

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**



**GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONLARDA BETON
DAYANIMININ REGRESYON ANALİZİ YÖNTEMİ İLE
İSTATİSTİKSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Tuba Nur İMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yapı Ana Bilim Dalı Bilim Dalı

OCAK 2022

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

**GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONLARDA BETON
DAYANIMININ REGRESYON ANALİZİ YÖNTEMİ İLE
İSTATİSTİKSEL OLARAK İNCELENMESİ**

Tez Yazarı
Tuba Nur İMİŞ

Danışman
Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ

OCAK 2022
ELAZIĞ

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Başlığı: Geri Kazanılmış Agregalı Betonlarda Beton Dayanımının Regresyon Analizi Yöntemi ile İstatistiksel Olarak İncelenmesi

Yazarı: Tuba Nur İMİŞ

İlk Teslim Tarihi: 20.12.2021

Savunma Tarihi: 19.01.2022

TEZ ONAYI

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına göre hazırlanan bu tez aşağıda imzaları bulunan jüri üyeleri tarafından değerlendirilmiş ve akademik dinleyicilere açık yapılan savunma sonucunda OYBİRLİĞİ ile kabul edilmiştir.

Danışman:	Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi	<i>İmza</i> Onayladım
Başkan:	Prof. Dr. Bahar DEMİREL Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi	Onayladım
Üye:	Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Esen EREN Turgut Özal Üniversitesi, Darende MYO	Onayladım

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunun/...../20..... tarihli toplantısında tescillenmiştir.

İmza

Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ
Enstitü Müdürü

BEYAN

Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım “Geri Kazanılmış Agregalı Betonlarda Beton Dayanımının Regresyon Analizi Yöntemi ile İstatistiksel Olarak İncelenmesi” Başlıklı Yüksek Lisans Tezimin içindeki bütün bilgilerin doğru olduğunu, bilgilerin üretilmesi ve sunulmasında bilimsel etik kurallarına uygun davrandığımı, kullandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi, maddi ve manevi desteği olan tüm kurum/kuruluş ve kişileri belirttiğimi, burada sunduğum veri ve bilgileri unvan almak amacıyla daha önce hiçbir şekilde kullanmadığımı beyan ederim.

19.01.2022

Tuba Nur İMİŞ



ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenimim boyunca çalışmalarımın her aşamasında yanımda olan, değerli bilgi ve birikimini benimle paylaşan, yardımlarını ve desteklerini hep arkamda hissettiğim saygı değer hocam Prof. Dr. Kürşat Esat ALYAMAÇ'a teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu tez çalışmasında değerli vaktini benden esirgemeyen ve yardımcı olan Arş. Gör. Muhammed Ulucan'a teşekkür ederim.

Son olarak, hayatımın her aşamasında bana hep destek olan ve emek veren başta ailem olmak üzere beni destekleyen arkadaşlarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Tuba Nur İMİŞ
ELAZIĞ, 2022

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖNSÖZ.....	iv
İÇİNDEKİLER	v
ÖZET	vi
ABSTRACT	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	viii
TABLolar LİSTESİ	ix
EKLER LİSTESİ	x
1. GİRİŞ	1
2. GERİ KAZANILMIŞ AGREGA	1
2.1. Geri Kazanılmış Agreganın Tarihçesi	5
2.2. Geri Kazanılmış Agreganın Üretilmesi ve Geri Kazanılması.....	8
2.3. Geri Kazanılmış Agregaların Sınıflandırılması ve Standardizasyonu	11
2.4. Geri Kazanılmış Agreganın Özellikleri	13
2.5. Geri Kazanılmış Agreganın Kullanılmasındaki Avantajlar ve Dezavantajlar	16
3. MATERYAL VE METOT	18
3.1. Tepki Yüzeyi Metodu	18
3.2. Tepki Yüzeyi Metodu ile Geliştirilen Modeller.....	20
3.2.1. Birinci Model	20
3.2.2. İkinci Model	21
3.2.3. Üçüncü Model	22
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	24
5. SONUÇLAR.....	32
KAYNAKLAR	34
EKLER	39
ÖZGEÇMİŞ	

ÖZET

Geri Kazanılmış Agregalı Betonlarda Beton Dayanımının Regresyon Analizi Yöntemi ile İstatistiksel Olarak İncelenmesi

Tuba Nur İMİŞ

Yüksek Lisans Tezi

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak 2022, Sayfa: x + 50

Bu tez çalışmasının amacı, geri kazanılmış agregalı betonların 28 günlük basınç dayanımlarını tespit eden pratik matematik modellemeler geliştirmektir. Literatürde yer alan geri kazanılmış agregası ile elde edilen betonların karışım oranları derlenmiş ve edilen veriler doğrultusunda, Tepki Yüzeyi Metodu (TYM) kullanarak üç model geliştirilmiştir.

Tepki yüzey metodu, bir problem ya da süreç ele alınırken bu problemi etkileyen bir veya daha fazla parametreyi göz önünde bulundurarak bu parametrelerin yanıt ile aralarındaki ilişkiyi inceleyen istatistiksel ve matematiksel bir analiz yöntemidir.

Bu tez çalışmasında, Tepki yüzey metodu kullanılarak, geri kazanılmış agregası kullanılarak elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımı tepki değeri olarak, bu tepki değerine etki eden su/çimento, su emme oranı ve toplam agregası/ince geri kazanılmış agregası değişkenleri etki eden parametreler olarak belirlenmiştir.

Elde edilen modellemeler, matematiksel denklemler ve 3 boyutlu grafiklerle ifade edilmekte olup, incelendiğinde W/C arttıkça dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda A/C oranı arttıkça 28 günlük basınç değerlerinin arttığı açıkça görülmektedir. Bunlara ek olarak, toplam agregası/ince geri kazanılmış agregasının 28 günlük basınç dayanımı üzerinde anlamlı bir etkisi olduğu görülmüştür. Başka bir modelde su emme oranı yüksek olan agregaların kullanılması 28 günlük basınç dayanımına olumlu yönde katkı gösterdiği görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Geri Kazanılmış Agregası, Tepki Yüzeyi Metodu, Atık Yönetimi, Basınç Dayanımı, Geri Kazanılmış Agregalı Beton

ABSTRACT

Statistical Investigation of Concrete Strength in Recycled Aggregate Concrete by Regression Analysis Method

Tuba Nur İMİŞ

Master's Thesis

FIRAT UNIVERSITY

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Civil Engineering

January 2022, Pages: x + 50

The aim of this thesis is to develop practical mathematical models that determine the 28-day compressive strength of recycled aggregate concrete. The mixing ratios of the concretes obtained with the recycled aggregate in the literature were compiled, and four models were developed using the Reaction Surface Method (TYM) in line with the data obtained.

The response surface method is a statistical and mathematical analysis method that examines the relationship between these parameters and the response, taking into account one or more parameters that affect the problem or process.

In this thesis, water/cement, water absorption ratio and total aggregate/fine recycled aggregate variables affecting this reaction value, as the 28-day compressive strength response value of the concretes obtained by using the recycled aggregate by using the Response Surface Method, were determined as parameters.

The models obtained are expressed with mathematical equations and 3D graphics, and when examined, it is seen that the strength values decrease as W/C increases. At the same time, it is clearly seen that the 28-day pressure values increase as the A/C ratio increases. In addition, it was observed that the total aggregate/fine recycled aggregate had a significant effect on the 28-day compressive strength. In another model, it is seen that the use of aggregates with high water absorption rate contribute positively to the 28-day compressive strength.

Keywords: Recycled Aggregate, Response Surface Methodology, Waste Management, Compressive Strength, Recycled Aggregate Concrete

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1.	2018 yılında GKA üretiminin En Fazla Olduğu Ülkelerin Üretim Miktarı	1
Şekil 2.2.	Yıllara Göre Toplanan Belediye Atık Miktarı Ve Düzenli Depolama Oranı.....	6
Şekil 2.3.	Türkiye'nin 1961-2017 yılları arası Ekolojik Ayak izi ve Biyokapasitesi.....	7
Şekil 2.4.	UAYP'e Göre 2016 Yılı Belediye Atıklarının Geri Kazanım Yöntemlerinde göre Dağılımı ...	7
Şekil 2.5.	Atık Yönetim Hiyerarşisi.....	8
Şekil 2.6.	İnşaat Yıkıntı Atıklarının Birleşenleri.....	8
Şekil 2.7.	Geri Kazanılma Agregaların Üretim Aşamaları	10
Şekil 2.8.	Geri Kazanılmış Agregalı Betonda Eski ve Yeni Ara yüzlerin Şematik Diyagramı.....	14
Şekil 2.9.	İki Aşamalı Karıştırma Yöntemi.....	15
Şekil 2.10.	Modifiye Edilmiş İki Aşamalı Karıştırma Yöntemi.....	15
Şekil 2.11.	Modifiye Edilmiş İki Aşamalı Karıştırma Yöntemi 2.....	15
Şekil 2.12.	Kum Zarfı Karıştırma Yöntemi	16
Şekil 2.13.	Geri Kazanılmış Agregaların Kullanımın Avantajları	16
Şekil 2.14.	Geri Kazanılmış Agreganın Daha Geniş Kapsamda Kullanılmasının Önündeki Engeller	17
Şekil 3.1.	Tepki Yüzeyi 3 Boyutlu Grafiği	19
Şekil 3.2.	İki Boyutlu Kontur Grafiği	19
Şekil 4.1.	Birinci Modele Ait Pertürbasyon Eğrisi.....	24
Şekil 4.2.	Birinci Modele ait 3 Boyutlu Etki Grafiği	25
Şekil 4.3.	Birinci Modele ait 2 Boyutlu Etki Grafiği	26
Şekil 4.4.	İkinci Modele Ait Pertürbasyon Eğrisi	26
Şekil 4.5.	İkinci Modele ait 3 Boyutlu Etki Grafiği	28
Şekil 4.6.	İkinci Modele ait 2 Boyutlu Etki Grafiği.....	28
Şekil 4.7.	Üçüncü Modele Ait Pertürbasyon Eğrisi	30
Şekil 4.8.	Üçüncü Modele ait 2 Boyutlu Etki Grafiği	30
Şekil 4.9.	Üçüncü Modele ait 3 Boyutlu Etki Grafiği	31

TABLULAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 2.1. Literatür Özeti.....	2
Tablo 2.2. Geri Kazanılmış Agrega ile İlgili Bazı Ülkelerin Teknik Şartnamesindeki Şartlar	12
Tablo 3.1. Birinci Modelde Kullanılan Değişkenler ve Varyasyon Aralıkları.....	20
Tablo 3.2. Birinci Modelde Kullanılan Beton Karışım Değerleri	21
Tablo 3.3. İkinci Modelde Kullanılan Değişkenler ve Varyasyon Aralıkları.....	21
Tablo 3.4. Üçüncü Modelde Kullanılan Değişkenler ve Varyasyon Aralıkları	23
Tablo 4.1. Birinci Modele ait ANOVA Sonuçları.....	24
Tablo 4.2. İkinci Modele ait ANOVA Sonuçları	27
Tablo 4.3. Üçüncü Modele ait ANOVA Sonuçları	29

EKLER LİSTESİ

Sayfa

EK- 1:	LİTERATÜRDEN ELDE EDİLEN GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONLARIN KARIŞIM DİZAYN TABLOSU	39
--------	--	----



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

β_0	: Model Sabiti
CO ₂	: Karbondioksit
f	: Yanıtın bilinmeyen fonksiyonu
MPa	: Mega paskal
n	: Bağımsız Değişkenlerin Sayısı
x_1, x_2, \dots, x_n	: Bağımsız değişkenler
y	: Reaksiyonun Verimi
$\beta_i \beta_{ij} \beta_{ii}$: Değişken Katsayılar
ε	: İstatistiksel Hata
η	: Yanıt
ξ_1	: Reaksiyon Süresi
ξ_2	: Reaksiyon Sıcaklığı

Kısaltmalar

A/C	: Agregat/çimento
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ANOVA	: Varyans Analizi
GKA	: Geri Kazanılmış Agregat
GKAB	: Geri Kazanılmış Agregatlı Beton
ITZ	: Ara Yüzey Geçiş Bölgesi
İYA	: İnşaat ve Yıkıntı Atığı
NA	: Doğal Agregat
RMA	: Geri Dönüştürülmüş Duvar Agregatları
SA	: Süper Akışkanlaştırıcı
TA/ RGKA	: Toplam Agregat/ İnce geri kazanılmış agregat
TS	: Türk Standardı
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
TYM	: Tepki Yüzeyi Metodu
UAYP	: Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı
UK	: Uçucu Kül
W/C	: Su/çimento

1. GİRİŞ

Katı atık kontrolü ve yönetimi, hızlı sanayileşme ve kentleşme ve buna olarak hızlı nüfus artışı, artan teknolojik gelişmeler ve inşaat sektöründeki çalışmaların son yıllarda hız kazanması nedeniyle sanayileşen toplumların üstesinden gelmesi gereken büyük bir sorun haline gelmiştir. Katı atıklar, sınırlı olan doğal kaynakların tükenmesi ve çevresel kirliliğin artması gibi birçok çevresel ve ekonomik soruna yol açmaktadır [1].

Oikonomou'nun çalışmasına göre inşaat sektörü, doğal kaynakların ve enerjinin yaklaşık kullanmakla beraber atıkların da yarısının oluşmasına sebep olur [2]. Aynı şekilde, toplam katı atığın % 50'si inşaat sektörü kaynaklı olduğu inşaat çalışmalarından kaynaklı bu oranın da yaklaşık yarısının betondan oluştuğunu söyleyen yapılan birçok çalışma bulunmaktadır [3-6].

Türkiye'de toplam hazır beton üretim miktarı 2020 yılında 95 milyon iken Avrupa Birliğine bağlı ülkelerin toplam üretimi 252,7 milyon metreküptür [7]. Bu çalışmalar göz önünde bulundurularak, katı atık yönetiminde inşaat çalışmalarının ve özellikle beton üretiminin payı büyük olduğu, bu nedenle geri kazanım konusunun önemi çok daha iyi anlaşılmaktadır.

Ülkemizde de artan inşaat faaliyetlerine paralel olarak inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA) da her geçen gün artmaktadır. Özellikle ülkemizde meydana gelen depremler sonrasında gündeme gelmiş ve bu atıkların çevreye verdiği olumsuz etkiyi ortadan kaldırmak ve ekonomik kayıpları azaltmak amacıyla kentsel dönüşüm projeleri yapılmaktadır. Son yıllarda artan kentsel dönüşüm çalışmalarıyla, Türkiye'deki yapı stokundaki her üç binadan birinin riskli olduğunu ve önümüzdeki 20 yıl içinde bu yapıların yıkılıp yeniden yapılmasıyla, mevcut İYA'nın en az ikiye katlanması beklenmektedir [8-9]. Ayrıca, Çevre Şehircilik Bakanlığının kentsel dönüşüm kapsamındaki çalışmalarına göre Türkiye'de 60,5 milyar liralık harcama yapılmıştır [10]. Bütün bu veriler göz önüne alındığında, İYA'nın geri kazanılması hem kısıtlı doğal kaynakların korunması bakımında hem de ekonomik anlamda fayda sağlayacağı görülmüştür. Bu kapsamda Avrupa Birliği ve birçok ülke tarafından betonda geri kazanılmış agrega (GKA) kullanımını teşvik etmek ve bu sayede İYA'ların azalması için politikalar yayınladı [8-10]. Bu politikalar kapsamında kanunlar ve yönetmelikle çıkartılmış ve %90'a kadar İYA kullanılarak çevre dostu yapı malzemeleri üretmeleri amaçlanmıştır [11]. Ülkemizde ise Avrupa Birliği uyum süreci kapsamında, Avrupa Çevre Ajansının uyguladığı politikaları hayata geçirmek için çalışmalar yapılmakta ve geri kazanılmış agreganın kullanılması önem kazanmaktadır [12].

Son yıllarda çevrenin korunması ve kaynakların etkin kullanımı açısından, düzenlenen politikalar ve kanunların yanı sıra, İYA'ların geri dönüştürerek agrega olarak yeniden kullanılabilirliğine yönelik bilimsel çalışmalar yapılmaktadır.

Beton endüstrisinin son 50 yılda gelişmesi ile dünya genelinde oluşan yapı yıkım atık miktarı da artarak yıllık 1 milyar ton gibi büyük bir rakama ulaşmıştır [13]. Dünya genelinde beton

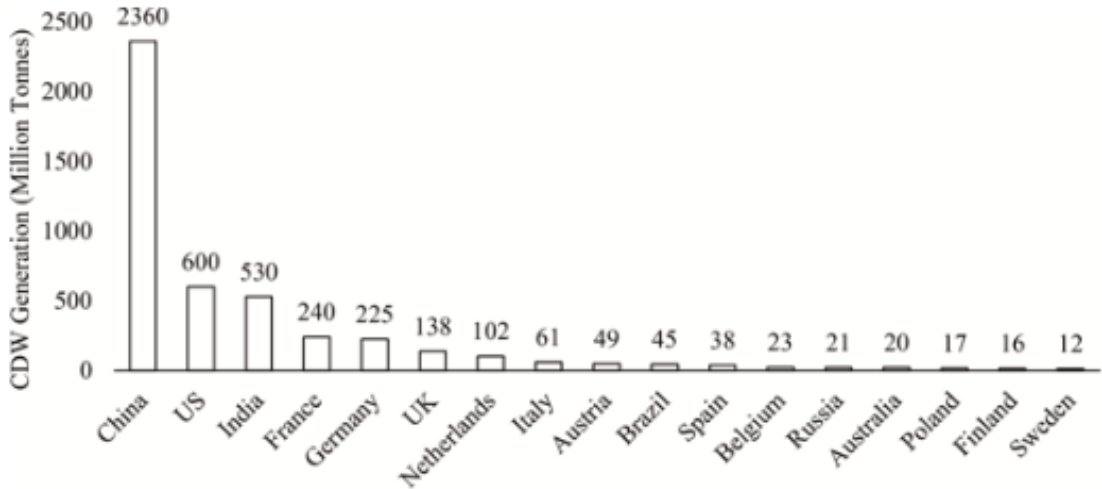
endüstrisinde kullanılan agrega miktarının bu denli fazla olması ve beton endüstrisi ile oluşan yapım ve yıkım atıklarının da son yıllarda artması nedeniyle birçok ülke beton agregaları standardına geri kazanılmış agrega ifadesine yer vermektedir. Yapılan araştırmalar doğrultusunda beton üretiminde kullanımını arttırmaya çalışmakta ve bu amaca yönelik birçok bilimsel çalışma yapılmaktadır. Geri kazanılmış agregalarla (GKA) üretilen betonların özelliklerini araştırıldığı birçok çalışma olmasına rağmen literatürde yer alan bu bilgilerden faydalanılarak geri kazanılmış agregalarla elde edilen çalışmalarını derleyen ve betonların karışım oranlarını optimize eden güncel bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu tez çalışmasında, literatürde yer alan geri kazanılmış agrega ile elde edilen betonların karışım oranları derlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, Tepki Yüzeyi Metodu (TYM) kullanarak üç model geliştirilmiştir. Bu modeller, GKA kullanılarak elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımına etki eden su/çimento, su emme oranı ve toplam agrega/ince agrega, değişkenlerini incelemiştir. Ayrıca Tepki Yüzeyi Metodu (TYM) kullanarak, geri kazanılmış agrega kullanılarak elde edilen betonların 28 günlük basınç dayanımını tahmin eden matematiksel modeller tasarlanmıştır. Bu tezin amacı, elde edilen veriler doğrultusunda basınç dayanımına etki eden değişkenlerin incelenmesi ve elde edilen modeller kullanılarak GKA kullanımının artması ve böylece İYA'ların artmasıyla meydana gelen çevresel ve ekonomik kaybı azaltılmasıdır.

