



## The Use of Construction and Demolition Wastes as Recycling Aggregate after February, 6th Kahramanmaraş Earthquakes: The Case from Malatya Province

Muslum Murat Maras<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Inonu University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 44100 Malatya, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-6324-207X

### Keywords

Construction and demolition wastes, Aggregates, Sustainable, Recycling

### Highlights

- \* 6 February 2023 Kahramanmaraş earthquakes
- \* Construction and demolition wastes
- \* Recycling

### Aim

The aim of this study was to explore Construction and Demolition Wastes (CDWs)

### Location

The study area is located in Malatya

### Methods

Construction Waste as Recycling Aggregate

### Results

Consequently, based on these data, it is important to carefully evaluate the effects of the aggregates used on the overall performance of the concrete and adjust the mixing proportions accordingly

### Supporting Institutions

The author declared that this study has used no support data from other institutions

### Financial Disclosure

The author declared that this study has received no financial support

### Peer-review

Externally peer-reviewed

### Conflict of Interest

The author have no conflicts of interest to declare

### Manuscript

Research Article

Received: 17.09.2024

Revised: 23.10.2024

Accepted: 25.10.2024

Printed: 30.12.2024

### DOI

10.46464/tdad.1551363



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

### Corresponding Author

Muslum Murat Maras

Email: murat.maras@inonu.edu.tr

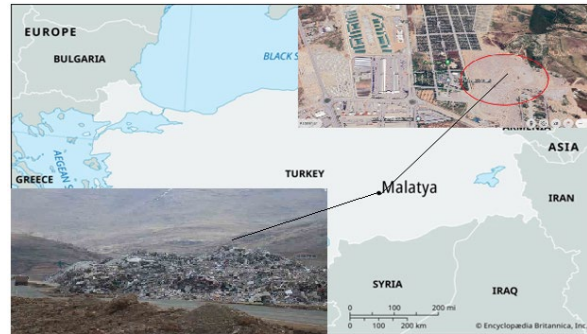


Figure  
Malatya Province Construction and Demolition Waste Site

### How to cite:

Maras M.M., 2024. The Use of Construction and Demolition Wastes as Recycling Aggregate after February, 6th Kahramanmaraş Earthquakes: The Case from Malatya Province, Turk Deprem Arastirma Dergisi 6(2), 669-685, <https://doi.org/10.46464/tdad.1551363>.



## 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri Sonrası İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşüm Agregası Olarak Kullanımı: Malatya İli Örneği

Müslüm Murat Maraş<sup>1</sup>

<sup>1</sup> İnönü Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 44100 Malatya, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-6324-207X

### ÖZET

Kahramanmaraş'ta meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki merkez üssü Pazarcık ve Elbistan depremleri, alt ve üst yapılarda büyük yıkımlara neden olmuş ve birçok ilimizi etkilemiştir. Bu depremlerin ardından ortaya çıkan inşaat ve yıkıntı atıkları, büyük bir çevre sorunu oluşturmuş ve yeniden kullanımı ve geri dönüşüm süreçlerinin araştırılması büyük önem kazanmıştır. Bu atık malzemelerin tekrardan inşaat endüstrisine kazandırılması ve sürdürülebilir bir inşaat modeli oluşturması amaçlanmıştır. Yapılan çalışmada, özellikle betonarme atıklar ve farklı karışık malzemelerinin (fayans, mermer, tuğla, beton, kiremit vb.) geri dönüşüm agregası olarak kullanımı incelenmiştir. Bu atıklar uygun boyutlarda öğütüldükten sonra hem kaba hem de ince agrega olarak sınıflandırılmış, ayrıca tek beton (BETON) ve beton, tuğla, fayans, mermer, cam vb. karışık (IYA) malzemelerin inşaat alanında tekrardan kullanımı araştırılmıştır. Bu inşaat atıklarının geri dönüşüm agregası olarak kullanılabilmesi için kalite ve dayanıklılık açısından yaygın test yöntemleri uygulanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda, tehlikeli atıkların yönetmeliklere uygun şekilde ayrıştırılmasının ardından, BETON ve IYA malzemelerinin çevreye zarar vermeyecek şekilde geri dönüştürülerek ekonomiye önemli katkılar sağlaması hedeflenmektedir.

