha yüksek çekme dayanımı sonucu verdiği görülmektedir.
- En düşük çekme dayanımı RL100S5U5 serisinde görülmektedir. Bu seri RL0S5U5 serisi ile kıyaslandığında %17 oranında çekme dayanımı kaybının olduğu gözlemlenmiştir.
- RL20S5U5 seri ile RL100S5U5 serisi kıyaslandığında %30 oranında dayanım kaybının olduğu görülmektedir. Grafik incelendiğinde grup içerisinde yüksek sapmaların olmadığı RL20S5U5 serisi dışında kalan hibrit serilerin benzer çekme dayanımı sonucunu verdiği gözlemlenmiştir.

Tüm gruplar mineral katkı oranı dikkate alınıp yarmada çekme dayanımı açısından değerlendirildiğinde;

- Tüm seriler SD katkısı açısından incelendiğinde; SD katkısı %5 ve %10 katkıli seriler arasında daha yüksek dayanım farkı gözlemlendiğinden söz edilememiştir.

GKA oranı %10 olan serilerde %5 SD katkılı seri yarmada çekme dayanımı sonucu 2,1MPa iken %10 SD katkılı seride ise 2,2MPa'dır. %20 GKA oranı sahip %5 SD katkılı seri çekme dayanımı 2,4MPa iken %10 SD katkılı seride bu değer 2,2MPa'dır. GKA oranı artışıyla beraber %5 SD katkılı seri %10 SD katkılı seriye göre daha yüksek çekme dayanımı sonucu aldığı söylenemeyeceği gibi aksi bir durumda görülmemiştir.

- Tüm seriler UK katkı oranına göre incelendiğinde ise; UK oranı %5 olan seriler yine aynı oranda GKA ile hazırlanan beton numunelerine %10 UK ilavesine kıyasla daha yüksek çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmektedir. GKA oranı %10 olan serilerde %5 UK katkılı seri 2,6MPa çekme dayanımına sahipken %10 UK katkılı serilerde bu değer 2,1MPa'dır. %50 GKA oranına sahip serilerde %5 UK katkılı serilerde 2,45MPa çekme dayanımı elde edilirken bu değer %10 UK katkılı serilerde 2,1MPa'dır

- Hibrit seriler mineral katkı oranı fark etmeksizin UK katkılı seriler ile kıyaslandığında daha düşük çekme dayanımı sonuçları aldığı görülmektedir. %10 GKA'lı serilerde Hibrit seri 2,1MPa çekme dayanımına sahipken %5 UK katkılı serilerde 2,6MPa ve %10 UK katkılı serilerde 2,1MPa'dır. Hibrit seriler mineral katkı oranı fark etmeksizin SD katkılı seriler ile kıyaslandığında benzer çekme dayanımı sonuçları görülmektedir. %10 GKA oranı sahip serilerde Hibrit seri 2,1MPa çekme dayanımı, %5 SD katkılı seri 2,1MPa ve %10 silis dumanı katkılı serilerde ise bu değer 2,2MPa çekme dayanımı sonucunu verdiği görülmüştür.

- Mineral katkısız kontrol grubu serileri mineral katkılı seriler ile kıyaslandığında GKA oranına bağlı olarak en yüksek çekme dayanımı sonuçları görüldüğü; tüm seriler ile kıyaslandığında ise mineral katkı oranı fark etmeksizin daha yüksek çekme dayanımı sonuçlarını verdiği gözlemlenmiştir. %40 GKA oranına sahip seriler bu açıdan dikkate alındığında; kontrol grubu 2,4MPa, %5 SD katkılı seri 2,1MPa, %10 SD katkılı seri 2,2MPa, %5 UK katkılı seri 2,1MPa, %10 UK katkılı seri 2,3MPa ve Hibrit serilerde 2,1MPa çekme dayanım sonucu görülmüştür.