2. GERİ KAZANILMIŞ AGREGA

Artan inşaat faaliyetlerine paralel olarak yapıların yıkılması, onarılması, yeniden yapılması faaliyetleri neticesinde İYA da her geçen gün artmaktadır. Artan İYA, birçok çevresel sorunu beraberinde getirmiş bu nedenle İYA'ların azalması için birçok ülke harekete geçmiştir. Böylece, doğal agrega kullanımına alternatif olarak İYA kullanılmış ve böylece İYA'lardan GKA üretimi yaygınlaşmaya başlamıştır.

2018 yılında dünya genelinde üretilen GKA miktarı Şekil 2.1'de gösterilmektedir. Çin yaklaşık 2360 milyon ton ile en büyük GKA üretimine sahiptir, onu ABD (yani yaklaşık 600 milyon ton) ve Hindistan (yani 2016'da yaklaşık 530 milyon ton) izlemiştir. Avrupa Birliği ayrıca, Fransa ve Almanya'nın sırasıyla 240 ve 225 milyon ton ile ağırlıklı olarak katkıda bulunduğu önemli miktarda GKA üretmiştir [43]. Şekil 2.1'de de görüldüğü gibi, GKA üretiminin en fazla olduğu ülkelerin arasında Türkiye'nin olmaması GKA'nın ülkemiz ekonomisine yeteri kadar kazandırılmadığı anlamına gelmektedir. Dolayısıyla, GKA alanında yapılacak olan çalışmalar hem ülkemiz ekonomimize hem de literatüre önemli katkı sunacaktır.



Şekil 2.1. 2018 yılında GKA üretiminin En Fazla Olduğu Ülkelerin Üretim Miktarı

Geri kazanılmış agrega (GKA), betonda doğal agrega (NA) kullanımına bir alternatif olarak İYA'ları kullanarak elde edilir. Beton agregalarıyla ilgili Türk Standardı olan TS 706 EN 12620' göre GKA "Önceden yapılarda kullanılmış, olan inorganik malzemelerin işlemden geçirilmesi sonucunda elde edilen agrega" olarak tanımlanmaktadır [44]. GKA ile ilgili literatür araştırılması yapılmış ve GKA ile üretilen betonların karışım oranlarının verildiği makaleler göz önünde bulundurulup, basınç dayanımına etki eden faktörler, geleneksel betonla dayanım karşılaştırılması yapan ve optimum karışım oranları belirleyen çalışmalar Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Literatür Özeti

Referans	Yapılan Çalışmaların Özeti
[13-16]	Dayanımı ve yaşı bilinen atık betonları iri ve ince agregaya boyutuna getirilip çeşitli ikame oranlarında kullanılmasıyla elde edilen yeni betonun 28 günlük dayanımını inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır
[16]	GKA ile üretilen beton, geleneksel betona göre 7 ve 28 günde sırasıyla %20 ve %20,5 daha düşük bir basınç dayanımına sahip olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte, yüksek performanslı betonun kırılmasıyla elde edilen GKA ile yapılan beton, geleneksel beton ile yapılandırılan yalnızca %9 ve %6,8 daha düşük bir basınç dayanımına sahip olduğu ve 90 günlük geleneksel beton muadili ile aynı basınç dayanımına sahip olduğu bulunmuştur.
[17-25]	GKA içeren betonun farklı miktarda iri agregaya ikameli GKA ve farklı su/çimento oranı kullanılarak fiziksel, mekanik, dayanıklılık, hızlandırılmış karbonatlaşma altında GKA boyutunun basınç dayanımı üzerindeki etkilerini incelenmiştir.
[21]	Termal genleşme katsayısı, NA'nın GKA ile değiştirilmesinden minimum düzeyde etkilenir.
[21]	Aynı basınç dayanımını elde etmek için bir GKAB karışımı için bir geleneksel beton karışımından daha düşük bir su/çimento oranı gereklidir. GKAB'nin elastisite modülünün geleneksel betona göre daha düşük olduğu gösterilmiştir. Geri kazanılan agreganın su emmesi, elde edildiği betonun mukavemeti arttıkça artar ve maksimum agregaya boyutu arttıkça azalır.
[23]	Bidabadi ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada 10 geri dönüştürülmüş agregaya betonunu ve 1 kontrol grubu üretilmiş ve test edilmiştir. Bu deney gruplarının taze ve sertleşmiş özelliklerine bakılmış ve sonuç olarak ince agregaların %30 seviyesinde değiştirilmesinin, betonun taze yoğunluk, işlenebilirlik ve basınç dayanımı gibi beklenen ortak taze ve sertleşmiş beton özelliklerinde kayda değer büyüklükte bir olumsuz etkisinin olmadığını ve dolayısıyla bu karışım tasarımının optimum olarak seçilebileceğini söylemiştir.
[26-27]	Farklı ikame seviyelerinde GKA içeren üç tip geri kazanılmış agregalı betonun (GKAB) kesme davranışını incelemiştir. Küp basınç mukavemeti, yarmada çekme mukavemeti, kesme mukavemeti, tepe kesme gerilmesi, kesme gerilmesi-gerinim eğrileri ve kesme modülü dahil olmak üzere mekanik parametrelerini test etmek için, tek tip derinlik ve değişen genişliğe sahip altmış küp numune ve otuz kırış numunesi tasarlamışlardır. Ayrıca bu parametrelerin geri dönüştürülmüş kaba agregaya türünden ve geri dönüştürülmüş kaba agregaya ikame seviyesinden nasıl etkilendiğini analiz edilmiştir. Bu çalışmaya göre GKAB dayanımının geleneksel betona göre biraz daha düşük olduğu ve geri dönüştürülmüş iri agregaya ikame seviyesinin artmasıyla azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca GKAB'nin kesme mukavemeti ve yarma gerilme mukavemeti aynı eğilime sahiptir. Tüm GKA değiştirme oranlarında GKAB'nin kesme mukavemeti geleneksel betondan düşüktür, ancak düşük GKA değiştirme oranında GKAB kesme mukavemeti geleneksel betondan biraz daha yüksektir.

Tablo 2.1. (Devamı)

[28-29]	Kimyasal katkının GKAB'nin taze haldeki betonun çökme, sıcaklık, yoğunluk ve hava içeriği ile sertleşmiş haldeki betonun basınç dayanımı ve geçirimsizliğini incelemiş ve kimyasal katkı eklendiğinde GKAB'nin artan bir basınç mukavemeti ve azaltılmış bir GKA geçirgenliği gibi birçok özelliğinin iyileştiğini göstermiştir
[31]	Demirel vd. tarafından yapılan çalışmada, 30 MPa dayanıma sahip olduğu bilinen İYA'ları iri ve ince agregalar olarak ayrıştırarak belirli oranlarda beton karışımına ikame edip 25 MPa dayanıma sahip GDAB üretilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca bu çalışmada uçucu kül (UK) ve süper akışkanlaştırıcı (SA) kullanılmış, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları, elastisite modülleri ve taze betonun çökme değerleri belirlenmiştir. Bu çalışma sonucunda, İYA'ların GDA olarak kullanılabilmesi, UK kullanılan beton numunelerinde işlenebilirliği arttırmak amacıyla SA kullanımının faydalı olacağı ve iri agregalarla elde edilen GDAB'lerin basınç dayanımının daha yüksek olduğu belirtilmiştir
[30-39]	GDA'nın beton içerisinde kullanılabilirliği ve sürdürülebilirliğini araştıran birçok çalışma bulunmaktadır ve bu çalışmalar sonucunda GDA miktar arttıkça basınç ve çekme mukavemetinin düştüğü görülmeye rağmen yapısal ve yapısal olmayan betonlarda kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır.
[38]	Köroğlu vd. tarafından yapılan çalışmada, 10 MPa dayanıma sahip olduğu bilinen beton atıkları öğüterek %0, %50, %100 oranlarında ikame edip kullanılabilirliği araştırılmıştır ve taşıyıcı olmayan betonlarda kullanılabilmesini ortaya koymuştur.
[39]	Qin Li ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada üç farklı geri dönüştürülmüş agregalar beton ve normal agregalar ile üretilen dört grup betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisini araştırmak için aynı laboratuvar koşullarında test edilmiştir. Bu geri dönüştürülmüş agregaların betonun ortalama değer, standart sapma ve değişim katsayısı dâhil olmak üzere basınç dayanımının istatistiksel parametreleri üzerindeki etkisi ayrıntılı olarak incelenmiştir. Buna ek olarak, uygun normal dağılım modeli, GKA betonlarının normal dağılım modelinin olasılık dağılımı için uygunluğunu doğrulamak için Monte-Carlo simülasyon tekniği uygulanmıştır. GKA betonunun, betonun basınç dayanımının değişkenliği ve olasılık dağılımı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı özetlenmektedir.
[40]	Tiznobaik vd. tarafından yapılan çalışmada GKA ile inşa edilen kaldırım taşlarının uzun vadeli basınç dayanımı sonuçlarını sürdürülebilirlik kapsamında incelemiştir.
[41]	Zaidi vd. tarafından yapılan çalışmada, GKA boyutunun basınç dayanımı üzerindeki etkileri tartışılmıştır ve 28 günlük dayanımın NA betonla benzer sonuçlar gösterdiği görülmüştür.
[42]	Tam ve arkadaşları, İYA'lardan elde edilen agreganın kalitesinin geri dönüştürülmüş agregalar beton üzerindeki etkisi regresyon analizi yaparak araştırmıştır. Bu çalışmada İYA'lardan elde edilen beton numunelerinin özellikleri ile geri dönüştürülmüş agregalar ve geri dönüştürülmüş agregalar beton arasında korelasyonların olduğu açıktır. Bu numunelerin düşük kalitesinin, GKA ve GKAB kalitesini düşürebildiği gösterilmiştir.

Tablo 2.1. (Devamı)

[43]	Corinaldesi vd., moloz geri dönüşüm tesisinden geri dönüştürülmüş agregalar ile ince ve kaba agregaların tamamen değiştirilmesiyle beton numuneleri elde edilmiş ve uçucu kül ve silis dumanı ekleyerek basınç dayanımı ve elastisite modülü, çekme ve yarma mukavemeti gibi fiziksel ve mekanik özellikleri incelenmiştir.
[44]	Farklı beton sınıfları kullanılarak üretilen GKAB'nın basınç dayanımı, yoğunluk ve ultrases özellikleri incelenmiştir. Bu çalışma sonucunda, GKA miktarının artmasının betonun dayanımı ve birim hacim ağırlığı üzerinde olumsuz etkiye sahip olduğu tespit edilmiştir.
[45]	Pandurangan vd. yapmış olduğu çalışmada GKA kalitesini iyileştirmek için asitle işlem, ısıtma işlemi, mekanik işlem vb. gibi çeşitli yöntemlerin etkisini karşılaştırmış doğal agrega, işlenmemiş geri dönüştürülmüş agrega, asitle işlenmiş geri dönüştürülmüş agrega, mekanik ve termal yöntemler kullanılarak on beş adet numune kullanmış ve bu agregaların fiziksel, mekanik özellikleri, basınç dayanımları belirlenmiş ve optimum sonuçları bulunmuştur.
[46]	Casuccio yapmış olduğu çalışmada, farklı basınç dayanım seviyelerine sahip üç seri beton üzerinde çalışmaktadır. Her seri, doğal kırma taş ile hazırlanmış bir referans beton ve normal dayanımlı ve yüksek dayanımlı betonun kırılması ile iki farklı GKA'dan oluşmaktadır. Daha sonra bu agregalarla elde edilen betonların eğilme testleri ve standart silindirlerde tek eksenli kırma testleri yapılmıştır. Ayrıca kırık agrega miktarını belirlemek için kırılma mekaniği incelenmiştir. GKAB, doğal agrega ile elde edilen betonla karşılaştırıldığında, daha düşük mukavemet (%1-15), daha düşük elastisite modülü (%13-18) ve kırılma enerjisinde (%27-45) olduğu görülmüştür.
[47]	Farklı ikame oranlarında ince GKA kullanılarak karbonatlaşma süresi, elastisite modülü, basınç, çekme, eğilme mukavemetleri gibi özellikleri incelenmiştir. Bu çalışmada bağlayıcı olarak yüksek mukavemetli çürüf çimentosu kullanılmıştır. %25 ve %50 ikame edilen betonların basınç dayanımı sırayla %5 ve %13 oranında düşmüştür.
[48]	GKA özelliklerinin iyileştirilmesi için iki aşamalı karıştırma yöntemi kullanılmıştır. Böylece, 28 Günlük Basınç dayanımı, farklı yüzde değiştirme oranlarında %21,19'a kadar artırıldı. GKA'daki çatlakları ve gözenekleri doldurarak daha güçlü bir ara yüzey geçiş fazı geliştirdi
[49]	GKA özelliklerinin iyileştirilmesi için portland çimentosu yerine %10 oranında silika dumanı kullanılmıştır. Böylece geleneksel betona göre daha iyi basınç dayanımı ve kompaktlık sağlanmıştır. Karbonatlaşmaya karşı daha az direnç göstermiştir.
[50]	GKA özelliklerinin iyileştirilmesi için çift karıştırma yöntemi kullanılmış ve bunun sonucunda, normal karıştırmaya göre %12,6'ya kadar artan basınç dayanımı elde edildi. Ayrıca klorür penetrasyon derinliği %22,7'ye düşürüldü, karbonatlaşma derinliği %12,3'e kadar çıktı.

Tablo 2.1. (Devamı)

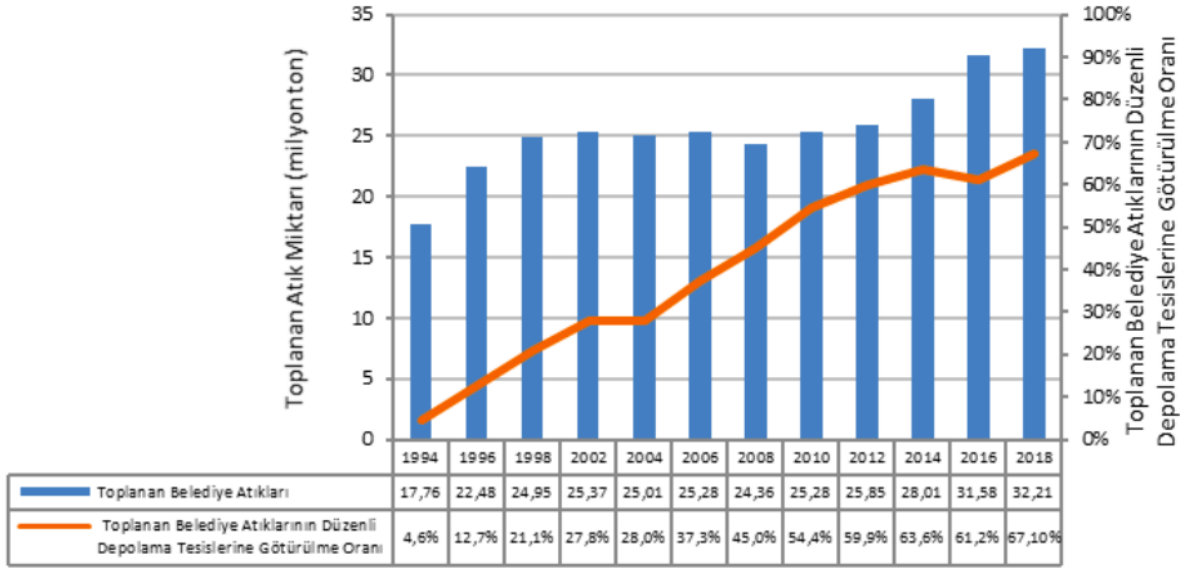
[51]	NA ile ince GKA farklı oranlarda ikame edildi. Optimum değiştirme değeri (%) 30 olduğu ortaya çıkmıştır. Ayrıca GKA ikame oranı arttıķça basınç dayanımı etkilenmedi, aşınma direnci arttı. Bunlara ek olarak, yarma çekme mukavemeti ve elastisite modülü azaldığı görülmüştür.
[52]	GKAB'nin çökme kaybı genel olarak geleneksel betonunkinden daha yüksektir, yani işlenebilirliği daha düşüktür.
[53]	Beton karışımlarındaki GKA ikame yüzdesi arttıķça hem eğilme mukavemeti hem de çekme yarma mukavemeti azalmıştır. İkame oranı %100 olduğunda, eğilme mukavemeti %5,8, çekme yarma mukavemeti %22,2 azalmıştır.
[54]	GKAB'nin donma direnci genellikle geleneksel betonunkinden daha düşüktür, bu da GKAB'yi sıklıkla donma-çözülme döngülerinin yaşandığı bir iklimdeki uygulamalar için elverişsiz olduğunu göstermektedir.

2.1. Geri Kazanılmış Agreganın Tarihçesi

Geri kazanılmış agregaların beton imalatında kullanımı üzerine yapılan çalışmalar 1945'e dayanmaktadır. Hansen yapmış olduğu çalışmada, 1945'ten 1985'e kadar geri kazanılmış beton agregaları ve geri kazanılmış agregalı beton üzerine yapılan çalışmaları derlemiştir [55]. Ancak, İYA'ların geri kazanımı ve geri kazanılmış malzemelerin yeniden kullanımı, II. Dünya Savaşı ile birlikte doğal kaynak sıkıntıları nedeniyle önem kazanmıştır. İlk olarak, Almanya'da İYA atıkları kullanarak beton üretimi gerçekteşmiştir [56]. Daha sonra GKA kullanımı ve özellikleri ile ilgili kapsamlı çalışmalar 1980'ler itibariyle yoğunlaşmıştır [56]. 1990'lı yıllarda ise Avrupa'da çevreyi korumak ve enerji tasarrufu sağlamak amacıyla GKA kullanımı hız kazanmıştır [56]. Türkiye'de ise 1999 depremi sonrası İYA'ların denize dökülmesi nedeniyle GKA kullanımı pek yaygınlaşmamakla birlikte, kentsel dönüşüm projeleriyle İYA'ların artması GKA kullanımı için yapılan çalışmaları artırmıştır [56].

İYA, dünyanın birçok ülkesinde en büyük paya sahip olan katı atıklarıdır. Bunlara ek olarak, her yıl uçucu kül, cüruf ve kireçtaşı tozu gibi büyük miktarlarda endüstriyel ve madencilik yan ürünleri üretilmektedir. Endüstriden gelen bu büyük miktardaki enkaz veya yan ürün malzemeleri, alçak döşeme alanları için geri dolgu malzemesi veya boş araziler için yasadışı olarak boşaltma malzemesi olarak kullanılmaktadır ve bunların miktarı zamanla artmaktadır. Tüm bunlar, düzenli depolama alanlarının giderek azalmasına, faydalı arazilerin çöplük haline gelmesine, son yıllarda arazi fiyatlarının artmasına ve çöp sahalarında çöp maliyetlerinin oldukça artmasına neden olmuştur. Ülkemizde de Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre Şekil 2.2'de görüldüğü gibi belediyelerden toplanan atık miktarı ve bu atıkların düzenli depolama alanlarında götürülme

oranları verilmiştir. Şekil 2.2’den de anlaşılacağı gibi belediyelerden toplana atık miktarı her geçen yıl artmaktadır. Bu durum, ülkemizdeki atıklar geri kazanılmadan düzenli depo alanlarına gönderilmesi ya da bertaraf edilmesi hem sınırlı kaynaklarımızın tükenmesi hem de tüketilen enerji bakımından büyük kaynak kayıplarına sebebiyet vermektedir.

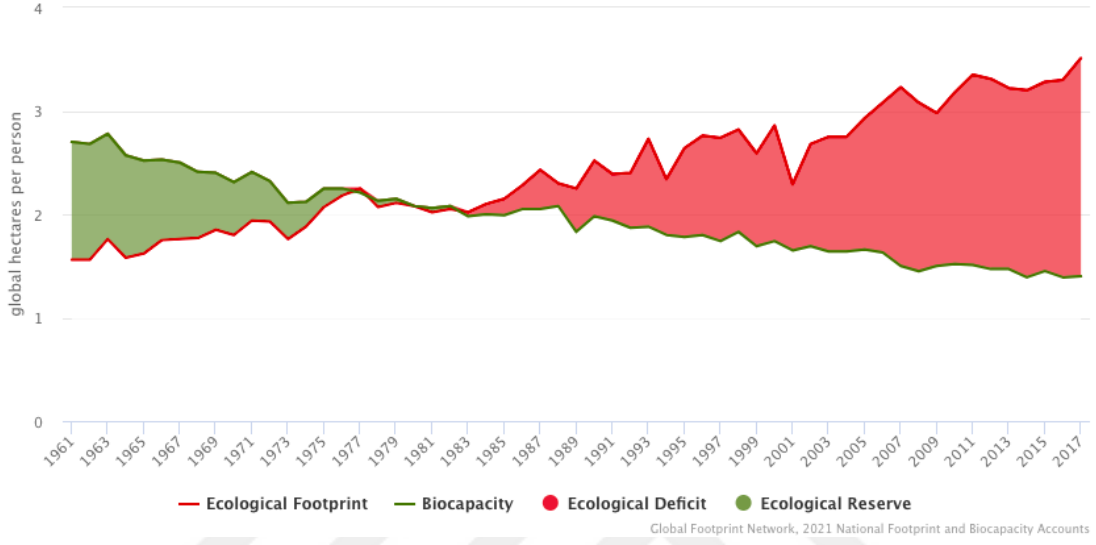


Şekil 2.2. Yıllara Göre Toplanan Belediye Atık Miktarı Ve Düzenli Depolama Oranı [57]

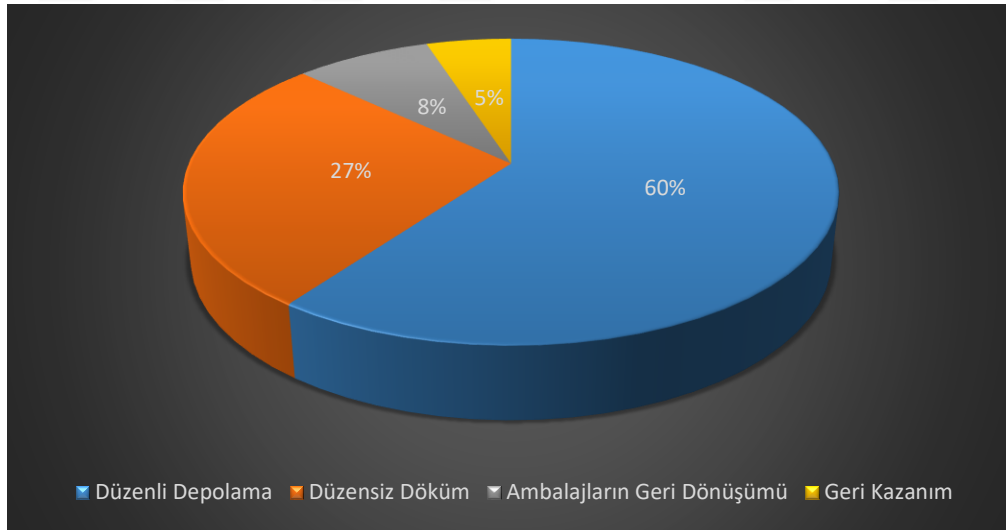
Şekil 2.3’de ülkemizin ekolojik ayak izinin 1981 yılı itibariyle biyokapasiteyi aştığını ve ülkemizin kaynaklarının sürdürülebilirliği açısından tehlikede olduğu anlaşılmaktadır. Ekolojik ayak izi, üretilen atıkların bertaraf edilmesi için ya da tüketilen kaynakların yeniden üretilmesi için gerekli olan verimli toprak ve su alanlarıdır. Biyokapasite ise bir coğrafi bölgenin yenilenebilir doğal kaynakları üretme kapasitesinin göstergesidir. Şekil 2.3’de ülkemizdeki ekolojik ayak izinin her geçen gün arttığını ve 1981 yılından itibaren ülkemizin biyokapasitesinin üzerine çıktığı görülmektedir. Başka bir deyişle, ülkemizin kaynaklarını tüketme hızımız yenileme hızından daha fazla olduğu ve sınırlı olan kaynaklarımızı tükettiğimizi ve sürdürülebilir olmadığını göstermektedir.

Ülkemizdeki düzenli depolama alanlarının giderek artması, depolama olarak kullanılan arazilerin değerlendirilememesi ve çöplük haline gelmesi atık yönetimi konusunda atık yönetimi konusunu zorunlu hale getirmiştir. Sürdürülebilir kalkınma ilkeleri kapsamında, doğal kaynaklarımızın ve ekosistemlerin korunup geliştirilmesi için 2016-2023 yıllarını kapsayan Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (UAYP) hazırlanmıştır. UAYP, ülkemizin atık yönetimi konusundaki günümüzden başlayarak 2023 yılına kadar mevcut olan ve yapılması planlanan faaliyetleri ve yatırımları hakkında bilgi vermektedir [58]. Bu plana göre 2016 yılına ait belediye

atıklarının geri kazanım yöntemlerinde göre dağılımı (%) Şekil 2.4'de verilmiştir. Buna göre, atıkların %60'ının düzenli depolama alanlarına gönderildiği ve sadece %5'inin yeniden kullanıma kazandırıldığı görülmektedir. Bu durum ülkemizdeki atık yönetiminin yeteri kadar yapılmadığı ve ülke ekonomisine kazandırılmasında eksik kaldığını göstermektedir.



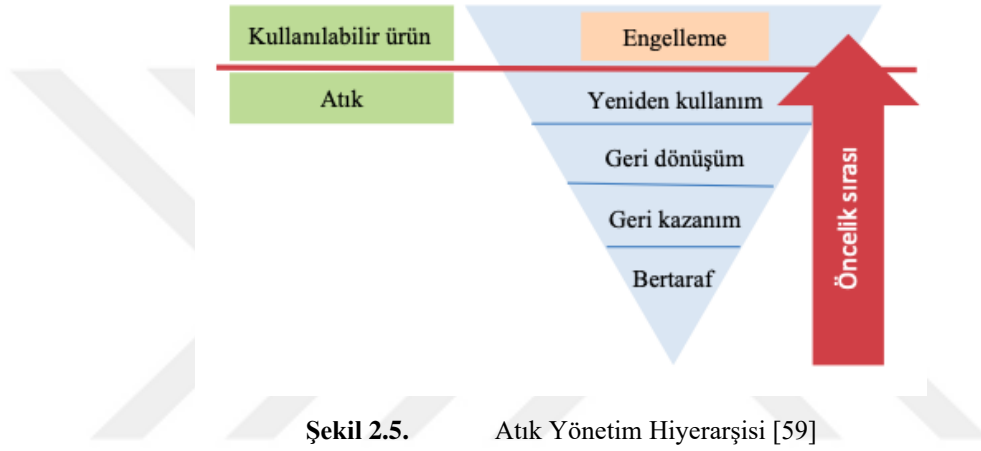
Şekil 2.3. Türkiye'nin 1961-2017 yılları arası Ekolojik Ayak izi ve Biyokapasitesi [57]



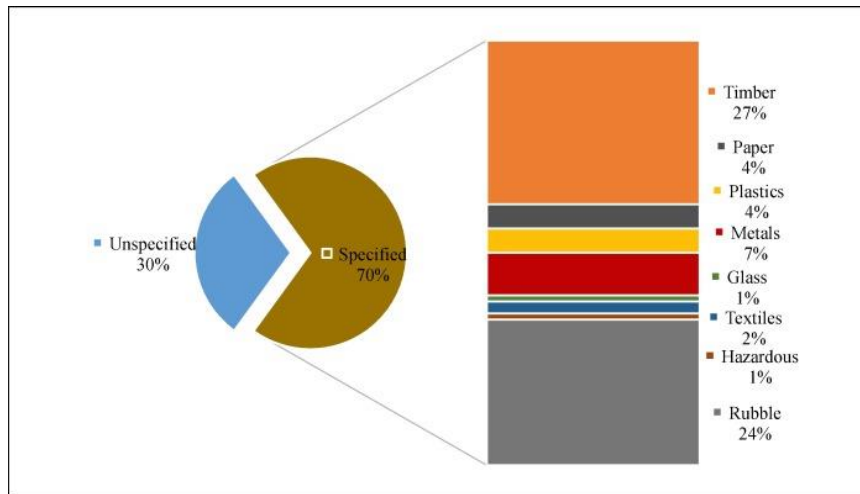
Şekil 2.4. UAYP'e Göre 2016 Yılı Belediye Atıklarının Geri Kazanım Yöntemlerinde göre Dağılımı

2.2. Geri Kazanılmış Agreganın Üretilmesi ve Geri Kazanılması

Atık yönetimi hiyerarşisi, atık yönetimi kararlarını yönlendirmek ve sıralamak için tasarlanmış kavramsal bir çerçevedir. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi öncelikli olarak atık oluşumunu engellemeye çalışır. Daha sonra oluşan atıkların yeniden kullanılmasına, geri dönüşüm ve kazanımına önem vermektedir ve son olarak son ihtimal olarak atığın bertaraf edilmesi gerektiğini belirtmektedir [53].



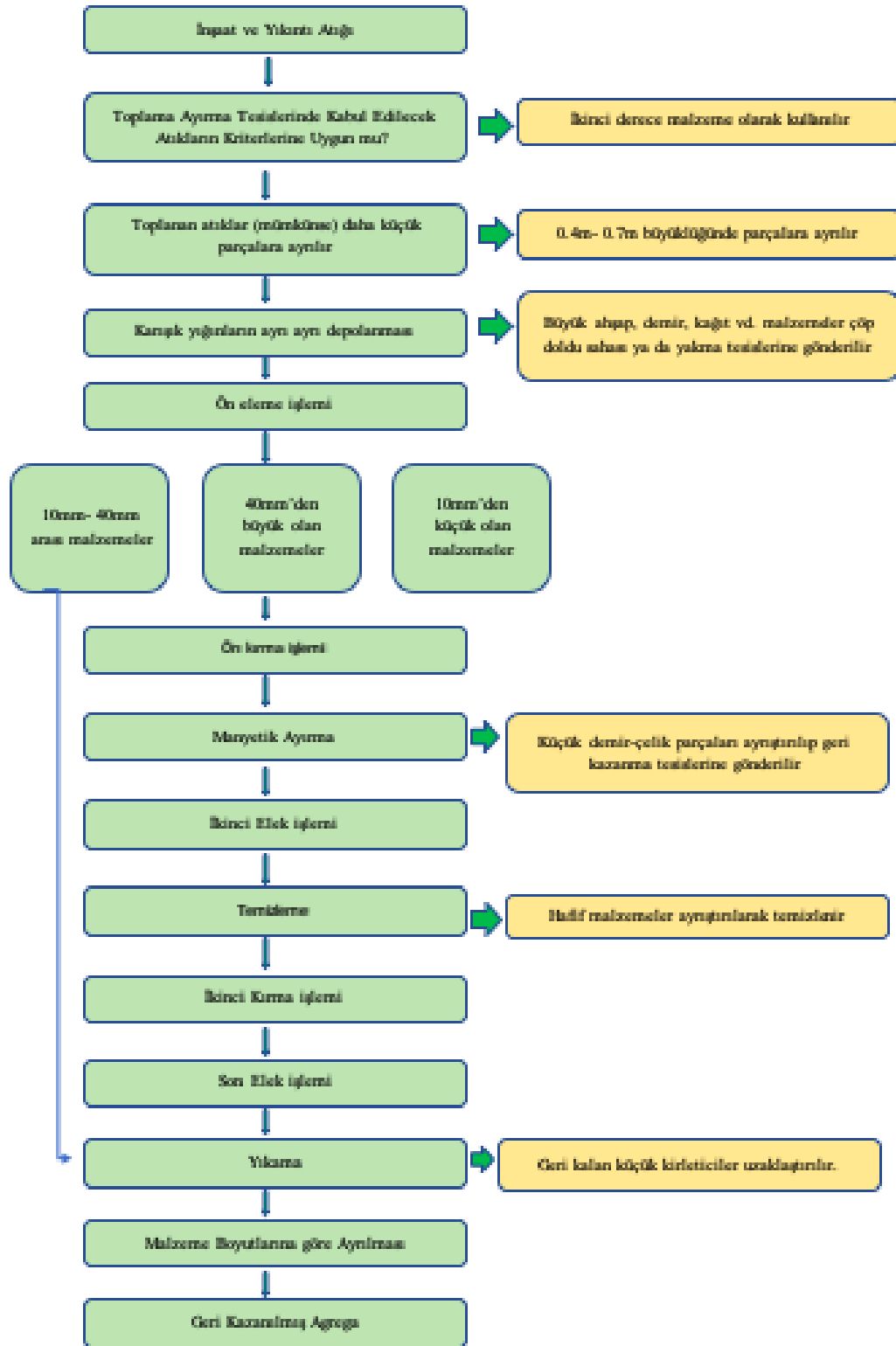
Geri kazanılmış agregalar sırayla kırılma, elenme, kirleticilerin çıkarılması ve sınıflandırılması aşamalarından geçerek üretilmektedir. Şekil 2.6’da görüldüğü gibi GKA agregaların %30’u herhangi bir sınıflandırma içine girmiyorken, %70’i sınıflandırılabilir. Sınıflandırılanlar içinde %27 ile ahşap en büyük paya sahipken %24 ile moloz onu takip etmektedir.



Şekil 2.6. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Birleşenleri [60]

Kırma işlemi, birincil ve ikincil olarak çeneli kırıcı ve darbeli kırıcı gibi sıkıştırılmalı tip ve darbeli tip kırıcıların bir kombinasyonu kullanılarak gerçekleştirilir. Şekil 2.7’de görüldüğü gibi geri dönüşüm tesislerine getirilen İYA, önce bir ön elemeden geçer ve teknik şartnameye uygun olup olmadığı kontrol edilir. Teknik şartnameye uygun olmayanlar ikinci derece malzeme olarak kullanılır. Daha sonra toplanan atıklar 0.4m-0.7m büyüklüğündeki parçalara ayrılır. Karışık bir yığın halinde toplanan atıklar ön eleme işleminden geçer ve büyük ahşap, demir vb. malzemeler çöp dolum sahalarına ya da yakma tesislerine gönderilir. Boyutları 10mm-40mm arasında olan atıklar direkt yıkama işlemine tabi tutulurken 40mm’den büyük olan malzemeler bir kırma işleminden geçmektedir. Daha sonra ayrılan agregalar, 40 mm altındaysa manyetik ayırıcıdan geçer ve kirleticilerden arındırılır. Son olarak da agrega büyüklüklerine göre sınıflandırılır.





Şekil 2.7. Geri Kazanılma Agregaların Üretim Aşamaları

2.3. Geri Kazanılmış Agregaların Sınıflandırılması ve Standardizasyonu

Beton üretiminde GKA kullanımını düzenlemek için kullanılan ilk ve en basit yaklaşımlardan biri, belirli fiziksel özellikleri sağlamak ve geleneksel betona benzer bir performans sergilemesini sağlamak için beton içerisinde kullanılan GKA miktarını belirleyen RILEM standardı olmuştur. Bu standarda göre duvar molozlarından elde edilen Tip I, beton molozlarından elde edilen Tip II, %80 NA ve %20 GKA kullanılarak elde edilen Tip III olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. RILEM'e göre geri kazanılmış agrega ile elde edilen betonlar, Tip II sınıfında yer almaktadır.

Birçok ülke tarafından, betonda geri kazanılmış, agrega (GKA) kullanımını teşvik etmek ve bu sayede İYA'ların azalması için standartlar yayınlanmıştır. Bu standartlar farklı parametreleri değerlendiriyor olsa da ana parametreler Tablo 2.2'de görüldüğü gibi belirlenmiş ve listelenmiştir.

Çoğu şartname, geri dönüştürülmüş agregaları bileşimlerine göre sınıflandırır ve her birinin kendi tanımı vardır. Sonuç olarak, tüm özellikleri karşılaştırmak amacıyla standart bir isimlendirme önerilmiştir.

- (a) GKA (geri dönüştürülmüş beton agregaları)
- (b) MRA (karışık beton ve duvar geri dönüştürülmüş agregalar, takozlar)
- (c) RMA (geri dönüştürülmüş duvar agregaları).

Her ülkede uygulanan şartnameler ve bu şartnamelerin kullanılmasını kabul ettiği GKA birleşenleri yüzde olarak verilmiştir. Bu birleşenler geri kazanılmış agrega ve doğal agrega, organik bileşenler, kirleticiler, hafif malzemeler ve dolgu malzemeler vb. sınıflara ayrılmaktadır.

Tablo 2.2'de görüldüğü gibi ülkelere göre teknik şartnamelerin sınıflandırılan malzemelere göre izin verilen birleşenlerin yüzdesi verilmiştir. Örneğin Brezilya'ya ait şartnamede, GKA için % >90 oranında GKA ve NA, %7 oranında dolgu malzemesi, %3 kirletici, %2 organik malzeme kullanılmasına izin verilmiştir. Diğer ülkelerin şartnameleri de Tablo 2.2'de verilmiştir.

Türkiye'de ise geri kazanılmış agregalarla ilgili standart TS EN 206-1'dir. Bu şartnameye göre birleşenlerin oranı ayrı ayrı verilmemiştir bu nedenle Tablo 2.2'da verilmemiştir. TS EN 206-1'a göre tane boyutu bilinmeyen GKA, toplam agreganın %5'inden fazla kullanılamamaktadır. Eğer kullanılan GKA'nın boyutu standartlarda yer alan ince ve iri agrega boyutu içerisindeyse ve biliniyorsa %5'den fazla kullanılabilir [61].