İstanbul ili Büyükçekmece ilçesinde bulunan ve kentsel dönüşüm sonucu yıkımına karar verilen; beton dayanımı yaklaşık 5MPa olan bir yapıdan elde edilen atık betonların geri kazanım sonucu yeniden üretilecek betonlarda kullanılabilirliği incelendi. UK ve SD katkılı ve katkısız üretilen beton numunelerin 28. gün deney sonuçlarına göre:

- Hedef dayanım C30/37 olan çalışmada tüm numuneler değerlendirildiğinde DA ve mineral katkısız şahit numune hedef dayanımın olan C30/37, GKA oranı %10 olan ve SD katkılı seri (RL10S10) C35/45, GKA oranı %20 olan ve SD katkılı serilerin (RL20S5, RL20S10) C35/45, %10 ve %20 GKA oranına sahip içeriğinde %5 ve %10 SD bulunan serilerin hedef dayanım sınıfının bir üst sınıfı olan C35/45 sınıfında olduğu görülmüştür.
- %10, 20 ve RL40U10 serisi dışında kalan %40 geri kazanılmış agregaları seriler, hedeflenen C30/37dayanım değerlerini karşılamıştır.
- GKA oranı %75 ve %100 olan serilerden elde edilen sonuçlar, mineral katkılı-katkısız fark etmeksizin C20/25 ve C25/30 olan hedef dayanım altında sonuçlar vermiştir.
- Tüm serilerin TBDY-2018'e göre binalarda en az C25/30 dayanım sınıfı betonunun kullanılması koşulunu %100 GKA'lı seriler dışında tüm seriler sağladığı görülmüştür. Bununla beraber GKA'lı betonların yapılarda kullanılması için diğer dayanıklılık testlerinin de sağlaması gerekmektedir.
- Tüm numuneler mineral katkılı ve katkısız basınç dayanımları açısından kıyaslandığında; beton için en uygun agrega ikame oranının %20 GKA'lı serilerde olduğu görülmektedir.
- RL20 grubundaki farklı mineral katkılı veya katkısız seriler, şahit numune ile karşılaştırıldığında dayanımı yaklaşık %5 oranında arttırmıştır.
- Mineral katkılı serilerin basınç dayanımı incelendiğinde, SD katkılı serilerin tüm gruplarda UK katkılı numunelerden daha üstün dayanım sonuçlarına

sahip olduğu belirlenmiştir.

- Tüm numuneler yarmada çekme dayanımı açısından değerlendirildiğinde en iyi sonucu RL10U5 serisinde görülmüştür. Bununla beraber gruplar kendi içlerinde değerlendirildiğinde RL10 grubunun yarmada çekme dayanımı açısında daha yüksek dayanım sonuçları verdiği söylenememektedir.
- Numunelerin yarmada çekme dayanımı sonuçlarına bakıldığında, UK ve SD katkılı serilerin benzer dayanım sonuçları gösterdiği belirlenmiştir.



KAYNAKÇA

- [1] Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi Deprem araştırma enstitüsü <http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/deprem-bilgileri/depremler/>, 10.08.2022.
- [2] G. Bahçeli, «Devlet İstatistik Enstitüsü ve Çevre İstatistikleri,» Devlet İstatistik Enstitüsü, 2020.
- [3] TS EN 206+A2 Beton- Özellik, performans, imalat ve uygunluk. Türk Standartları, TSE, Ankara, 2021.
- [4] Bill Addis & Michael Bussell, Key Developments in the History of Concrete Construction and the Implications for Remediation and Repair, 2.Bölüm, pp.15, pp.16, 2008
- [5] Türkiye Hazır Beton Birliği, Uygarlığın Harcı: Beton, İstanbul, 2003.
- [6] Türkiye Hazır Beton Birliği, Türkiye Hazır Beton Sektörü İstatistikleri, <http://www.thbb.org/media/531827/thbb-İstatistikler-2020.pdf>, pp.2, 2020, 09.05.2022.
- [7] TS 706 EN 12620 Beton Agregaları, Doğal Agrega. Türk Standartları, TSE, Ankara, 2003.
- [8] ERDOĞAN., M., İstanbul ve Dolayının Yapay Agrega Potansiyeli' 3. Mühendislik Jeolojisi Sempozyumu, Ç.Ü. Mühendislik Fakültesi, Adana.
- [9] ERDOĞAN., T.Y., 'Betonu Oluşturan Malzemeler-Agregalar' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 1995.
- [10] Andrew, R.M., Global CO2 emissions from cement production, Earth System Science Data, 10(1), pp.195-217, 2018.
- [11] Erdoğan, T., (2003), Beton, 1. Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- [12] TS 500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları. Beton Malzemesi, Su.
- [13] TSE EN 1008 Beton-Karma suyu-Numune alma, deneyler ve beton endüstrisindeki işlemlerden geri kazanılan su dahil, suyun, beton karma suyu olarak uygunluğunun tayini kuralları, Ankara, 2003.
- [14] AKÖZ, F., Su Yalıtımı Temel İlkeleri, Çatılarda Örtü ve Yalıtım Sorunlar Sempozyum Bildirileri, Yapı Endüstri Merkezi, İstanbul, 1999.
- [15] Duan, P., Shui, Z., Chen, W., ve Shen, C., Effects of metakaolin, silica fume and slag on pore structure, interfacial transition zone and compressive strength of concrete, Construction and Building Materials, 44, 1-6, 2013.
- [16] Topçu, İ.B., Aydın, Ş., Akışkanlaştırıcı Katkıların Beton Özelliklerine Etkisi,
- [17] Sağlık, A., Beton ve Kimyasal Katkı Teknolojisinde Yeni Gelişmeler ve Standartlar, TMMOB, KMO ve İMO, Yapılarda Kimyasal Katkıları Semp, Ankara, pp.83-117, 2005.
- [18] Aydın, K. K., Uyan, M., Baş, S., Betonda Kıvam Kaybının Süper akışkanlaştırıcı Katkılarla İyileştirilmesi, İMO, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 73-80, 1996.