Tablo 2.2. Geri Kazanılmış Agrega ile İlgili Bazı Ülkelerin Teknik Şartnamesindeki Şartlar [62]

Teknik Şartname	Sınıflandırma	Birleşenler (%)					
		GKA+NA	RMA	Organik	Kirleticiler	Hafif Malzeme	Dolgu
Brezilya	GKA	>90	-	2	3	-	7
	MRA	<90	-	2	3	-	10
Almanya	GKA	>90	<10	0.1	1*	2	-
	GKA	>70	<30	0.1	1*, 2 ^h	2	-
	RMA	<20	>80	-	1*	-	-
	MRA	>80	-	-	-	-	-
Hong Kong	GKA	<100	-	-	1	0.5	4
Çin	GKA	-	-	-	1	-	1
	GKA	-	-	-	1	-	2
	GKA	-	-	-	1	-	3
Japon	GKA	-	2 ^e	-	-	-	1(k),7(i)
Kore	GKA	-	-	1 (i)	-	-	-
RILEM	RMA	-	<100	1	5	1	3
	GKA	<100	-	0.5	1	0.5	2
	GKA + NA	<20	<10	0.5	1	0.5	2
Birleşik K.	GKA	-	<5	-	5*	0.5	5
	RA	-	-	-	10*	1	3
Hollanda	GKA	>90	-	0.1	1*	0.1	-
	RMA	-	<50	1	1*	-	-
Portekiz	GKA	>90	<10	0.2	-	1	-
	GKA	>70	<30	0.5	-	1	-
	MRA	>90	-	2	-	1	-
Belçika	GKA	>90	<10	0.5	0.5*	-	-
	MRA	>40	>10	0.5	1*	-	-
	RMA	<40	>60	0.5	1*, 1 ⁺	-	-
Avustralya	GKA	-	-	1	1*, 2.5 ⁺	-	-
	MRA	-	<30	2	1*	1	1
Norveç	GKA	>94	<5	0.1	1 ⁺	-	-
	MRA	>90	0.5	-	1	-	-
İspanya	GKA	-	<5	-	-	-	-
İsviçre	GKA	<100	-	-	-	-	-
	MRA	<100	-	-	-	-	-
Danimarka	GKA(test edilmiş)	>95	-	-	-	-	-
	GKA(test edilmemiş)	>95	-	-	-	-	-
	MRA	>95	-	-	-	-	-

x* asfalt dahil değildir

(k) kalın agrega boyutunu ifade eder

(i) ince agrega boyutunu ifade eder

x⁺ asfalt ve hafif malzeme dahil değildir

2.4. Geri Kazanılmış Agreganın Özellikleri

Literatürde bulunan mevcut deneysel verilere bakılarak, geri kazanılmış beton agregasının başlıca özellikleri bu bölümde yer almaktadır. GKA'ların yüzeyinde orijinal betonun parçalanmasından sonra kalan belirli bir miktar harç ve çimento hamuru bulunur [6]. GKA'ların yüzeyine yapışmış olan betonun işlenebilirliğini ve geçirimsizliğini azaltan bu harç, doğal agregaya ile arasındaki farkı oluşturan temel etkidir GKA, doğal agregaya ile karşılaştırıldığında;

- Daha yüksek su emilimine,
- Daha düşük kütle yoğunluğuna,
- Daha düşük özgül ağırlığa ,
- Daha yüksek gözenekliliğe,
- Mekanik ve kimyasal etkilere karşı daha düşük direnç.
- Bina yıkımı sırasında betonun toprakla karıştırılması durumunda artan miktarda organik kirliliğe [3] sahiptir.

GKA ile üretilen betonların özelliklerine bakıldığında, geleneksel betonla karşılaştırıldığında;

- %50'ye kadar artan kuruma büzülmesi [6,62],
- %50'ye kadar artan sünme [6,62],
- %50'ye kadar artan su emme [6,63,64],
- %25'e kadar azalan basınç dayanımı [6,63,65],
- %10'a kadar azaltılmış yarma ve eğilme gerilme mukavemeti [6,63,65],
- %45'e kadar azaltılmış elastisite modülü [6,63],
- Donma direncinde azalma meydana gelir [6,63].

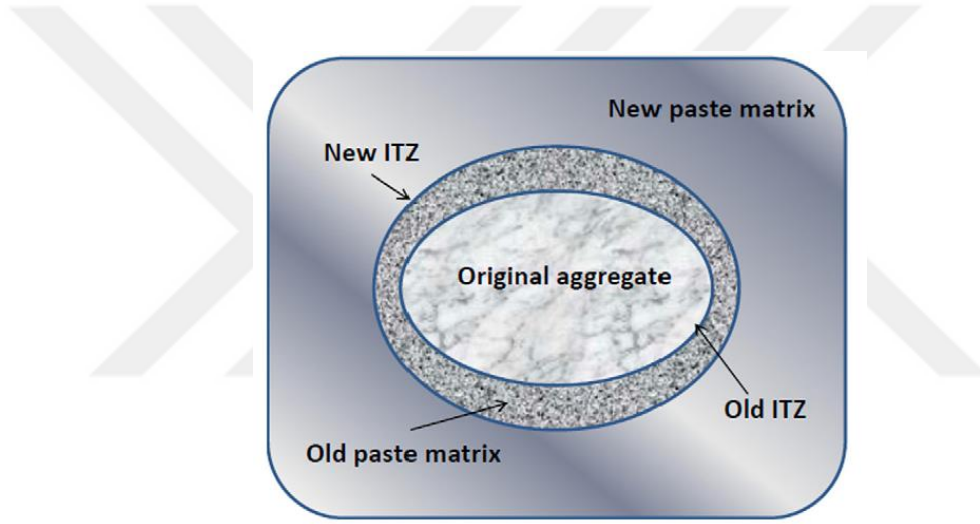
Geleneksel betonla karşılaştırıldığında, GKAB'nin performansının düştüğü görülmektedir. Bu performans kaybı, daha fazla çimento kullanılarak telafi edilebilir. Fakat, GKA kullanarak İYA'ların çevreye olan zararını azaltırken diğer yandan daha fazla çimento kullanmak çevreye zarar vermekte ve çevre dostu bir çözüm olmamaktadır.

Karbonatlaşma derinliği, yarma ve eğilme gerilme mukavemeti, elektriksel direnç, donma-çözülme etkisi, basınç dayanımı, sülfat ve asit atağı gibi durabilite ve dayanım özellikleri yüksek miktarda GKA kullanımı ile negatif yönde etkilendiği yapılan çalışmalar tarafından ortaya konmuştur [66]. Buna bağlı olarak yüksek miktarda GKA ilave edilen uygulamalar azaltılmıştır.

Literatürde bulunan mevcut deneysel verilere bakıldığında, GKA'ların çoğunlukla 0-4 mm ince, 4-22 mm iri agregaya olarak ele alındığı görülmektedir.

GKA, agregaya fazı, harç fazı ve eski ve yeni ara yüzey fazlarından oluşmaktadır. Ara yüzey geçiş fazının betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilediği gösterilmiştir. Ara yüzey geçiş fazı genellikle zincirin en zayıf halkası ve betonda dayanım sınırlayıcı fazdır. Ara yüzey geçiş fazının

varlığı nedeniyle beton, iki bileşenden herhangi birinin (agrega ve harç matrisi) mukavemetinden önemli ölçüde daha düşüktür. Betonda, ara yüzey geçiş bölgesi (ITZ) iki bileşen arasında bir köprü görevi görür: harç matrisi ve iri agrega parçacıkları. Tek tek bileşenler yüksek sertlikte olsa bile, kırık köprüler, yani ara yüzey geçiş fazındaki gerilim transferine izin vermeyen boşluklar ve mikro çatlaklar nedeniyle betonun sertliği düşük olabilir. Bu nedenle betonun dayanım ve durabilitesi değerlendirilirken ara yüzey geçiş bölgesi dikkate alınmalıdır. Özellikle geri dönüştürülmüş agregalı betonda, geri dönüştürülmüş agregalı betonun kesit görünümü olan normal agregalı betondan daha fazla ara yüzey geçiş fazı vardır. Şekil 2.8’de görüldüğü gibi, orijinal agrega ile yapışkan harç (eski ITZ) arasındaki ara yüzey geçiş bölgesini ve yapışkan harç ile yeni harç matrisi (yeni ITZ) arasındaki ara yüzey geçiş fazı vardır.. Normal agregalı beton ise, normal agrega ile harç matrisi arasında sadece bir tür ara yüzey geçiş fazına sahiptir [67].

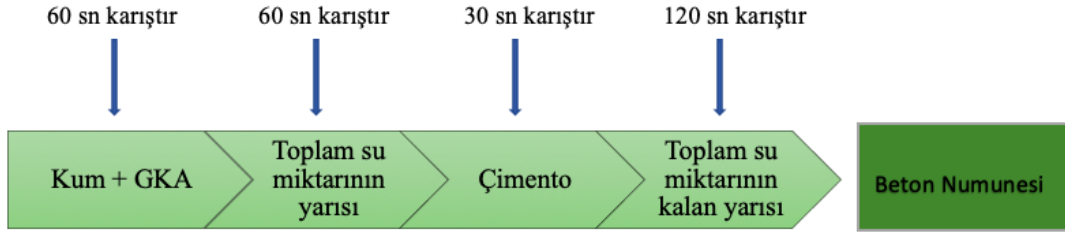


Şekil 2.8. Geri Kazanılmış Agregalı Betonda Eski ve Yeni Ara yüzlerin Şematik Diyagramı

Ara yüzey geçiş bölgelerindeki mikro çatlakları önlemek ve yapısını iyileştirmek amacıyla, Tam vd. GKA’yı işlemek için iki aşamalı bir karıştırma yaklaşımı kullanılmasını önermiştir. Bu öneriye göre, Şekil 2.9’de görüldüğü gibi karıştırılarak GKA üzerinde çimento harcı tabakası oluşturulmuş ve ITZ’nin mikro yapısını iyileştirilebileceği savunulmuştur. Bu amaçla geliştirilmiş karıştırma yöntemleri Şekil 2.10, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12’de verilmiştir. Bu yöntemlerin GKA’nın performansı üzerinde etkili bir yöntem olduğu birçok çalışma tarafından gösterilmiştir.

GKA agregaları NA ile karşılaştırıldığında yüksek su emilimine sahiptir [66]. Bu durumun nedeni GKA’nın yüksek gözenekliliğe sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Yüksek su emilimi hem taze betonun hem de sertleşmiş betonun özelliklerini negatif yönde etkilemektedir. Bu negatif etkiyi ortadan kaldırmak için GKA betona farklı şekillerde karıştırılır. Şekil 2.9’da görüldüğü gibi, GKA’ların yüksek su emilimini karşılamak için gerekli olandan daha fazla su ilave edilir. Beton karışımına katılacak olan toplam su miktarının yarısı çimento eklenmeden eklenip 60 sn karıştırılır.

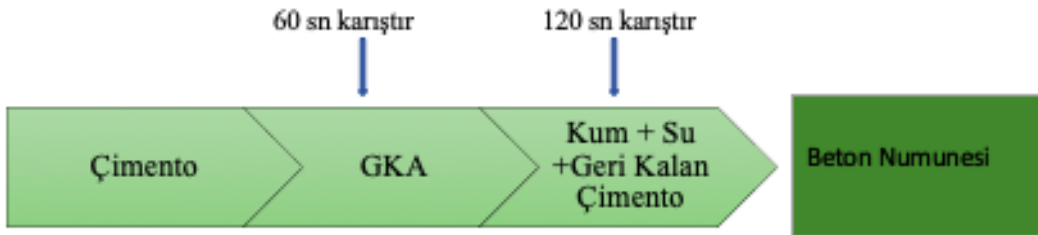
Daha sonra çimento eklenir ve toplam su miktarının diğer yarısı eklenir ve böylece GKA'nın yüksek su emilimini karşılanmış olmaktadır. Şekil 2.10, Şekil 2.11 ve Şekil 2.12'de ise karışıma eklenmeden önce GKA'lar belirli bir süre suya doyurulduktan sonra karışıma eklenir [73]. Bunlara ek olarak kür süresinin artırılması da porositenin olumsuz etkilerini kayda değer şekilde azalttığı çalışmalar tarafından ortaya konmuştur [66-74].



Şekil 2.9. İki Aşamalı Karıştırma Yöntemi



Şekil 2.10. Modifiye Edilmiş İki Aşamalı Karıştırma Yöntemi



Şekil 2.11. Modifiye Edilmiş İki Aşamalı Karıştırma Yöntemi 2



Şekil 2.12. Kum Zarfı Karıştırma Yöntemi

2.5. Geri Kazanılmış Agreganın Kullanılmasındaki Avantajlar ve Dezavantajlar

Geri kazanılmış agrega kullanımı beraberinde birçok avantajı beraber getirmektedir. Bunlar Şekil 2.13’de maddeler halinde özetlenmiştir. GKA kullanımının en önemli avantajı, doğal kaynaklarımıza olan talebi azaltmasıdır. Bir diğer avantajı, düzenli depolama alanlarına götürülen İYA’lar daha küçük parçacıklar halinde ezilirken büyük miktarda karbondioksit emilir. Bu da atmosferdeki CO₂ miktarını azaltır. Bunlara ek olarak, GKA’ların kullanılmasıyla hem düzenli depolama alanlarının kullanımı azalır hem de CO₂ gibi sera gazı üretimi azalır. Bunlara ek olarak yeni depolama alanlarına olan ihtiyacı azaltır ve dolayısıyla daha fazla maliyet tasarrufu sağlar. Geri dönüşüm sektörü daha fazla istihdam olanağı yaratır.



Şekil 2.13. Geri Kazanılmış Agregaların Kullanımının Avantajları

İnşaat alanlarından veya yıkım işlerinden kaynaklanan atık malzemeler, inşaat yan ürünleri olarak adlandırılır. Özellikleri ve büyük oranda bulunabilirlikleri nedeniyle bir dizi uygulamada kullanılabilirler. Ancak, Şekil 2.14’de yer aldığı gibi, yeniden kullanıma engel olabilecek birkaç nokta vardır. Geri dönüştürülmüş ürünlerin arz ve talebi dengeli değildir ve azdır. Her ne kadar arz artar ve genişler, ancak talep geri dönüştürülmüş ürünlerin üretimini takip edememektedir. Bunlara ek olarak, İYA’ların geri dönüşüm fabrikalarına gönderilmesi ile maliyet artmaktadır. Bu konudaki mali teşvikler yetersiz kalmaktadır. Ayrıca, üretilen GKA’ların kalitesinin teknik şartnamelere uyması gerekmektedir. Bu sınırlayıcı şartnameler ve üretilen agregaların düşük olması geniş kapsamda kullanılmasının önündeki engellerdendir.



Şekil 2.14. Geri Kazanılmış Agreganın Daha Geniş Kapsamda Kullanılmasının Önündeki Engeller

3. MATERYAL VE METOT

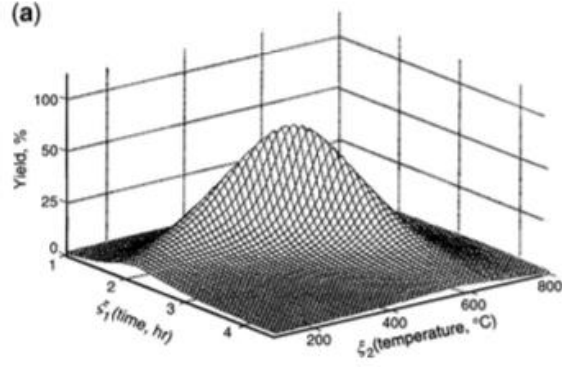
Literatürde yer alan geri kazanılmış agrega ile elde edilen betonların karışım oranları ve basınç dayanımı ile ilgili veriler bu çalışma kapsamında derlenmiş ve EK-1 kısmında verilmiştir. EK-1’de yer alan veriler Design Expert programı kullanılarak Tepki Yüzeyi Metodu ile analiz edilmiştir.

3.1. Tepki Yüzeyi Metodu

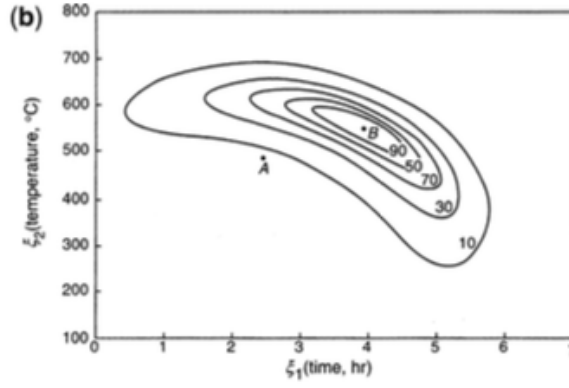
Tepki yüzeyi metodu (TYM), bir problem ya da süreç ele alınırken bu problemi etkileyen bir veya daha fazla parametreyi göz önünde bulundurarak bu parametrelerin yanıt ile aralarındaki ilişkiyi inceleyen istatistiksel ve matematiksel bir analiz yöntemidir. Bu metot, problemlerin ya da süreçlerin modellenmesine, analiz edilmesine, geliştirilmesine, iyileştirilmesi ve optimize edilmesine olanak sağlar.

TYM, ilk olarak kimya sektöründeki ürünlerin üretim aşamalarının iyileştirilmesi için ve kimyasal reaksiyonları optimize etmek için Box ve Wilson tarafından 1951’de geliştirilmiştir. Başlangıçta kimyasal ürünlerin özelliklerinin sıcaklık, basınç, bileşenlerin oranı gibi birçok faktör ile ilişkisini ortaya koyan bu metot, daha sonra bir veya daha fazla nicel faktörün düzeylerinden etkilenen herhangi bir yanıtı modellemek veya optimize etmek için kullanılabileceğini ortaya çıkarmıştır.

TYM’e göre girdi parametreleri bağımsız değişken, çıktı parametreleri yanıt olarak adlandırılmaktadır. Eğer TYM’de tek bir bağımsız değişken ile yanıt arasındaki ilişki inceleniyorsa matematiksel bir denklem tepki eğrisi ile eğer birden fazla bir parametre ile yanıt arasındaki ilişki inceleniyorsa bir tepki yüzeyi ile ifade edilmektedir. Örneğin, Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de, bir kimyasal reaksiyonun verimi (y) ile reaksiyon süresi (ξ_1) ve reaksiyon sıcaklığı (ξ_2) arasındaki ilişkiyi grafiksel olarak gösterilmektedir. Şekil 3.1’de görüldüğü gibi ξ_1 ve ξ_2 ’nin her değeri için karşılık gelen bir y değeri ve bu y değerlerinin zaman-sıcaklık düzleminin üzerinde uzanan bir tepki yüzeyi olarak ifade edilmiştir. Şekil 3.2’de ise aynı y değerine sahip tüm noktaları birleştirilerek elde edilen tepki yüzey grafiğinin iki boyutlu gösterimi olan kontur grafiği şeklinde ifade edilmesi de mümkündür.



Şekil 3.1. Tepki Yüzeyi 3 Boyutlu Grafiği



Şekil 3.2. İki Boyutlu Kontur Grafiği

Tüm bu denklem ve yüzeylerin belirlenip parametrelerle tepki arasındaki ilişkilerin analiz edilmesi için en iyi yöntemlerden biri tepki yüzey metodudur. TYM, bu ilişkileri tanımlamak için kullanılacak bir grup matematiksel ve istatistiksel teknikten oluşur. TYM, bağımsız değişkenlerin tek başına veya kombinasyon halinde süreçler üzerindeki etkisini tanımlar ve bunun yanında TYM matematiksel bir model de üretir. Yanıt ve girdi arasındaki ilişki matematiksel olarak Denklem 3.1’de verilmiştir.

$$\eta = f(x_1, x_2, \dots, x_n) + \varepsilon \quad (3.1)$$

Denklem 3.1’de;

η = Yanıt,

f = Yanıtın bilinmeyen fonksiyonu,

x_1, x_2, \dots, x_n = Bağımsız değişkenler,

n = bağımsız değişkenlerin sayısı,

ε = istatistiksel hatayı göstermektedir. (Bu değer f tarafından açıklanmayan ölçüm hatası gibi diğer etkileri anlatmak için kullanılır.)

TYM, değişkenler ve bu değişkenler arasındaki karşılıklı ilişkiyi 2. Derece (kuadratik) ya da 3. Derece (kübik) polinomsal denklem olarak ifade edebilir.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_i + \sum_{i=1}^n \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’de β_0 model sabiti, β_i , β_{ij} , β_{ii} değişken katsayılar, x_i ve x_j kodlanmış bağımsız değişkendir. Y ise sistemin tepki değeridir.

3.2. Tepki Yüzeyi Metodu ile Geliştirilen Modeller

Bu modelde kullanılan değişkenler su/çimento (W/C) ve agrega/çimento (A/C)’dur. Bu değişkenler betonun dayanımı ve işlenebilirliği üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, değişkenlerin basınç dayanımı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir.

3.2.1. Birinci Model

Birinci modelde, toplam 59 veriye sahip bir TYM modeli oluşturulmuştur. Deneysel tasarım ve analiz için piyasada bulunan bir yazılım paketi (Design Expert) kullanılmıştır.