- [19] Akman, M. S., Süper Akışkanlaştırıcı Katkıların Taze Beton İşlenebilmesindeki Sorunları, İMO, 4. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 55-71, 1996.
- [20] Şahin R., Taşdemir M.A., Gül R., Çelik C., Betonun Don Hasarlarının Mekanik Deneylerle Analizi, TMMOB, İMO, 5. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul, 333-343, 2003.
- [21] Prudencio, L.R, Accelerating Admixtures for Shotcrete, Cement and Concrete Composites, pp.20, pp.213-219, 1998.
- [22] Heikal M., Effect of Calcium Formate as an Accelerator on the Physicochemical and Mechanical Properties of Pozzolan Cement Pastes, Cement and Concrete Research, 34, 1051-1056, 2004.
- [23] Altun İ.A., Sert Y., Utilization of Weathered Phosphogypsum as Set Retarder in Portland Cement, Cement and Concrete Research, 34, 677-680, 2004.
- [24] Ts En 197-1:2012 Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Bileşenler, Kimyasal Katkılar. Türk Standartları, Tse, Ankara, 2002.
- [25] Steven H. Kosmatka, Beatrix Kerkhoff, and William C. Panarese, Design and Control of Concrete Mixtures Fourteenth Edition, pp.60, pp.58, 2008
- [26] Mehta, P. K. "Condensed Silica Fume," Cement Replacing Materials, Vol.3, Surrey University Press, pp.136-137,1986.
- [27] Yeğınobalı A., Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, , Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara, 2007.
- [28] ACI Committee 226, "Silica fume in concrete", ACI Materials Journal, Detroit, 84(2), 158-166, (1987).
- [29] Xiaofeng, C. et al., "Role of silica fume in compressive strength of cement paste, mortar and concrete", ACI Materials Journal, Detroit, 89(4), 375-388 (1993).
- [30] Topçu, İ.B. Yapı Malzemeleri ve Beton, Şahvar Offset, Eskişehir, 2006.
- [31] Aköz, F. Fikret, T. Koral, S. Yüzer, N. (1999). Effects of Raised Temperature of Sulfate Resistance of Mortars with and without Silica Fume. Cement and Concrete Research, Vol.29, pp. 537-544.
- [32] Morrison. R.E. "A Review of Ash Specifications." Symposium on Fly Ash Utilization, pp. 24-31. Pittsburgh,1970.
- [33] Beycioğlu A. Başıyigit C. Subaşı S.."Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanımı ile Geri Kazanılması ve Çevresel Etkilerinin Azaltılması", Çevre Sorunları Sempozyumu, Kocaeli pp. 1387-1394, 14-17, 2008.
- [34] Kefelioglu. S., "Türkiye Uçucu Küllerinin Özellikleri ve Kullanılma İmkanları"
- [35] Teknoloji, 1998.
- [36] Hycnar, J. Reducing harmful influence of power stations on the natural environmental by the utilization of fly ashes and slags. UNEP/USSR, Donetok,1983.