Birinci modele ait değişkenler ve varyasyonların değişim aralıkları Tablo 3.2’de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan değişkenlerin düşük değerleri -1, yüksek değerleri ise +1 olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda 0 olarak belirtilen değer ise düşük ve yüksek değerlerin aritmetik ortalamasıdır. Ayrıca yapılan analizlerde kullanılan karışım oranları Tablo 3.1’de verilmiştir.

Değişkenlerin etkilerini incelemek amacıyla matematiksel modeller geliştirilmiştir. Bu modeller geliştirilirken 28 günlük basınç dayanım değerleri kullanılmıştır

Tablo 3.1. Birinci Modelde Kullanılan Değişkenler ve Varyasyon Aralıkları

Semboller	Kodlar	Varyasyon Aralığı		
		-1	0	1
W/C	A	0,29	0,44	0,60
A/C	B	3,37	4,40	5,44

Tablo 3.2. Birinci Modelde Kullanılan Beton Karışım Değerleri

W/C	A/C	f_c (28 gün)	W/C	A/C	f_c (28 gün)	W/C	A/C	f_c (28 gün)
0,29	1998,2	108,03	0,5	1280	46,9	0,53	1710	28
0,29	1975,3	104,8	0,5	1280	46,4	0,53	1710	26
0,29	1937,2	108,51	0,5	1280	48,6	0,53	1710	28
0,29	1991,2	102,48	0,5	1280	46,2	0,53	1710	32
0,29	1957,7	103,1	0,5	1280	50,5	0,6	1607	23,2
0,29	1902,1	100,78	0,5	1280	42,5	0,6	1600	25,5
0,29	1984	104,28	0,5	1280	46,4	0,6	1633	25,1
0,45	1816	66,8	0,5	1280	47,5	0,6	1591	24,1
0,45	1809	62,4	0,5	1280	57,7	0,6	1649	25
0,45	1800	55,8	0,5	1280	47,4	0,53	1740	29
0,47	1861	51,1	0,5	1280	48,6	0,53	1710	28
0,47	1813	52,2	0,53	1710	27	0,53	1710	26
0,48	1764	52,9	0,53	1710	30	0,53	1710	30
0,47	1826	51,6	0,53	1710	31	0,53	1710	26
0,48	1791	51,6	0,53	1710	30	0,48	1761	47,7
0,45	1859	47,9	0,53	1710	31	0,47	1823	43,7
0,47	1811	49,8	0,53	1710	26	0,48	1788	47,1
0,48	1762	49,2	0,53	1710	25	0,5	1280	46,7
0,47	1824	47,8	0,53	1710	26	0,48	1789	46,7

3.2.2. İkinci Model

Bu modelde kullanılan değişkenler su/çimento (W/C) ve toplam GKA / ince agrega'dır. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, değişkenlerin basınç dayanımı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu değişkenlere ait değişim aralıkları Tablo 3.4'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan değişkenlerin düşük değerleri -1, yüksek değerleri ise +1 olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda 0 olarak belirtilen değer ise düşük ve yüksek değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

Tablo 3.3. İkinci Modelde Kullanılan Değişkenler ve Varyasyon Aralıkları

Semboller	Kodlar	-1	0	1
TGKA/ RGKA	A	3	8.35	13.7
W/C	B	0.29	0.44	0.60

Bu çalışmada, toplam 53 farklı çalışmaya ait verileri kapsayan bir TYM modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizlerde kullanılan karışım oranları Tablo 3.3'de verilmiştir.

Tablo 3.3. İkinci Modelde Kullanılan Beton Karışım Değerleri

TGKA/ RGKA	W/C	f_c (28 gün)	TGKA/ RGKA	W/C	f_c (28 gün)
13.7	0.53	27	3	0.5	46.44
10.9	0.53	30	3	0.5	46.93
10.9	0.53	32	3	0.5	48.88
6.45	0.35	38	3	0.5	48.61
13.7	0.53	26	10.9	0.53	32
13.7	0.53	25	10.9	0.53	33
13.7	0.53	26	10	0.4	29
13.7	0.53	28	10	0.35	31.1
13.7	0.53	25	10.9	0.53	30
13.7	0.53	26	10.9	0.53	32
13.7	0.53	26	10.9	0.53	32
13.7	0.53	28	10	0.4	30.7
13.7	0.53	26	10	0.4	37.1
7.72	0.45	34.18	10	0.5	29.5
7.72	0.45	32.69	10	0.4	35.1
10.9	0.53	33	10	0.5	28.8
4.08	0.45	40.8	10.9	0.53	31
4.08	0.45	39.2	10.9	0.53	30
7.72	0.45	35.84	3.8	0.55	37.2
7.72	0.45	33.95	10.9	0.53	32
7.72	0.45	33.02	10.9	0.53	34
3	0.5	46.87	3	0.5	46.72
3	0.5	47.16	4.08	0.55	40.9
3	0.5	48.51	4.08	0.53	41
4.08	0.51	40.5	4.08	0.47	38
4.08	0.47	40.3	4.08	0.53	40.1
4.08	0.49	41.2	4.08	0.49	41.2

3.2.3. Üçüncü Model

Bu modelde kullanılan değişkenler ince GKA'nın su emme değeri ve su/çimento (W/C)'dur. Geri kazanılmış agreganın su emme miktarının fazla olması nedeniyle bu değişkenler modelin tepki değişkeni olan betonun dayanımı üzerinde önemli etkiye sahiptir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda, değişkenlerin basınç dayanımı üzerindeki etkileri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu değişkenlere ait değişim aralıkları Tablo 3.4'de sunulmuştur. Çalışmada kullanılan değişkenlerin düşük değerleri -1, yüksek değerleri ise +1 olarak değerlendirilmektedir. Aynı zamanda 0 olarak belirtilen değer ise düşük ve yüksek değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

Bu çalışmada, toplam 57 farklı çalışmaya ait verileri kapsayan bir TYM modeli oluşturulmuştur. Yapılan analizlerde kullanılan karışım oranları Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. İkinci Modelde Kullanılan Beton Karışım Değerleri

Su Emme	W/C	f_c (28 gün)	Su Emme	W/C	f_c (28 gün)
3.74	0.29	108.03	7.4	0.5	46.9
3.74	0.29	104.8	5.1	0.5	46.4
3.74	0.29	108.51	6.25	0.5	48.6
4.9	0.29	102.48	0	0.5	46.2
4.9	0.29	103.1	7.4	0.5	50.5
4.9	0.29	100.78	5.1	0.5	42.5
5.91	0.29	104.28	6.25	0.5	46.4
3.52	0.45	66.8	0	0.5	47.5
3.52	0.45	62.4	7.4	0.5	57.7
3.52	0.45	55.8	5.1	0.5	47.4
0	0.47	51.1	6.25	0.5	48.6
0	0.47	52.2	6.2	0.53	27
0	0.48	52.9	6.2	0.53	30
0	0.47	51.6	6.2	0.53	31
0	0.48	51.6	6.2	0.53	30
5.1	0.45	47.9	6.2	0.53	31
5.1	0.47	49.8	6.2	0.53	26
5.1	0.48	49.2	6.2	0.53	25
5.1	0.47	47.8	6.2	0.53	26
5.1	0.48	46.7	6.2	0.53	29
5.1	0.48	47.7	6.2	0.53	28
5.1	0.47	43.7	4.08	0.51	40.5
5.1	0.48	47.1	4.08	0.47	40.3
0	0.5	46.7	4.08	0.47	38
4.08	0.49	41.2	4.08	0.53	40.1

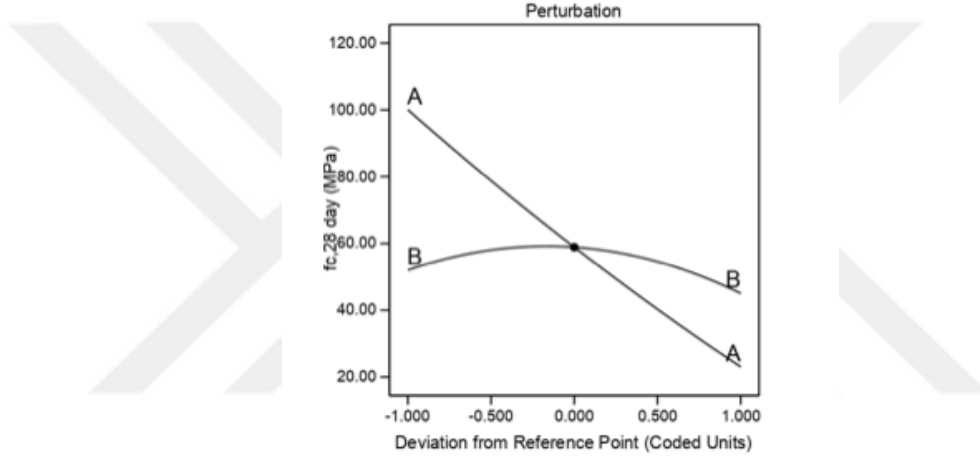
Tablo 3.4. Üçüncü Modelde Kullanılan Değişkenler ve Varyasyon Aralıkları

Semboller	Kodlar	Varyasyon Aralığı		
		-1	0	1
Su Emme (%)	A	3.52	5.49	7.4
W/C	B	0.29	0.44	0.60

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, GKA kullanılarak elde edilen betonların su/çimento, su emme oranı ve toplam agrega/ince agrega değişkenlerinin basınç dayanımı ile ilişkisi TYM kullanılarak incelenmiş ve bir model tasarlanmıştır. Bu modele göre elde edilen sonuçlar bu bölümde açıklanacaktır.

Geliştirilen modele ait değişkenlerin, yanıtlar üzerindeki etkilerini daha iyi açıklayabilmek için pertürbasyon eğrileri kullanılmaktadır. Geliştirilen birinci modele ait pertürbasyon eğrisi Şekil 4.1’de verilmiştir. Modele ait eğriler incelendiğinde W/C oranı arttıkça 28 günlük basınç dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda A/C oranı arttıkça f_c -28 gün değerlerinde artma meydana gelmektedir.



Şekil 4.1. Birinci Modele Ait Pertürbasyon Eğrisi

Modelde değişken olarak W/C ve A/C değerleri dikkate alınmıştır. Modelin yeterliliğini doğrulamak için temel olarak P değerleri ve F değerleri kullanılmaktadır. P değeri 0.0001’den küçük olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu değerleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Modele ait ANOVA sonuçları Tablo 3.3’de sunulmuştur.

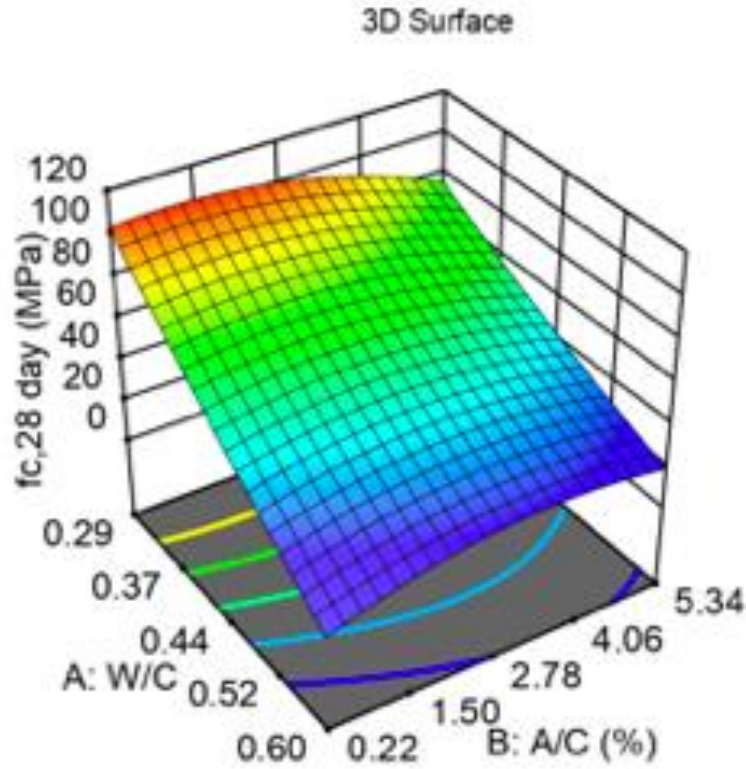
Tablo 4.1. Birinci Modele ait ANOVA Sonuçları

Yanıt	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
Model	30620.76	5	6124.15	230.39	< 0.0001
A (w/c)	8161.82	1	8161.82	307.04	< 0.0001
B (a/c)	61.12	1	61.12	2.3	0,1366
AB	167.87	1	167.87	6.32	0,0157
A²	37.9	1	37.9	1.43	0,2389
B²	345.5	1	345.5	13	0,0008

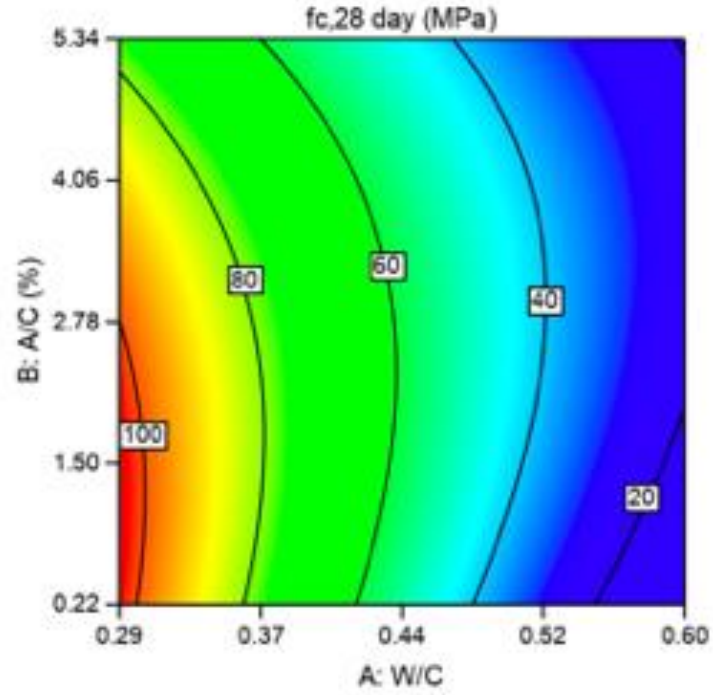
Modelin anlamlı ve değerli olduğu belirlendikten sonra, her değişkenin yanıtlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Bu modelin Adj R² değeri 0,959, pre R² değeri 0,9526 çıkmıştır. Her değişkenin önemi, analiz sonucunda elde edilen P değerine bağlıdır. Modellerde kullanılan değişkenler, P değerinin genellikle 0.05'in altında olup olmadığı dikkate alınarak belirlenmiştir. P değeri 0.05'in altında çıkarak anlamlı bir sonuç ortaya koymuştur. Ayrıca, 28 günlük basınç dayanımı için geliştirilen modele ait katsayılar kullanılarak Denklem 4.1 elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

$$f_c(28) = 214,27 - 417,36 * A - 3.848 * B + 25.365 * A * B + 110,54 * A^2 - 1.583 * B^2 \quad (4.1)$$

Modellere ait sonuçların en iyi şekilde görselleştirilmesi için ise üç boyutlu etki grafikleri kullanılmaktadır. 28 günlük basınç dayanımı için geliştirilen birinci modele ait iki ve üç boyutlu etki grafikleri Şekil 4.2'de verilmiştir. Şekil 4.2 incelendiğinde W/C arttıkça dayanım değerlerinin azaldığı görülmektedir. Aynı zamanda A/C oranı arttıkça 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin arttığı açıkça görülmektedir. Yine Şekil 4.3 incelendiğinde geliştirilen modele ait iki boyutlu etki grafiği ve değişkenlerin değişim aralıkları açıkça görülmektedir.

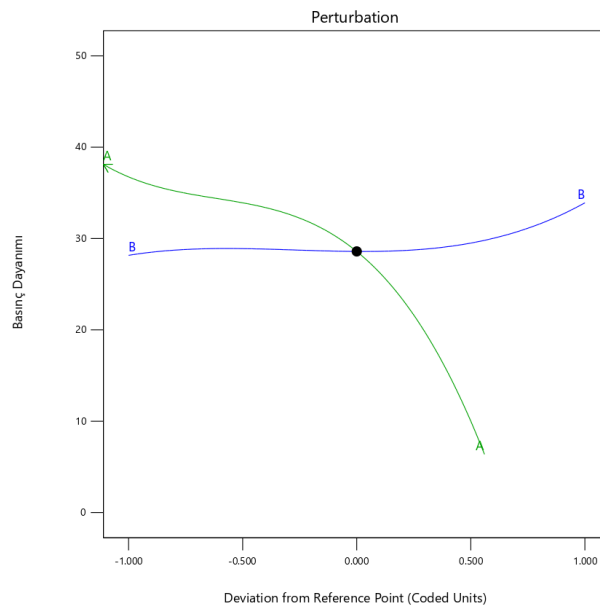


Şekil 4.2. Birinci Modele ait 3 Boyutlu Etki Grafiği



Şekil 4.3. Birinci Modele ait 2 Boyutlu Etki Grafiği

Geliştirilen ikinci modele ait pertürbasyon eğrisi Şekil 4.4’de verilmiştir. Modele ait eğriler incelendiğinde, TGKA/ RGKA değer azaldıkça, w/c oranının arttığını fakat bu artışın birinci modeldeki kadar belirgin olmadığı gözlemlenmektedir.



Şekil 4.4. İkinci Modele Ait Pertürbasyon Eğrisi

İkinci modelde değişken olarak W/C ve toplam GKA / ince agrega değerleri dikkate alınmıştır. Modelin yeterliliğini doğrulamak için temel olarak P değerleri ve F değerleri kullanılmaktadır. P değeri 0.0001'den küçük olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu değerleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Modele ait ANOVA sonuçları Tablo 3.5'de sunulmuştur.