- [37] Temiz, H. ve Yeğınobalı, A., “UK ve SD Katkılı Çimento Hamur ve Harçlarının Bazı Özellikleri”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Semp., Bildiri Kitabı, pp. 213-227, Ankara, 1995.
- [38] Tokyay, M. Ve Arıöz, Ö., “Uçucu Kül-Desülfürizasyon Alçısı Esaslı Tuğlalar Hakkında Deneysel Bir Çalışma”, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Semp. 3, Bildiri Kitabı, ss. 171-186, Eskişehir, 1997.
- [39] Mehta, P.K., “Greening of the Concrete Industry for Sustainable Development”, Concrete International, pp. 23-28, 2002.
- [40] Mehta, P.K., “Durability-Critical Issues for the Future”, Concrete International, pp. 27-33, 1997.
- [41] Langan, B. W. Weng, K. Ward, M. A. “Effect Of Silica Fume And Fly Ash On Heat Of Hydration Of Portland Cement.” Cement And Concrete Research. 1045-1051, 2002.
- [42] Oikonomou, N. D. 2005 Recycled concrete aggregates. Cement & Concrete Composites, Vol. 27, pp. 315–318, 2005.
- [43] Gürer, C. ve Akbulut, H., (2005). "İnşaat Endüstrisinde Geri Dönüşüm ve Bir Hammadde Kaynağı Olarak Farklı Yapı Malzemelerinin Yeniden Değerlendirilmesi", 5. Endüstriyel Hammaddeler Sempozyumu, İzmir, 2004.
- [44] Khalaf, F.M. ve DeVenny, A.S., “Recycling of demolished masonry rubble as course aggregate in concrete: review”, ASCE Journal of Material In Civil Engineering, 16:331-340, 2004.
- [45] Kawano H. (2003) The state of using by-products in concrete in Japan and outline of JIS/TR on recycled concrete using recycled aggregate. Proceedings of the 1st FIB Congress, pp. 245–253.
- [46] Vivian W.Y. Tama, Mahfooz Soomro, Ana Catarina Jorge Evangelista, Construction and Building Materials, A review of recycled aggregate in concrete applications, pp.272, 273, 2018.
- [47] K. Slattery, Global developments in the aggregate industry: global aggregates information, Network 2016.
- [48] PMR Analysis. Global Market Study on Construction Aggregate. New York, USA, 2016.
- [49] The Freedonia Group. Global Demands for Construction Aggregates to Exceed 48 Billion Metric Tons in 2015 2012:1.
- [50] H. Yang, J. Xia, J.R. Thompson, R.J. Flower, Urban construction and demolition waste and landfill failure in Shenzhen, China, Waste Manage. Pp. 393– 396, 2017.
- [51] UEPG, European Aggregates Association – Annual Review (2015–2016), 2016.
- [52] U.S Geological Survey Factsheet FS-181-99, 2000.
- [53] Tüfekçi M., Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2011.

- [54] M. Malešev, V. Radonjanin, S. Marinkovic', Recycled concrete as aggregate for structural concrete production, *Sustainability* 2, pp.1204, 2010.
- [55] C. Pellegrino, F. Faleschini, *Sustainability and the Concrete Industry*, 2016.
- [56] Xiao, Jianzhuang, [Springer Tracts in Civil Engineering] *Recycled Aggregate Concrete Structures || Recycled Aggregates*, doi: 10.1007/978-3-662-53987-3_3, 2017
- [57] Recycling of Demolished Concrete and Masonry. RILEM Report 6, Report of Technical Committee 37-DRC, Demolition and Reuse of Concrete. London: E & FN Spon, 1992.
- [58] Nik. D. Oikonomou, *Recycled Concrete Aggregates, Cement and Concrete Composites* Volume 27, Issue 2, February 2005, Pages 315–318, 2005.
- [59] Corinaldesi V, Moriconi G, Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, 23, 2869-2876, 2009.
- [60] Sagoe-Crentsil, K.K., Brown, T. ve Taylor, A.H., (2001). "Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate"
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884600004762>, 2011.
- [61] Tu Y T, Chen Y Y, Hwang L C, Properties of HPC with Recycled Aggregates, *Cement and Concrete Research*.36: 943–950,2006.
- [62] Hansen, T.C., ve Hedegard, E., (1984). "Properties Of Recycled Aggregate Concretes As Affected By Admixtures On Original Concretes", *ACI Journal*, 21-26.
- [63] Yong, P.C. ve Teo, D.C.L., (2009). "Utilisation Of Recycled Aggregate As Coarse Aggregate Concrete", *Unimas E-Journal Of Civil Engineering*, 1: 1.
- [64] J. Xiao, *Recycled Aggregate Concrete Structures*, Chapter 10, *Structural Behavior of Recycled Aggregate Concrete Elements*, 2018.
- [65] Günçan N F, Eski Beton Kırığı Agregalı Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Osmangazi Üniversitesi, 1995.
- [66] Etxeberria M, Vázquez E, Mari A, Barra M, Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, 37, 735-742, 2007.
- [67] Ali Köken, Mehmet Alpaslan Köroğlu, Fatih Yonar, Selçuk-Teknik Dergisi, Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, Cilt 7, Sayı:1-2008.
- [68] Khatib J M, Properties of concrete incorporating fine recycled aggregate, *Cement and Concrete Research*, 35, 763–769, 2005.

DENEY SONUÇLARI

Tablo A.1 28. Gün Basınç Dayanımı Sonuçları

ŞAHİT NUMUNE	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	46,71	47,08	47,53	47,11	0,43	100,00	47,11>37+4=41✓	46,71>37-4=33✓	C30/37	C
	44,27	44,81	46,09	45,05	0,98	96,00	45,05>37+4=41✓	44,27>37-4=33✓	C30/37	CS5
	50,98	49,44	49,71	50,04	0,86	106,00	50,04>45+4=49✓	49,44>45-4=41✓	C35/45	CS10
	48,35	46,99	41,36	45,57	3,89	97,00	45,57>37+4=41✓	41,36>37-4=33✓	C30/37	CU5
	43,90	42,72	42,10	42,91	0,96	91,00	42,91>37+4=41✓	42,10>37-4=33✓	C30/37	CU10
	47,35	46,90	42,82	45,69	2,62	97,00	45,69>37+4=41✓	42,82>37-4=33✓	C30/37	CS5U5
RL10	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	44,63	45,17	44,00	44,60	0,62	95,00	44,60>37+4=41✓	44,00>37-4=33✓	C30/37	RL10
	45,81	45,99	47,81	46,54	1,16	99,00	46,54>37+4=41✓	45,81>37-4=33✓	C30/37	RL10S5
	47,63	48,17	51,44	49,08	2,16	104,00	49,08>45+4=49✓	47,63>45-4=41✓	C35/45	RL10S10
	44,99	44,00	44,00	44,33	0,60	94,00	44,33>37+4=41✓	44,00>37-4=33✓	C30/37	RL10U5
	42,28	42,18	41,46	41,97	0,47	89,00	41,97>37+4=41✓	41,46>37-4=33✓	C30/37	RL10U10
	42,72	45,27	45,63	44,54	1,66	95,00	44,54>37+4=41✓	42,72>37-4=33✓	C30/37	RL10S5U5
RL20	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	48,90	48,53	46,53	47,99	1,34	102,00	47,99>37+4=41✓	46,53>37-4=33✓	C30/37	RL20
	50,44	48,80	52,34	50,53	1,86	107,00	50,53>45+4=49✓	48,80>45-4=33✓	C35/45	RL20S5
	48,71	53,07	49,44	50,41	2,45	107,00	50,41>45+4=49✓	48,71>45-4=41✓	C35/45	RL20S10
	43,64	43,27	45,81	44,24	1,44	94,00	44,24>37+4=41✓	43,27>37-4=33✓	C30/37	RL20U5
	43,45	41,91	43,72	43,03	1,02	91,00	43,03>37+4=41✓	41,91>37-4=33✓	C30/37	RL20U10
	47,27	48,99	47,99	48,08	0,91	102,00	48,08>37+4=41✓	47,27>37-4=33✓	C30/37	RL20S5U5
RL30	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	45,27	0,00	44,09	44,68	0,88	95,00	44,68>37+4=41✓	44,09>37-4=33✓	C30/37	RL30
	41,54	43,18	43,45	42,72	1,08	91,00	42,72>37+4=41✓	41,54>37-4=33✓	C30/37	RL30S5
	39,73	40,64	40,82	40,40	0,61	86,00	40,40>30+4=34✓	39,73>30-4=26✓	C25/30	RL30S10
	40,10	39,46	39,37	39,64	0,42	84,00	39,64>30+4=34✓	39,37>30-4=26✓	C25/30	RL30U5
	35,20	36,29	35,38	35,62	0,61	76,00	35,62>30+4=34✓	35,20>30-4=26✓	C25/30	RL30U10
	39,46	38,65	38,29	38,80	0,63	82,00	38,80>30+4=34✓	38,29>30-4=26✓	C25/30	RL30S5U5