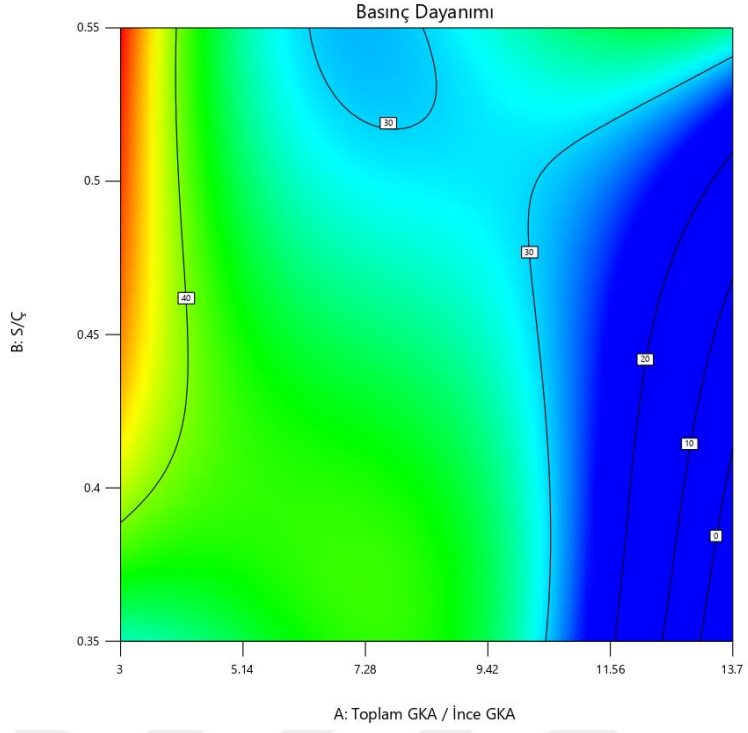
Tablo 4.2. İkinci Modele ait ANOVA Sonuçları

Yanıt	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
Model	2469.81	9	274.42	95.13	< 0.0001
A	11.37	1	11.37	3.94	0.0535
B	20.08	1	20.08	6.96	0.0116
AB	25.75	1	25.75	8.93	0.0046
A²	8.43	1	8.43	2.92	0.0946
B²	0.0591	1	0.0591	0.0205	0.8869
A²B	24.39	1	24.39	8.45	0.0057
AB²	4.89	1	4.89	1.70	0.1997
A³	119.92	1	119.92	41.57	< 0.0001
B³	4.10	1	4.10	1.42	0.2398

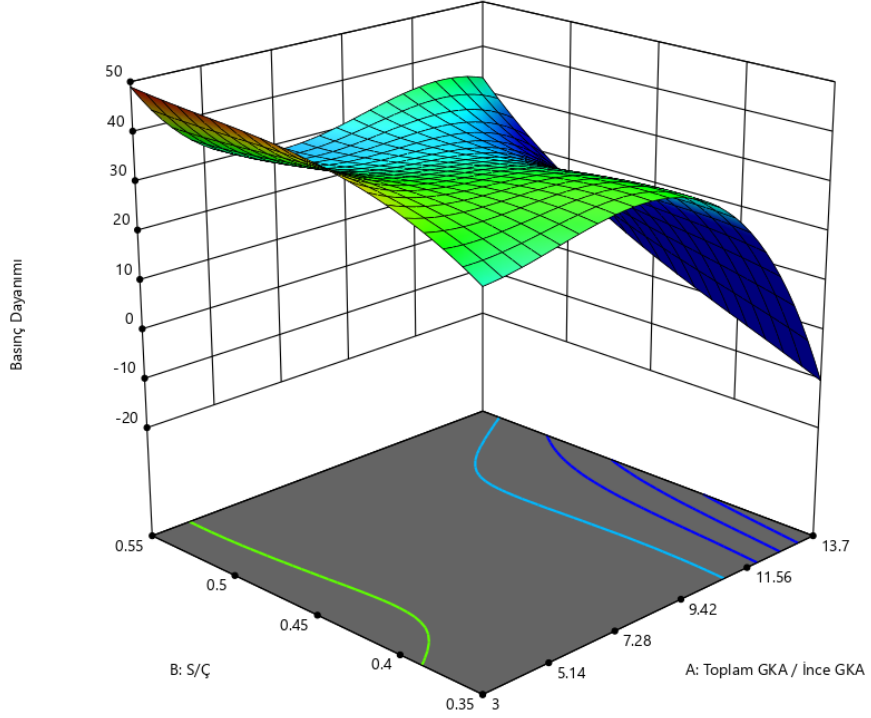
Modelin anlamlı ve değerli olduğu belirlendikten sonra, her değişkenin yanıtlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Tablo 3.5'e göre bu modelin F değeri 95.13'tür. Bu değer modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca modelin R² değeri 0,9522, Adj R² değeri 0,9422 çıkmıştır. Her değişkenin önemi, analiz sonucunda elde edilen P değerine bağlıdır. Modellerde kullanılan değişkenler, P değerinin genellikle 0.05'in altında olup olmadığı dikkate alınarak belirlenmiştir. P değeri 0.05'in altında çıkarak anlamlı bir sonuç ortaya koymuştur. Ayrıca, f_c-28 gün için geliştirilen modele ait katsayılar kullanılarak Denklem 4.2 elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

$$f_c(28) = 33.62 - 5.32 * A - 6.76 * B + 6.78 * A * B - 7.56 * A^2 + 0.1897 * B^2 + 18.72 * A^2B + 5.13 * AB^2 - 14.36 * A^3 + 3.02 * B^3 \quad (4.2)$$

Şekil 4.5 ve Şekil 4.6 incelendiğinde, TGKA/ RGKA ve W/C değişkenlerinin basınç dayanım üzerine etkisi iki ve üç boyutlu grafiklerle açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.5. İkinci Modele ait 3 Boyutlu Etki Grafiği



Şekil 4.6. İkinci Modele ait 2 Boyutlu Etki Grafiği

Üçüncü modelde değişken olarak ince GKA'nın su emme değeri ve su/çimento (W/C) değerleri dikkate alınmıştır. Modelin yeterliliğini doğrulamak için temel olarak P değerleri ve F değerleri kullanılmaktadır. P değeri 0.0001'den küçük olması modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Bu değerleri belirlemek için varyans analizi (ANOVA) yapılmıştır. Modele ait ANOVA sonuçları Tablo 3.7'de sunulmuştur.

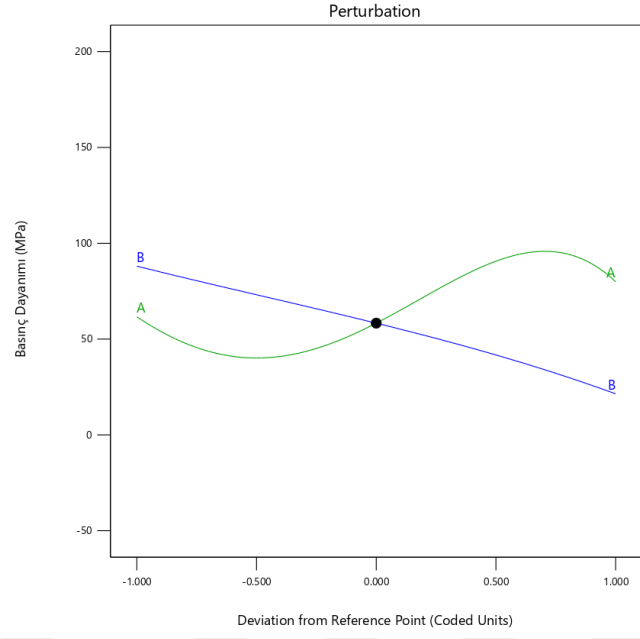
Modelin anlamlı ve değerli olduğu belirlendikten sonra, her değişkenin yanıtlar üzerindeki etkisini değerlendirmek için ANOVA analizi yapılmıştır. Tablo 3.7'e göre bu modelin F değeri 465.73'tür. Bu değer modelin anlamlı olduğunu göstermektedir. Ayrıca modelin R² değeri 0,9922, Adj R² değeri 0,9901 çıkmıştır. Her değişkenin önemi, analiz sonucunda elde edilen P değerine bağlıdır. Modellerde kullanılan değişkenler, P değerinin genellikle 0.05'in altında olup olmadığı dikkate alınarak belirlenmiştir. P değeri 0.05'in altında çıkarak anlamlı bir sonuç ortaya koymuştur. Ayrıca, f_c-28 gün için geliştirilen modele ait katsayılar kullanılarak Denklem 3.3 elde edilmiş ve aşağıda verilmiştir.

Tablo 4.3. Üçüncü Modele ait ANOVA Sonuçları

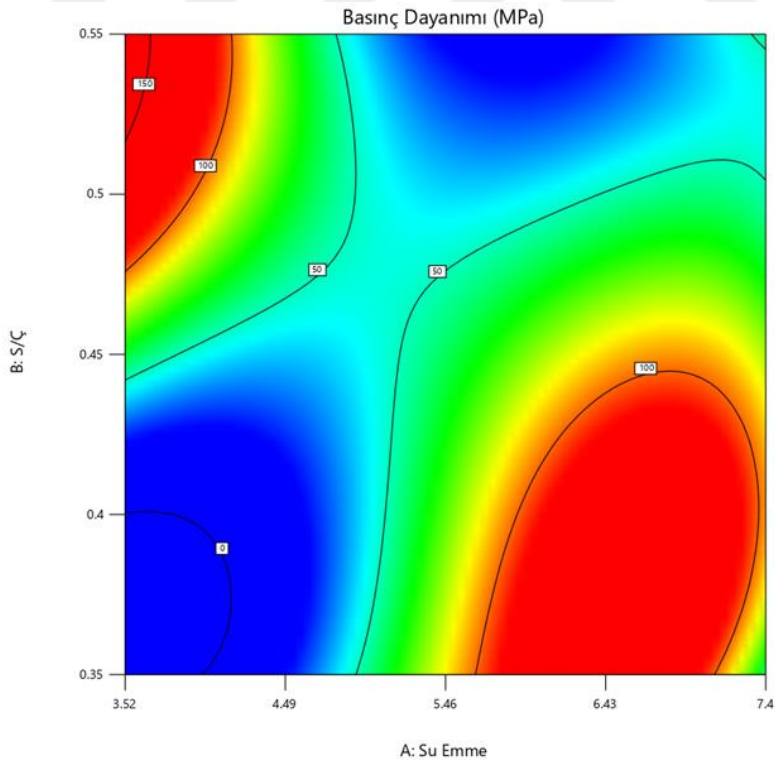
Yanıt	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	P-value
Model	32562.80	12	2713.57	465.73	< 0.0001
A	46.83	1	46.83	8.04	0.0069
B	26.19	1	26.19	4.50	0.0397
AB	33.12	1	33.12	5.68	0.0215
A²	101.51	1	101.51	17.42	0.0001
B²	6.91	1	6.91	1.19	0.2822
A²B	51.33	1	51.33	8.81	0.0048
AB²	50.58	1	50.58	8.68	0.0051
A³	57.55	1	57.55	9.88	0.0030
B³	0.5613	1	0.5613	0.0963	0.7577
A³B	54.94	1	54.94	9.43	0.0037
AB³	17.95	1	17.95	3.08	0.0862
A⁴	64.12	1	64.12	11	0.0018

$$f_c(28) = 58.33 + 64.30 * A - 30.80 * B - 146.50 * A * B + 33.59 * A^2 - 3.56 * B^2 + 75.72 * A^2B - 21.22 * AB^2 - 55.15 * A^3 - 2.52 * B^3 + 43.62 * A^3B + 57.76 * AB^3 - 21.10 * A^4 \quad (3.3)$$

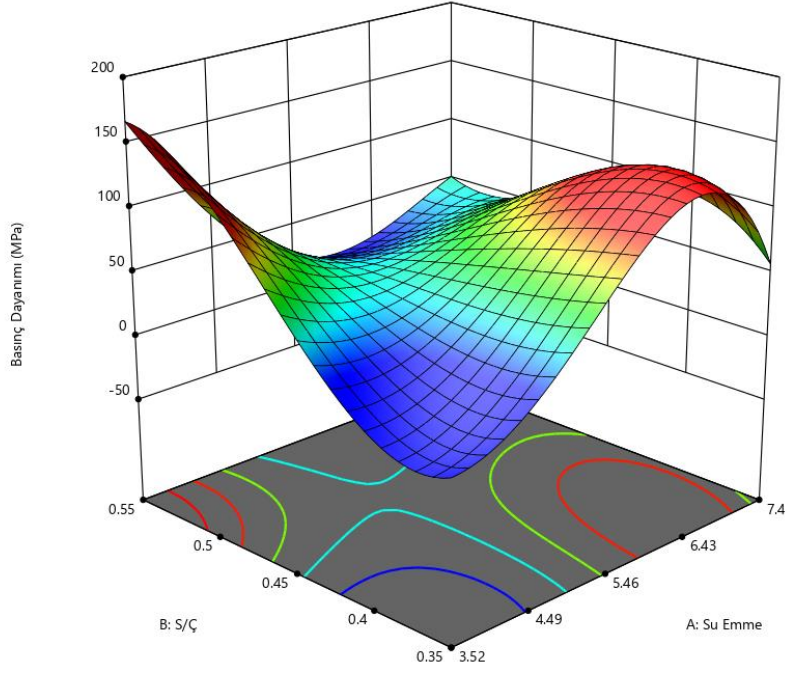
Geliştirilen üçüncü modele ait pertürbasyon eğrisi Şekil 4.7'de verilmiştir. Buna ek olarak, Şekil 4.8 ve Şekil 4.9 incelendiğinde, su emme ve W/C değişkenlerinin basınç dayanım üzerine etkisi iki ve üç boyutlu grafiklerle açık bir şekilde görülmektedir.



Şekil 4.7. Üçüncü Modele Ait Pertürbasyon Eğrisi



Şekil 4.8. Üçüncü Modele ait 2 Boyutlu Etki Grafiği



Şekil 4.9. Üçüncü Modele ait 3 Boyutlu Etki Grafiği

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında, literatürde yer alan geri kazanılmış agrega kullanılarak üretilen betonlar incelenmiştir. Literatür incelemesi sonucunda aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Betonun toplam karışım hacminin %70'ini oluşturan ve her geçen gün yıllık tüketimi artan agregalar, dünyadaki toplam katı atık üretiminin büyük bir bölümünü oluşturmaktadır. Bu katı atıkların düzenli depolanması için kullanılan arazi kullanımını azaltmak, yenilenemez doğal kaynakların kullanımını azaltmak için İYA kullanımı önem kazanmaktadır.
- Atık depolama alanlarına giden İYA'ların %90'ına kadarının geri dönüştürülebileceğini ve yeniden kullanılabilirliğini tahmin edilmektedir. Son yıllarda, İYA'ların kullanımı ve geri dönüşümü özellikle gelişmiş ülkelerde sosyoekonomik öncelik olarak ortaya çıkmıştır.
- Türkiye'de atıkların yeterince ekonomiye kazandırılmadığı literatür çalışması sonucunda bulunmuştur.
- Geri kazanılmış agreganın kullanımının yaygınlaşması için yeterli pratik matematiksel modellemelerin olmadığı görülmüştür.

Bu tezin öncelikli amacı, yapılan literatür araştırması sonucunda elde edilen veriler kullanılarak 28 günlük basınç dayanımını tahmin eden pratik matematiksel modellemeler tasarlamaktır. Bir diğer amacı ise, elde edilen veriler doğrultusunda basınç dayanımına etki eden değişkenlerin incelenmesi ve elde edilen modeller kullanılarak GKA kullanımının artması ve böylece İYA'ların artmasıyla meydana gelen çevresel ve ekonomik kaybı azaltılmasıdır. Bu amaçlar doğrultusunda, literatürde yer alan geri kazanılmış agrega ile elde edilen betonların karışım oranları derlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda, Tepki Yüzeyi Metodu (TYM) kullanarak üç model geliştirilmiştir.

Tepki Yüzey Metodu, yeni beton tasarımlarının geliştirilmesi, mevcut olan beton tasarımlarının iyileştirilmesi çalışmalarındaki sınırlı ekonomik imkânlar ve zaman alıcı laboratuvar çalışmaları bakımından ele alındığında beton teknolojisi uygulamalarında büyük bir öneme sahip olduğu görülmektedir. Deneysel tasarım tekniklerinden olan Tepki Yüzeyi Metodu sayesinde daha az deney yapılarak betonun taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etki eden parametrelerin daha hızlı ve güvenilir bir şekilde incelenmesine olanak vermiştir.

Geri kazanılmış agregalarla elde edilen betonlarla ilgili çalışmalar incelendiğinde farklı parametreler göz önünde bulundurularak dağınık bir şekilde bulunan veriler, bu tez çalışmasıyla TYM kullanılarak derlenip modellenmesi yapılmıştır.

İlk olarak, geri kazanılmış agregalarla elde edilen betonların basınç dayanımına etki eden faktörler belirlenmiştir. TYM ile elde edilen modellemelere etki eden faktörler sırasıyla W/C, A/C,

TGKA/ RGKA ve su emme olarak, tepki değeri ise 28 günlük basınç dayanımı olarak belirlenmiştir. 28 günlük günlük basınç dayanımını tahmin etmek için geliştirilen modellerde belirlilik katsayıları sırasıyla 0.95, 0.94, 0.99'dur. Geliştirilen modellemelerin geri kazanılmış agregaya kullanılarak üretilen betonların dayanım tahmininde başarılı sonuçlar verdiği görülmüş ve her bir etkinin yanıt üzerindeki etkisini tahmin etmede yüksek doğrulukta ve başarılı sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Geliştirilen birinci model, geleneksel betonun işlenebilirliği ve dayanımı üzerine etkili olan genel geçer değişkenler olan W/C ve A/C değişkenleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu model sonucunda, Denklem 4.1 kullanılarak 28 günlük basınç dayanım değerini başarılı bir şekilde tahmin edilmektedir.

İkinci modelde ise geri kazanılmış agregaların kullanım miktarını optimize edilmesini sağlayan bir model geliştirilmiştir. Bu modelde ise geri kazanılmış agreganın kullanımının basınç dayanımı üzerindeki etkisini anlamak için TGKA/RGKA ve W/C değişkenleri göz önünde bulundurulmuştur. Bu model sayesinde, beton tasarımında toplam geri kazanılmış agregaya miktarının ince agregaya kullanımına oranı ve su/çimento oranı bilinen bir beton tasarımının Denklem 4.2 kullanılarak 28 günlük basınç dayanım değeri başarılı bir şekilde tahmin edildiği görülmektedir.

Üçüncü modelde ise geri kazanılmış agregaların kullanılması ile elde edilen betonun işlenebilirliği üzerine etkisi olan su emme özelliği göz önünde bulundurulmuştur. Geri kazanılmış agregalarda özellikle ince agreganın yüksek gözenekliliğine bağlı olarak geleneksel betona oranla yüksek su emme oranı basınç dayanımı üzerinde oldukça olumsuz etki yapmaktadır. Bu nedenle üçüncü model ile su emme ile W/C parametrelerinin basınç dayanımı üzerine etkisi incelenmiş ve Denklem 4.3 kullanılarak 28 günlük basınç dayanım değeri başarılı bir şekilde tahmin edildiği görülmüştür.