RL40	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	43,54	41,28	44,18	43,00	1,60	91,00	43,00>37+4=41✓	41,28>37-4=33✓	C30/37	RL40
	42,10	45,90	44,09	44,03	2,00	93,00	44,03>37+4=41✓	42,10>37-4=33✓	C30/37	RL40S5
	44,54	43,72	44,54	44,27	0,50	94,00	44,27>37+4=41✓	44,54>37-4=33✓	C30/37	RL40S10
	43,54	43,00	43,18	43,24	0,29	92,00	43,24>37+4=41✓	43,00>37-4=33✓	C30/37	RL40U5
	39,73	39,73	37,47	38,98	1,37	83,00	38,98>30+4=34✓	37,47>30-4=26✓	C25/30	RL40U10
	44,54	42,64	44,18	43,79	1,06	93,00	43,79>37+4=34✓	42,64>37-4=33✓	C30/37	RL40S5U5
RL50	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	0,00	41,00	39,10	40,05	1,41	85,00	40,05>30+4=34✓	39,10>30-4=26✓	C25/30	RL50
	0,00	40,91	42,00	41,46	0,81	88,00	41,46>37+4=41✓	40,91>37-4=33✓	C30/37	RL50S5
	41,36	0,00	40,28	40,82	0,81	87,00	40,82>30+4=34✓	40,82>30-4=26✓	C25/30	RL50S10
	33,74	0,00	35,74	34,74	1,48	74,00	34,74>30+4=34✓	33,74>30-4=26✓	C25/30	RL50U5
	0,00	31,39	33,20	32,30	1,34	69,00	32,30>25+4=29✓	31,39>25-4=21✓	C20/25	RL50U10
	0,00	39,10	38,91	39,00	0,13	83,00	39,00>30+4=34✓	38,91>30-4=26✓	C25/30	RL50S5U5
RL75	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	37,91	38,37	36,47	37,58	1,04	80,00	37,58>30+4=34✓	36,47>30-4=26✓	C25/30	RL75
	38,55	35,56	38,91	37,68	1,93	80,00	37,68>30+4=34✓	35,56>30-4=26✓	C25/30	RL75S5
	37,91	37,10	37,47	37,50	0,43	80,00	37,50>30+4=34✓	37,10>30-4=26✓	C25/30	RL75S10
	37,10	36,19	34,56	35,95	1,35	76,00	35,95>30+4=34✓	34,56>30-4=26✓	C25/30	RL75U5
	33,20	33,30	31,21	32,57	1,24	69,00	32,57>25+4=29✓	32,57>25-4=21✓	C20/25	RL75U10
	35,20	35,02	34,02	34,75	0,67	74,00	34,75>30+4=34✓	34,02>30-4=26✓	C25/30	RL75S5U5
RL100	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c3} (MPa)	f_{cm} (MPa)	standart sapma	Değişim (%)	$f_{cm} > f_{ck} + 4.0$ MPa	$f_{cmin} \geq f_{ck} - 4.0$ MPa	Beton Sınıfı	Seriler
	37,10	35,74	38,47	37,10	1,43	79,00	37,10>30+4=34✓	35,74>30-4=26✓	C25/30	RL100
	36,38	35,38	35,38	35,71	0,61	76,00	35,71>30+4=34✓	35,38>30-4=26✓	C25/30	RL100S5
	34,10	37,47	33,92	35,17	2,10	75,00	35,17>30+4=34✓	33,92>30-4=26✓	C25/30	RL100S10
	36,01	34,38	35,83	35,41	0,94	75,00	35,41>30+4=34✓	34,38>30-4=26✓	C25/30	RL100U5
	31,03	30,84	32,84	31,57	1,16	67,00	31,57>25+4=29✓	30,84>25-4=21✓	C20/25	RL100U10
	32,84	35,02	33,84	33,90	1,15	72,00	33,90>25+4=29✓	32,84>25-4=21✓	C20/25	RL100S5U5