Bu tez çalışmasında, literatürde yer alan farklı türdeki geri kazanılmış agregaya ile elde edilmiş betonların beton tasarım parametreleriyle elde edilen çok sayıda literatürde yer alan dağınık veri kümeleri kullanılmış ve TYM yardımıyla pratik ve yüksek doğruluklu karışım tasarımının elde edebilmenin mümkün olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma sayesinde geri kazanılmış agregalarının kullanılmasının yaygınlaştırılması amacıyla yapılan literatür çalışmalarına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. İlerleyen çalışmalarda geri kazanılmış agregaya ile elde edilmiş betonların beton tasarım parametreleri arasındaki etkileşim incelenebilir ve karşılaştırma yapılarak TYM'nin beton teknolojisi etkisi üzerine literatüre önemli bir katkı sunulabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] M. R. Ponnada and K. P. (2015). Construction and Demolition Waste Management – A Review, *International Journal of Advanced Science and Technology*, vol. 84, pp. 19–46, doi: 10.14257/ijast.2015.84.03.
- [2] F. López-Gayarre, P. Serna, A. Domingo-Cabo, M. A. Serrano-López, and C. López-Colina. (2009). Influence of recycled aggregate quality and proportioning criteria on recycled concrete properties, *Waste Management*, vol. 29, no. 12, pp. 3022–3028, doi: 10.1016/J.WASMAN.2009.07.010.
- [3] Öztürk M. (2003). İnşaat/Yıkıntı Atıklarının Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Accessed: Oct. 24, 2021. [Online]. Available: <https://www.google.com/search?q=İnşaat%2FYıkıntı+Atıklarının+Yönetimi%2C+Çevre+ve+Orman+Bakanlığı&oq=İnşaat%2FYıkıntı+Atıklarının+Yönetimi%2C+Çevre+ve+Orman+Bakanlığı&aqs=chrome..69i57j69i58.311j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8>
- [4] N. Kartam, N. Al-Mutairi, I. Al-Ghusain, and J. Al-Humoud. (2004). Environmental management of construction and demolition waste in Kuwait, *Waste Management*, vol. 24, no. 10, pp. 1049–1059, doi: 10.1016/J.WASMAN.2004.06.003.
- [5] L. Evangelista and J. de Brito. (2007). Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Cement and Concrete Composites*, vol. 29, no. 5, pp. 397–401, doi: 10.1016/J.CEMCONCOMP.2006.12.004.
- [6] M. Malešev, V. Radonjanin, and S. Marinković. (2010). Recycled concrete as aggregate for structural concrete production, *Sustainability*, vol. 2, no. 5, pp. 1204–1225, doi: 10.3390/SU2051204.
- [7] Türkiye Hazır Beton Birliği. (2020). Türkiye Hazır Beton Birliği Hazır Beton Sektör Raporu.
- [8] Z. Aktaş, Bina Yıkım Atıklarının Altyapı Projelerinde Değerlendirilmesi.
- [9] N. Negiz and Ö. Yalçın (2021). Türkiye’de Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Döngüsel Ekonomik Yaklaşım Çerçevesinde Değerlendirilmesi: Antalya Örneği, pp. 210–234,
- [10] Anadolu Ajansı, Kentsel dönüşüme 60,5 milyar lira harcandı. <https://www.aa.com.tr/tr/ekonomi/kentsel-donusume-60-5-milyar-lira-harcandi/2053866> (accessed Oct. 31, 2021).
- [11] F. Soleimani, M. McKay, C. S. W. Yang, K. E. Kurtis, R. DesRoches, and L. F. Kahn. (2016). Cyclic Testing and Assessment of Columns Containing Recycled Concrete Debris, *Structural Journal*, vol. 113, no. 5, pp. 1009–1020, Sep. doi: 10.14359/51689024.
- [12] S. Ba *et al.*, Mermer Tozunun Gazbeton Üretiminde Geri Dönüşüm Malzemesi Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması.
- [13] M. Oğuz. (2019). Geri Dönüştürülmüş Betonların Köpük Betonda Kullanılabilirliğinin Araştırılması.
- [14] B. Wang, L. Yan, Q. Fu, and B. Kasal. (2021). A Comprehensive Review on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 171. Elsevier B.V., doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105565.
- [15] TS 706 EN 12620 (2005) Türk Standardı- Beton Agregaları, no. 1, pp. 28–30.
- [16] C. Demirel and O. Şimşek (2017). Investigation Of Effects On Pressure Resistance Of Waste Concrete Using As A Recycling Aggregate In Concrete, pp. 1006–1010.
- [17] P. C. Yong and D. C. L. Teo. (2009) Utilisation of Recycled Aggregate as Coarse Aggregate in Concrete, *Journal of Civil Engineering, Science and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6
- [18] G. Andreu and E. Miren. (2014) Experimental analysis of properties of high performance recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 52, pp. 227–235, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2013.11.054.

- [19] M. Etxeberria, E. Vázquez, A. Marí, and M. Barra. (2017). Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete, *Cement and concrete research*, vol. 37, no. 5, pp. 735–742.
- [20] C. S. Poon, Z. H. Shui, and L. Lam. (2004). Effect of microstructure of ITZ on compressive strength of concrete prepared with recycled aggregates, *Construction and Building Materials*, vol. 18, no. 6, pp. 461–468 doi: 10.1016/j.conbuildmat.2004.03.005.
- [21] A. K. Padmini, K. Ramamurthy, and M. S. Mathews. (2009). Influence of parent concrete on the properties of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 2, pp. 829–836, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2008.03.006.
- [22] G. Durmuş. (2014). Geri Dönüşüm Agregalardan Üretilen Farklı Sınıflardaki Betonun Mühendislik Özelliklerinin Belirlenmesi
- [23] M. S. Bidabadi, M. Akbari, and O. Panahi. (2020). Optimum mix design of recycled concrete based on the fresh and hardened properties of concrete, *Journal of Building Engineering*, vol. 32, doi: 10.1016/j.jobe.2020.101483.
- [24] T. Ozbakkaloglu, A. Gholampour, and T. Xie. (2018). Mechanical and Durability Properties of Recycled Aggregate Concrete: Effect of Recycled Aggregate Properties and Content, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 30, no. 2, p. 04017275, 2018, doi: 10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002142.
- [25] B. Lei, H. Liu, Z. Yao, and Z. Tang. (2019). Experimental study on the compressive strength, damping and interfacial transition zone properties of modified recycled aggregate concrete, *Royal Society Open Science*, vol. 6, no. 12, doi: 10.1098/rsos.190813.
- [26] J. Sim and C. Park. (2011). Compressive strength and resistance to chloride ion penetration and carbonation of recycled aggregate concrete with varying amount of fly ash and fine recycled aggregate, *Waste Management*, vol. 31, no. 11, pp. 2352–2360, doi: 10.1016/j.wasman.2011.06.014.
- [27] S. M. Jian and B. Wu. (2021). Compressive behavior of compound concrete containing demolished concrete lumps and recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 272, no. xxxx, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.121624.
- [28] C. Medina, W. Zhu, T. Howind, M. I. Sánchez De Rojas, and M. Frías. (2014). Influence of mixed recycled aggregate on the physical-mechanical properties of recycled concrete, *Journal of Cleaner Production*, vol. 68, pp. 216–225, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.01.002.
- [29] M. Etxeberria, A. R. Marí, and E. Vázquez. (2007). Recycled aggregate concrete as structural material, *Materials and Structures/Materiaux et Constructions*, vol. 40, no. 5, pp. 529–541, doi: 10.1617/s11527-006-9161-5.
- [30] C. Thomas, J. Setién, J. A. Polanco, P. Alaejos, and M. Sánchez De Juan. (2013). Durability of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 40, pp. 1054–1065, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2012.11.106.
- [31] C. Demirel and O. Şimşek. (2014). Using C30 Class Waste Concrete As Recycling Aggregate in Concrete Production, *Selcuk University Journal of Engineering ,Science and Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 45–45, doi: 10.15317/scitech.201426892.
- [32] B. Liu, C. Feng, and Z. Deng. (2019). Shear behavior of three types of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 217, no. August, pp. 557–572, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2019.05.079.
- [33] M. Surya, K. R. Vvl, and P. Lakshmy. (2013). Recycled Aggregate Concrete for Transportation Infrastructure, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, vol. 104, no. m, pp. 1158–116, doi: 10.1016/j.sbspro.2013.11.212.

- [34] P. Matar and J. Barhoun. (2020). Effects of waterproofing admixture on the compressive strength and permeability of recycled aggregate concrete, *Journal of Building Engineering*, vol. 32, no. March, p. 101521, doi: 10.1016/j.job.2020.101521.
- [35] C. Demirel, K. Toklu, and O. Şimşek. (2015). Geri Dönüşüm Agregasının Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi, 2. *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu*, vol. 1, no. 1, pp. 42–47.
- [36] A. Köken, M. A. Köroğlu, and F. Yonar. (2008). Selçuk Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu Teknik-Online Dergi Cilt 7, Sayı:1-2008, pp. 86–97.
- [37] O. Ş. Can Demirel. (2008). Erken Yaşdaki Atık Betonların Geri Dönüşüm Agregası Olarak Beton Üretiminde Kullanılabilirliği ve Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, vol. 3, no. 1, pp. 226–235.
- [38] M. Alpaslan and K. Lu. (2008). Düşük Mukavetli Atık Betonların Beton Agregası Olarak Kullanılabilirliği, no. January 2021.
- [39] Q. Li and C. Zhang. (2017). A statistical study on the compressive strength of recycled aggregate concrete, *Chemical Engineering Transactions*, vol. 59, pp. 421–426, doi: 10.3303/CET1759071.
- [40] H. Ahmed, M. Tiznobaik, S. B. Huda, M. S. Islam, and M. S. Alam. (2020). Recycled aggregate concrete from large-scale production to sustainable field application, *Construction and Building Materials*, vol. 262, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2020.119979.
- [41] Rahman; Ismail Abdul. (2009). Assessment of Recycled Aggregate Concrete, *Modern applied science*, pp. 47–54.
- [42] V. W. Y. Tam, K. Wang, and C. M. Tam. (2008). Assessing relationships among properties of demolished concrete, recycled aggregate and recycled aggregate concrete using regression analysis, *Journal of Hazardous Materials*, vol. 152, no. 2, pp. 703–714, doi: 10.1016/J.JHAZMAT.2007.07.061.
- [43] V. Corinaldesi and G. Moriconi. (2009). Influence of mineral additions on the performance of 100% recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 8, pp. 2869–2876, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2009.02.004.
- [44] G. Durmuş, O. Şimşek, and M. Dayı. (2009). Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, vol. 24, no. 1, pp. 183–189.
- [45] K. Pandurangan, A. Dayanithy, and S. Om Prakash. (2016). Influence of treatment methods on the bond strength of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 120, pp. 212–221, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2016.05.093.
- [46] M. Casuccio, M. C. Torrijos, G. Giaccio, and R. Zerbino. (2008). Failure mechanism of recycled aggregate concrete, *Construction and Building Materials*, vol. 22, no. 7, pp. 1500–1506, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2007.03.032.
- [47] S. Y. Abate, K. il Song, J. K. Song, B. Y. Lee, and H. K. Kim. (2018). Internal curing effect of raw and carbonated recycled aggregate on the properties of high-strength slag-cement mortar, *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 64–71, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2018.01.035.
- [48] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, and C. M. Tam. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach,” *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 6, pp. 1195–1203, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2004.10.025.
- [49] M. Limbachiya, M. Seddik Meddah, and Y. Ouchagour. (2012). Performance of portland/silica fume cement concrete produced with recycled concrete aggregate, *undefined*, vol. 109, no. 1, pp. 91–100, doi: 10.14359/51683574.

- [50] N. Otsuki, S. Miyazato, and W. Yodsudjai. (2003). Influence of Recycled Aggregate on Interfacial Transition Zone, Strength, Chloride Penetration and Carbonation of Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 15, no. 5, pp. 443–451, doi: 10.1061/(ASCE)0899-1561(2003)15:5(443).
- [51] J. de Brito, L. Evangelista, and J. de Brito. (2007). Environmental life cycle assessment of concrete made with fine recycled concrete aggregates, *Portugal SB07 – Sustainable construction, Materials and Practices: Challenge of Industry for the New Millenium*, no. September, pp. 789–794, Accessed: Dec. 09, 2021. [Online]. Available: <https://repositorio.ipl.pt/handle/10400.21/891>
- [52] Y. H. Cho and S. H. Yeo. (2011). Application of recycled waste aggregate to lean concrete subbase in highway pavement,” <https://doi.org/10.1139/104-088>, vol. 31, no. 6, pp. 1101–1108, doi: 10.1139/L04-088.
- [53] M. C. S. Nepomuceno, R. A. S. Isidoro, and J. P. G. Catarino. (2018). Mechanical performance evaluation of concrete made with recycled ceramic coarse aggregates from industrial brick waste, *Construction and Building Materials*, vol. 165, pp. 284–294, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2018.01.052.
- [54] R. Zaharieva, F. Buyle-Bodin, and E. Wirquin. (2004). Frost resistance of recycled aggregate concrete, *Cement and Concrete Research*, vol. 34, no. 10, pp. 1927–1932, doi: 10.1016/j.cemconres.2004.02.025.
- [55] X. Li. (2008). Recycling and reuse of waste concrete in China. Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 53, no. 1–2, pp. 36–44, doi: 10.1016/j.resconrec.2008.09.006.
- [56] M. G. Altun. (2014). Geri Kazanılmış Agregat (Gka) İle Üretilen Betonların Mekanik Özelliklerinin Lif Kullanılarak İyileştirilmesi.
- [57] “Global Footprint Network.” <https://data.footprintnetwork.org/#/countryTrends?cn=223&type=BCpc,EFCpc> (accessed Dec. 09, 2021).
- [58] “Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023)” Accessed: Dec. 07, 2021. [Online]. Available: <https://yalova.csb.gov.tr/ulusal-atik-yonetimi-ve-eylem-plani-2016-2023-yayinlandi-haber-221261>
- [59] C. Buzkan, O. Erman. (2019). Yapısal Atıkların Geri Dönüşüm Sorunu ve Türkiye’deki Durumun Mevzuat Bakımından Değerlendirilmesi, *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, pp. 1–12, doi: 10.21324/dacd.570141.
- [60] A. Akhtar and A. K. Sarmah. (2018). Construction and demolition waste generation and properties of recycled aggregate concrete: A global perspective, *Journal of Cleaner Production*, vol. 186, pp. 262–281, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.085.
- [61] TS EN 206-1, (2000). Türk Standardı.
- [62] A. Domingo-Cabo, C. Lázaro, F. López-Gayarre, M. A. Serrano-López, P. Serna, and J. O. Castaño-Tabares, (2009). Creep and shrinkage of recycled aggregate concrete,” *Construction and Building Materials*, vol. 23, no. 7, pp. 2545–2553, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2009.02.018.
- [63] T. Hansen. (1992). Recycling of demolished concrete and masonry, Accessed: Dec. 19, 2021.
- [64] X. Li. (2008). Recycling and reuse of waste concrete in China. Part I. Material behaviour of recycled aggregate concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, vol. 53, no. 1–2, pp. 36–44, doi: 10.1016/J.RESCONREC.2008.09.006.
- [65] C. ; Yang, C. Hs, and A. F. Ashour. (2008). Influence of Type and Replacement Level of Recycled Aggregates on Concrete Properties, *ACI Materials Journal*, vol. 105, no. 3, pp. 289–296, Accessed: Dec. 19, 2021. [Online]. Available: <https://bradscholars.brad.ac.uk/handle/10454/7768>
- [66] N. Singh, P. Kumar. (2019). Reviewing the behaviour of high volume fly ash based self compacting concrete, *Elsevier*, Accessed: Dec. 19, 2021. [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710219306278>

- [67] W. Li, J. Xiao, Z. Sun, S. Kawashima, and S. P. Shah. (2012). Interfacial transition zones in recycled aggregate concrete with different mixing approaches,” *Construction and Building Materials*, vol. 35, pp. 1045–1055, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2012.06.022.
- [68] G. Bai, C. Zhu, C. Liu, and B. Liu. (2020). An evaluation of the recycled aggregate characteristics and the recycled aggregate concrete mechanical properties, *Construction and Building Materials*, vol. 240, p. 117978, doi: 10.1016/J.CONBUILDMAT.2019.117978.
- [69] Y. Liang, Z. Ye, F. Vernerey, and Y. Xi. (2013). Development of Processing Methods to Improve Strength of Concrete with 100% Recycled Coarse Aggregate, *Journal of Materials in Civil Engineering*, vol. 27, no. 5, p. 04014163, doi: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000909.
- [70] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, and C. M. Tam. (2015). Comparing performance of modified two-stage mixing approach for producing recycled aggregate concrete, <http://dx.doi.org/10.1680/mac.2006.58.7.477>, vol. 58, no. 7, pp. 477–484, doi: 10.1680/MACR.2006.58.7.477.
- [71] V. W. Y. Tam, X. F. Gao, and C. M. Tam. (2005). Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach,” *Cement and Concrete Research*, vol. 35, no. 6, pp. 1195–1203, doi: 10.1016/J.CEMCONRES.2004.10.025.
- [72] V. Spaeth and A. Djerbi Tegguer. (2013). Improvement of recycled concrete aggregate properties by polymer treatments, *International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 2, no. 2, pp. 143–152, doi: 10.1016/J.IJSBE.2014.03.003.
- [73] I. González-Taboada. (2017). Analysis of rheological behaviour of self-compacting concrete made with recycled aggregates, *Elsevier*.
- [74] J. M. V. Gómez-Soberón. (2002). Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate: An experimental study, *Cement and Concrete Research*, vol. 32, no. 8, pp. 1301–1311, doi: 10.1016/S0008-8846(02)00795-0.

EKLER

EK- 1: LİTERATÜRDEN ELDE EDİLEN GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONLARIN KARIŞIM DİZAYN TABLOSU

GDA (kg)	Kırmataş Agrega		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
0-500	0-710	0-500	0.53	320	80	4,8	7-12	26-31	30-38	27
0-2710	0-710	0-1000	0.53	400	0	4.8	10.14	23-32	24-34	27
0-1050	1050	0-863	0.53	350	0	4.2	18-22	32-44	-	36
1421	0	0	0.68	300	0	0	7	11,2	-	36
1615	0	0	0.68	300	0	0	8,5	15,3	-	36
0	787	1023	0.68	300	0	0	12	19,8	-	36
0-2710	0-710	0-1000	0.53	320	80	4,8	8-10	29.36	39-43	13
0-1610	0-660	0-950	0.46	460	0	0,46	8-10	30-41	36-45	39
0-1610	0-660	0-950	0.46	368	92	0,46	7-8.5	28-37	36-43	39
1780	0	0	0.59	320	0	0	7,5	13,1	-	40
1080	780	0	0.56	320	0	0	8,5	16	-	40
0	780	1160	0.53	320	0	0	9	19,5	-	40
1540			0.53	315				12,75		17
1538			0.52	317				19,45		17
1507			0.46	363				32,43		17
1461			0.39	428				34,42		17
0-855	355-710	500-1000	0.53	320	80	4,8	7-11	26-36	39-43	41
0	710	1000	0.53	320	80	4,8	10-12	34-36	41-45	41
1710	0	0	0.53	320	80	4,8	7	32	35	41
840-848	753-844	0	0.6	338	8	0-6.76	3.1-8.7	23.2-31.1	-	9
522	928	1015	0,37	300	0	2,1	2	40,6	0	10
0	920	990	0,43	300	0	1,95	2	49,7	0	10
0	1457	0	0,45	560	0	10,2		60		11
30,2	1383	0	0,45	560	0	10,7		50		11
60,4	1308	0	0,45	560	0	11,7		47		11
90,5	1234	0	0,45	560	0	12,4		39		11
120,5	1160	0	0,45	560	0	12,9		28		11
150,4	1086	0	0,45	560	0	14		25		11
0	1430	0	0,45	560	0	9		33		11
29,7	1356	0	0,45	560	0	10		28		11

GDA (kg)	Kırma taş Agregata		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
59,3	1284	0	0,45	560	0	10,4		23		11
88,9	1212	0	0,45	560	0	10,8		16		11
118,4	1140	0	0,45	560	0	11,2		14		11
147,9	1068	0	0,45	560	0	11,7		12		11
0	555	1295	0,43	430	0					12
366	523	855	0,39	474	0					12
596	511	511	0,39	474	0					12
1094	469	0	0,35	529	0					12
0	50	50	0,5	314	63	2,5	7,1	34	37	13
100	0	0	0,5	314	63	2,5	2	30	32	13
10	40	50	0,5	314	63	2,5	6,5	27	31	13
20	30	50	0,5	314	63	2,5	6,1	27	33	13
30	20	50	0,5	314	63	2,5	5,8	26	33	13
40	10	50	0,5	314	63	2,5	4,8	26	29	12
50	0	50	0,5	314	63	2,5	6,6	22	26	12
10	50	40	0,5	314	63	2,5	6,5	30	32	12
20	50	30	0,5	314	63	2,5	6,4	29	35	12
30	50	20	0,5	314	63	2,5	6,2	29	35	12
40	50	10	0,5	314	63	2,5	6,1	28	34	12
50	50	0	0,5	314	63	2,5	5	27,8	31	12
0	1164	1164	0,5	380	0	0	18	46,72	49,23	12
0	1164	1164	0,5	323	0	0	20	40,13	49,97	12
0	1164	1164	0,5	266	0	0	19	39,12	51,14	12
640	524	1164	0,5	380	0	3	20	46,87	48,92	12
640	524	1164	0,5	323	0	3	19	47,16	50,23	12
640	524	1164	0,5	266	0	3	19	48,51	52,8	12
640	1164	0	0,5	380	0	3	18	46,44	52,01	12
640	1164	0	0,5	323	0	3	20	46,93	56,36	12
640	1164	0	0,5	266	0	3	18	48,88	59,27	12
1280	524	0	0,5	380	0	5	20	48,61	51,66	12
1280	524	0	0,5	323	0	5	19	50,16	55,02	12
1280	524	0	0,5	266	0	5	18	51,72	58,33	12
0	777	1114	0,5	350	0	0,09	17	35,8		13
648	0	1114	0,5	350	0	0,28	19	33		13
463	777	538	0,5	350	0	0,28	18	34,1		13