Tablo A.2 28. Gün Yarmada Çekme Dayanımı Sonuçları

	Seriler	f_{c1} (MPa)	f_{c2} (MPa)	f_{c2} (Mpa)	f_{cm} (Mpa)	Standart Sapma	Değişim (%)
KONTROL GRUBU	C	2,1	2,30	2,55	2,32	0,23	100
	CS5	2,43	2,16	2,37	2,32	0,14	100
	CS10	2,3	2,12	2,54	2,32	0,21	100
	CU5	2,04	2,44	2,39	2,29	0,22	99
	CU10	1,98	2,33	2,22	2,18	0,18	94
	CS5U5	2,16	2,08	2,04	2,09	0,06	90
RL10	RL10	1,98	1,92	1,78	1,89	0,10	82
	RL10S5	2,07	1,96	2,21	2,08	0,13	90
	RL10S10	2,07	2,11	2,32	2,17	0,13	94
	RL10U5	2,5	2,46	2,78	2,58	0,17	111
	RL10U10	2,1	2,02	2,18	2,10	0,08	91
	RL10S5U5	1,9	1,86	2,42	2,06	0,31	89
RL20	RL20	2,35	2,06	2,42	2,28	0,19	98
	RL20S5	2,34	2,20	2,55	2,36	0,18	102
	RL20S10	2,05	2,11	2,48	2,21	0,23	96
	RL20U5	2	2,35	2,38	2,24	0,21	97
	RL20U10	2,22	2,21	2,26	2,23	0,03	96
	RL20S5U5	2,54	2,12	2,26	2,31	0,21	100
RL30	RL30	2,41	2,28	2,21	2,30	0,10	99
	RL30S5	1,71	2,12	2,16	2,00	0,25	86
	RL30S10	2,03	2,08	2,31	2,14	0,15	92
	RL30U5	1,99	2,42	2,34	2,25	0,23	97
	RL30U10	1,96	2,67	2,09	2,24	0,38	97
	RL30S5U5	1,95	1,99	2,17	2,04	0,12	88
RL40	RL40	2,15	2,51	2,65	2,44	0,26	105
	RL40S5	2,06	2,22	2,13	2,14	0,08	92
	RL40S10	2,61	2,03	1,89	2,18	0,38	94
	RL40U5	1,25	2,53	2,36	2,05	0,70	88
	RL40U10	2,47	2,29	2,06	2,27	0,21	98
	RL40S5U5	2	2,25	1,91	2,05	0,18	89
RL50	RL50	1,96	2,05	2,17	2,06	0,11	89
	RL50S5	2,59	2,15	2,06	2,27	0,28	98
	RL50S10	1,66	1,87	2,17	1,90	0,26	82
	RL50U5	2,17	2,40	2,79	2,45	0,31	106
	RL50U10	2,44	1,73	2,06	2,08	0,36	90
	RL50S5U5	2,04	2,20	2,06	2,10	0,09	91
RL75	RL75	2,21	1,34	2,57	2,04	0,63	88
	RL75S5	1,61	1,76	1,84	1,74	0,12	75
	RL75S10	1,93	1,16	1,66	1,58	0,39	68
	RL75U5	1,96	2,00	1,86	1,94	0,07	84
	RL75U10	1,09	1,19	1,68	1,32	0,32	57
	RL75S5U5	1,76	1,84	2,24	1,95	0,26	84
RL100	RL100	1,73	1,72	2,16	1,87	0,25	81
	RL100S5	2	1,91	2,14	2,02	0,12	87
	RL100S10	1,72	1,67	1,60	1,66	0,06	72
	RL100U5	1,62	1,85	2,35	1,94	0,37	84
	RL100U10	1,65	1,84	1,92	1,80	0,14	78
	RL100S5U5	1,97	1,84	1,54	1,78	0,22	77

TEZDEN ÜRETİLMİŞ YAYINLAR

Konferans Bildirileri

1. M. Kutlu, Ö. Çakır, “Geri kazanılmış agregaların betona etkisi”, 9.uluslararası mühendislik ve teknoloji yönetimi kongresi, 2023 – İstanbul / Türkiye