GDA (kg)	Kırmataş Agregası		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
1111	0	538	0,5	350	0	0,28	18	29,1		13
1597	0	0	0,5	350	0	0,38	18	24,9		13
0	777	1114	0,53	332	0	0,28	18	39,9		13
648	0	1114	0,53	332	0	0,38	19	34,8		13
463	777	538	0,53	332	0	0,38	17	35,2		13
1111	0	538	0,53	332	0	0,38	18	33,2		13
1597	0	0	0,53	332	0	0,42	19	30,6		13
0	777	1114	0,55	315	0	0,50	19	45,5		13
648	0	1114	0,55	315	0	0,46	16	37,2		13
463	777	538	0,55	315	0	0,38	20	38,5		13
1111	0	538	0,55	315	0	0,38	16	28,9		13
1597	0	0	0,55	315	0	0,42	17	31,3		13
0	834	845	0,46	375	50	4,25	7	67,24		14
147	834	676	0,46	375	50	4,5	7	62,26		14
295	834	507	0,46	375	50	4,5	6	59,1		14
442	834	338	0,46	375	50	4,5	6	57,17		14
588	833	169	0,46	375	50	5,5	7	57,75		14
735	833	0	0,46	375	50	5,5	7	54,97		14
150	834	676	0,46	375	50	4,5	7	69,75		14
300	834	507	0,46	375	50	4,5	7	65,6		14
450	834	338	0,46	375	50	4,5	8	66,37		14
600	834	169	0,46	375	50	4,5	8	63,9		14
751	835	0	0,46	375	50	4	7	60,33		14
0	716	1076	0,5	350				43,91		15
90	716	986	0,5	350				40,04		15
179	716	896	0,5	350				37,15		15
358	716	716	0,5	350				33,53		15
538	716	538	0,5	350				29,57		15
1169	642	0	0,5	390			7,5	45		16
1091	642	0	0,5	390			8	35		16
1116	642	0	0,5	390			8,5	40		16
1099	642	0	0,5	390			8	42		16
1116	642	0	0,5	390			7	45		16
1097	642	0	0,5	390			6,5	45		16
1002	668	0	0,35	420	105	3,7	2,4	70		16

GDA (kg)	Kırma taş Agregata		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalınlık								
916	668	0	0,35	420	105	3,7	2,5	50		16
938	668	0	0,35	420	105	3,7	2,6	55		16
922	668	0	0,35	420	105	3,7	2,5	62		16
940	668	0	0,35	420	105	3,7	2,4	70		16
923	668	0	0,35	420	105	3,7	2,3	72		16
0	0	1280	0,5	380	0	0,34	18	46,7	49,2	17
640	0	640	0,5	380	0	0,45	20	46,9	48,9	17
640	0	640	0,5	380	0	0,45	18	46,4	52	17
1280	0	0	0,5	380	0	0,45	20	48,6	51,7	17
0	0	1280	0,5	361	19	0,34	18	46,2	51,4	17
640	0	640	0,5	361	19	0,45	19	50,5	58,2	17
640	0	640	0,5	361	19	0,45	20	42,5	55,3	17
1280	0	0	0,5	361	19	0,45	20	46,4	54,8	17
0	0	1280	0,5	342	38	0,34	18	47,5	51,8	17
640	0	640	0,5	342	38	0,45	18	57,7	59,1	17
640	0	640	0,5	342	38	0,45	18	47,4	58,6	17
1280	0	0	0,5	342	38	0,45	20	48,6	58	17
0	572	1063	0,4	537				26	28,32	18
319	572	744	0,4	537					24,6	18
491	400	744	0,4	537					29	18
498	400	744	0,4	537					30,3	18
505	400	744	0,4	537				29	31,5	18
512	400	744	0,4	537				28	27	18
519	400	744	0,4	537				27,5	28	18
0	670	1191	0,45	400		2	14	51,1		19
287	335	1191	0,46	400		2	14	52,2		19
573	0	1191	0,48	400		2	10	52,9		19
300	335	1191	0,46	400		2	15	51,6		19
600	0	1191	0,48	400		2	16	51,6		19
594	670	595	0,45	400		2	16	47,9		19
881	335	595	0,46	400		2	15	49,8		19
1167	0	595	0,48	400		2	10	49,2		19
894	335	595	0,467	400		2	16	47,8		19
1194	0	595	0,485	400		2	16	46,7		19
1188	670	0	0,45	400		2	17	44		19

GDA (kg)	Kırmataş Agregası		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
1475	335	0	0,465	400		2	16	46		19
1761	0	0	0,48	400		2	11	47,7		19
1488	335	0	0,4675	400		2	17	43,7		19
1788	0	0	0,485	400		2	18	47,1		19
0	556	1275	0,47	340			0	0		20
238	556	1020	0,47	340			6,5	50		20
596	556	638	0,47	340			6	45,3		20
894	556	319	0,47	340			5,5	44		20
1192	556	0	0,47	340			5,5	41,6		20
0	556	1275	0,47	340			0	0		20
231	556	1020	0,47	340			5,5	48		20
577	556	638	0,47	340			5	41,7		20
865	556	319	0,47	340			8,5	39,5		20
1154	556	0	0,47	340			8,5	38,1		20
0	556	1275	0,47	340			0	0		20
204	556	1020	0,47	340			8	40		20
511	556	638	0,47	340			6	37		20
767	556	319	0,47	340			6	33,1		20
1022	556	0	0,47	340			5,5	31,5		20
0	556	1275	0,47	340			0	0		20
243	556	1020	0,47	340			6,5	53,2		20
608	556	638	0,47	340			6	54		20
912	556	319	0,47	340			6	55,8		20
1022	556	0	0,47	340			5,5	58,3		20
965	820,2	820	0,45	410		3,28	3,8	41,23		21
144,8	675,5	820	0,45	410		3,28	4,1	40,14		21
289,5	482,5	820	0,45	410		3	4,8	37,75		21
482,5	289,5	820	0,45	410		2,5	4,5	34,18		21
675,5	289,5	820	0,45	410		1,6	4,2	32,69		21
965	0	820	0,45	410		1,6	4	29,69		21
1088	0	697	0,45	410		3,28	4,3	35,84		21
1211	0	574	0,45	410		3,28	4,5	33,95		21
1375	0	410	0,45	410		3	4,6	33,02		21
1498	0	287	0,45	410		2,5	4,8	29,78		21
1785	0	0	0,45	410		2,5	5	28,35		21

GDA (kg)	Kırmataş Agregası		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
0	710	1065	0,55	380	0	0	22	40,9	22	
204	710	799	0,53	380	0	0	18	41	22	
408	710	533	0,51	380	0	0	12,5	40,5	22	
816	710	0	0,47	380	0	0	11,5	40,3	22	
816	710	0	0,47	380	0	0	10,5	38	22	
0	710	1012	0,53	380	0	0	23,5	40,1	22	
394	710	506	0,49	380	0	0	15,5	41,2	22	
787	710	0	0,45	380	0	0	12,5	40,8	22	
787	710	0	0,45	380	0	0	11	39,2	22	
0	710	1065	0,31	506	44	7	18	82,6	22	
204	710	799	0,3	506	44	7	17	83,5	22	
408	710	533	0,29	506	44	7	13	84,1	22	
816	710	0	0,26	506	44	10	10	82,4	22	
816	710	0	0,26	506	44	10	8,5	79,3	22	
0	546	1160		398	0			38,9	23	
580	546	580		398	0			34,8	23	
1160	546	0		398	0			30,1	23	
1160	546	0		358	39,8			22,3	23	
1160	546	0		338	59,7			20,4	23	
1160	546	0		318	79,6			15,8	23	
1160	546	0		378	19,9			32,6	23	
1160	546	0		368	29,9			34,5	23	
1160	546	0		358	39,8			36,7	23	
1160	546	0		338	59,7			29,9	23	
1160	546	0		318	79,6			30,7	23	
1160	546	0		299	98,8			32,9	23	
0	505	1265	0,39	475			5,2	40,1	24	
1066	505	0	0,39	521			4,8	38,3	24	
1084	505	0	0,39	521			5	39,5	24	
1093	562	0	0,39	473			4,5	38,7	24	
0	828	1071	0,45	380			10,1	42,95	25	
801	681	314	0,46	362			7,9	36,96	25	
847	799	53	0,47	425			7,7	39,08	25	
847	787	79	0,46	419			7,5	42,52	25	
820	754	153	0,46	401			7,8	39,52	25	

GDA (kg)	Kırmataş Agregası		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
200	800	825	0,53	224	56	0,624	10	37,6		26
312	808	729	0,55	208	52	0,568	9,5	47,32		26
0	750	1025	0,48	285	56	0,75	10	46,82		26
308	750	717	0,48	285	56	0,75	10	43,99		26
512,5	750	512,5	0,48	285	56	0,75	9	41,56		26
308	750	308	0,48	285	56	0,75	8,8	44,24		26
1025	750	0	0,48	285	56	0,75	8,5	46,41		26
925	659	0	0,35	493	0		8	52		27
910	648	0	0,35	419	74		8	50		27
895	638	0	0,35	345	148		8	43		27
1116	446	0	0,35	493	0		8	50		27
1098	439	0	0,35	419	74		8	48		27
1080	432	0	0,35	345	148		8	43		27
1295	246	0	0,35	493	0		8	49		27
1274	242	0	0,35	419	74		8	45		27
1253	238	0	0,35	345	148		8	42		27
1512	0	0	0,35	493	0		8	43		27
1487	0	0	0,35	419	74		8	40		27
1463	0	0	0,35	345	148		8	38		27
0	835	1080	0,7	263		0	13	18,1		28
1865	0	0	0,67	264		0	13,5	18		28
1850	0	0	0,67	262		0	11,5	15,4		28
0	765	1060	0,35	431		4,2	17,5	37,5		28
1760	0	0	0,35	427		4,2	14	36,4		28
1745	0	0	0,36	423		4,1	11	35,7		28
0	875	960	0,34	452		4,8	10	48,4		28
1740	0	0	0,34	443		3,9	10	44,4		28
1745	0	0	0,34	442		3,8	11	43,8		28
532	572	532	0,416	500			16,1	41,4		29
727	559	313	0,381	538			13,1	39,4		29
1020	549	0	0,4	566			11,5	38,6		29
457	679	515	0,3	320	198			51,5	56,5	30
471	700	532	0,4	242	174			37,1	40,4	30
490	728	553	0,5	177	151			29,5	34,2	30
495	669	402	0,3	357	208			50,5	54	30

GDA (kg)	Kırmataş Agregası		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
534	721	433	0.4	243	177			35,1	37,4	30
541	731	439	0.5	195	163			28,8	33,8	30
546	675	323	0.3	362	211			46,9	52,3	30
592	731	350	0.4	244	179			30,7	35,5	30
597	737	352	0.5	201	165			24,6	33,5	30
0	920	881	0.3	293	165			57,6	61,7	30
0	920	881	0.4	245	156			41,4	49,7	30
0	949	909	0.5	188	169			29,7	34,9	30
0	953,7	1033	0,65	323		0	3,2	53,7		31
259,3	948,9	771	0,65	323		0	3,2	45,61		31
514,8	941,7	510,1	0,65	323		0	3,2	43,8		31
257,6	948,9	771	0,65	323		0	3,5	52,11		31
511,4	941,7	510,1	0,65	323		0	3,2	44,75		31
0	953,7	1033	0,6	323		1,62	4,1	65,03		31
514,8	941,7	510,1	0,6	323		1,62	4,2	47,68		31
511,46	941,72	510,1	0,6	323		1,62	4,1	48,84		31
0	765	1207	0,55	300		1,4		42		32
267	765	905	0,55	300		1,66		42		32
537	739	608	0,52	318		1,9		41		32
1123	683	0	0,5	325		1,9		40		32
845	845			350	0	0		49,5	50,8	33
838	838			315	0	1,4		52,5	54,5	33
840	840			315	0	1,4		54	55,4	33
762	761			175	175	0		24,3	26,2	33
835	835			175	0	0		17,5	17,3	33
809	808			175	175	3,5		30,9	32,3	33
809	808			175	140	3,85		34,1	37,7	33
830	829			175	0	1,4		23,1	24,7	33
810	810			175	140	3,5		40,5	44,7	33
833	832			175	0	1,4		31,7	31,7	33
0	304	1319	0,56	410	0	0		35		34
1278	0	0	0,4	575	0	0		29		34
1106	0	0	0,4	575	172	5,7		34		34
1192	0	0	0,4	575	0	8,6		42		34
0	304	1319	0,56	410	0	0		33,9		34

GDA (kg)	Kırmataş Agrega		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
1401	0	0	0,35	530	0	5,3		31,1		34
1205	0	0	0,4	500	190	7		34,1		34
0	706	1172	0,4	410	0	0,6	65	45,63		35
0	706	1172	0,4	410	82	0,6	61	47,25		35
568	706	568	0,4	410	82	0,6	63	47,4		35
839	706	280	0,4	410	82	0,6	62	46,61		35
1119	706	0	0,4	410	82	0,6	68	48,89		35
0	865	1019	0,47	350		0	18	39,4		36
0	850	1020	0,47	350		3,5	20	50,9		36
149	802	881	0,47	350		0	18	35,5		36
149	794	881	0,47	350		3,5	20	44,5		36
0	521,1	967,8	0,41	457			5,5	48		37
483,9	521,1	483,9	0,41	457			1	50		37
1935	521,1	0	0,41	457				59		37
967,8	521,1	0	0,41	457			5,5	58		37
895		905	0,35	510	0	2	9	57,4	63,7	38
927		892	0,35	510	0	4	8	58,1	65,9	38
956		878	0,35	510	0	5,5	9	58,7	66,4	38
905		905	0,41	433	59	2	10	58,7	67,7	38
931		892	0,41	433	59	4	10	61,2	73,3	38
956		878	0,41	433	59	5,5	8	63,6	75	38
905		905	0,5	357	118	2	11	50,5	60,6	38
931		892	0,5	357	118	4	10	52,4	63,5	38
956		878	0,5	357	118	5,5	9	53,6	65,4	38
835		0	0,35	510	0	2	10	46,8	52,6	38
861		0	0,35	510	0	4	8	47,6	54,5	38
886		0	0,35	510	0	5,5	10	48,6	55,4	38
835		0	0,41	433	59	2	10	48,8	59,2	38
861		0	0,41	433	59	4	9	51,2	62,8	38
886		0	0,41	433	59	5,5	9	25,9	64,9	38
835		0	0,5	357	118	2	11	42,9	53,9	38
861		0	0,5	357	118	4	10	44,4	56,3	38
886		0	0,5	357	118	5,5	8	45,3	58,2	38
0	927	1086	0,285	380				102		39
202	927	869,2	0,285	380				108		39

GDA (kg)	Kırmataş Agregası		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
505,1	927	543,2	0,285	380				104,8		39
1010	927	0	0,285	380				108,5		39
195	927	869,2	0,285	380				102,4		39
487,5	927	543,2	0,285	380				103,1		39
975,1	927	0	0,285	380				100,7		39
187,8	927	869,2	0,285	380				104,2		39
469,4	927	543,2	0,285	380				96,84		39
938,8	927	0	0,285	380				91,23		39
1106	660,7		0,5	325				46		40
1109	613,9		0,43	345				51		40
1126	586,8		0,4	365				55		40
1126	586,8		0,4	365				55		40
1106	660,7		0,52	325				40		40
0	710,5	1206	0,5	325				60,4		40
0	765,1	1207	0,55	300				44		40
265,7	765,1	905,2	0,55	300				42,5		40
536,4	739	608,4	0,52	318				46		40
1123	683,2		0,5	325				46		40
0		1196	0,43	430				45,45		41
598	590	598	0,43	430				42,7		41
598	590	598	0,43	430				38,79		41
598	590	598	0,43	430				36,31		41
837	590	359	0,43	430				42,76		41
837	590	359	0,43	430				35,24		41
837	590	359	0,43	430				31,96		41
1196	590	0	0,43	430				41,81		41
1196	590	0	0,43	430				33,97		41
1196	590	0	0,43	430				28,03		41
826	794		0,5	500		12	25			42
843,4	810,5		0,5	480		13	25,5			42
869,5	835,5		0,5	450		15	26			42
0	794	826	0,5	500		15	25			42
0	810,5	843,4	0,5	480		16	30			42
0	835,5	869,5	0,5	450		17	36			42
0	843	978	0,6	275				41		43

GDA (kg)	Kırmataş Agrega		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalın								
184	878	735	0,59	275				40		43
455	849	455	0,57	275				38		43
830	868	0	0,57	275				37		43
0	714	1004	0,46	380				52		43
189	744	757	0,45	380				51		43
471	710	471	0,44	380				50		43
874	715	0	0,42	380				50		43
0	948	1003	0,67	275				40		43
185	961	740	0,68	275				37		43
408	978	408	0,57	275				35		43
640	1010	0	0,7	275				32		43
0	806	1032	0,53	380				52		43
192	813	767	0,53	380				50		43
427	822	426	0,53	380				46		43
683	836	0	0,52	380				44		43
0	875	1009	0,51	325				60		43
210	799	839	0,52	325				58		43
490	831	490	0,54	325				52		43
923	825	0	0,58	325				45		43
0	814	1039	0,42	385				72		43
223	698	892	0,42	385				69		43
515	742	515	0,44	385				64		43
963	746	0	0,49	385				52		43
0	708	1108	0,45	400			14	66,8		44
215	708	886	0,45	400			15,5	62,4		44
538	708	554	0,45	400			17	55,8		44
1075	708	0	0,45	400			19,5	42		44
0	688	1108	0,45	400			16,5	54,4		44
215	688	886	0,45	400			18	49,7		44
538	688	554	0,45	400			19,5	44,3		44
1075	688	0	0,45	400			21,5	39,5		44
0	688	1108	0,45	400			18	45,9		44
215	688	886	0,45	400			19,5	43,6		44
538	688	554	0,45	400			21,5	40,4		44
1075	688	0	0,45	400			24	38,3		44

GDA (kg)	Kırma taş Agregata		S/Ç	Ç (kg)	UK (kg)	KK (kg)	S (cm)	f _c 28	f _c 90	R
	İnce	Kalınlık								
0	642	1048	0,54	410			15	48,6		44
204	642	840	0,54	410			16	45,3		44
506	642	524	0,54	410			17	42,5		44
1017	642	0	0,54	410			19,5	38,1		44
0	611	1048	0,54	410			16,5	43,6		44
204	611	840	0,54	410			17,5	42,8		44
506	611	524	0,54	410			19	41,7		44
1017	611	0	0,54	410			21	36,8		44
0	598	1048	0,54	410			18,5	40,7		44
204	598	840	0,54	410			19,5	41		44
506	598	524	0,54	410			22,5	37,1		44
1017	598	0	0,54	410			25	25,2		44

ÖZGEÇMİŞ

Tuba Nur İMİŞ

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]

AKADEMİK FAALİYETLER

Makaleler:

1. Ersan Y.Ç. ,Gülçimen S., İmis T.N., Saygın O., Uzal N. “Life cycle assessment of lightweight concrete containing recycled plastics and fly ash” , European Journal of Environmental and Civil Engineering (2020)
<https://doi.org/10.1080/19648189.2020.176721>

Projeler:

1. UDAP ,“Elazığ İli Merkez Mahalleleri İçin Deprem Risk Haritalarının ve Kentsel Dönüşüme Yön Verecek Bilgi Bankası Altyapısının Oluşturulması”