### Anahtar kelimeler

İnşaat ve yıkıntı atıkları, Agregalar, Sürdürülebilir, Geri dönüşüm

### Öne Çıkanlar

- \* 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremleri
- \* İnşaat ve yıkıntı atıkları
- \* Geri dönüşüm

### Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 17.09.2024  
Düzeltilme: 23.10.2024  
Kabul: 25.10.2024  
Basım: 30.12.2024

### DOI

10.46464/tdad.1551363

### Sorumlu yazar

Muslum Murat Maraş  
Eposta:  
murat.maras@inonu.edu.tr

## The Use of Construction and Demolition Wastes as Recycling Aggregate after February, 6th Kahramanmaras Earthquakes: The Case from Malatya Province

Muslum Murat Maraş<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Inonu University, Engineering Faculty, Department of Civil Engineering, 44100 Malatya, Türkiye  
ORCID: 0000-0002-6324-207X

### ABSTRACT

The 7.7 and 7.6 magnitude earthquakes in Kahramanmaras, with epicenters in Pazarcık and Elbistan, caused major destruction of infrastructure and superstructures and affected many provinces. Following these earthquakes, construction and demolition wastes created a major environmental problem and research on reuse and recycling processes has gained great importance. It is aimed to bring these waste materials back to the construction industry and create a sustainable construction model. In this study, especially the use of reinforced concrete wastes and different mix materials (tiles, marble, bricks, concrete, roof tiles, etc.) as recycling aggregate was investigated. After being ground to the appropriate sizes, the demolition wastes were classified as both coarse and fine aggregates, and the reuse of single concrete (BETON) and mixed (IYA) waste materials in the construction field was investigated. In order for construction waste to be used as recycling aggregate, common test methods have been applied in terms of quality and durability. As a result of the study carried out, it is aimed to provide significant contributions to the economy by recycling BETON and IYA materials in an environmentally friendly manner after the separation of hazardous wastes in accordance with the regulations.

### Keywords

Construction and demolition wastes, Aggregates, Sustainable, Recycling

### Highlights

- \* 6 February 2023 Kahramanmaras earthquakes
- \* Construction and demolition wastes
- \* Recycling

### Manuscript

Research Article

Received: 17.09.2024  
Revised: 23.10.2024  
Accepted: 25.10.2024  
Printed: 30.12.2024

### DOI

10.46464/tdad.1551363

### Corresponding Author

Müslüm Murat Maraş  
Email:  
murat.maras@inonu.edu.tr

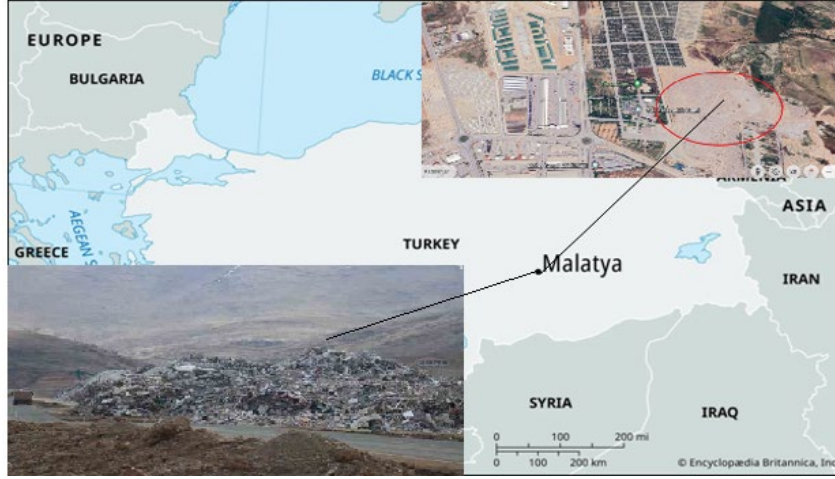
## 1. GİRİŞ

Kahramanmaraş depremleri sonucu oluşan inşaat ve yıkıntı atıkları, geri dönüşüm malzemesi olarak değerlendirilmiştir. Kahramanmaraş'ta meydana gelen 7.7 ve 7.6 büyüklüğündeki depremler, büyük yıkıma yol açmış ve geniş bir bölgede önemli miktarda inşaat ve yıkıntı atığı oluşmuştur. Bu malzemelerin geri dönüşüm malzemesi olarak yeniden kullanılması, atık yönetimi sorunlarının çözülmesi, doğal kaynakların korunması ve çevresel etkilerin azaltılması açısından büyük önem taşımaktadır.

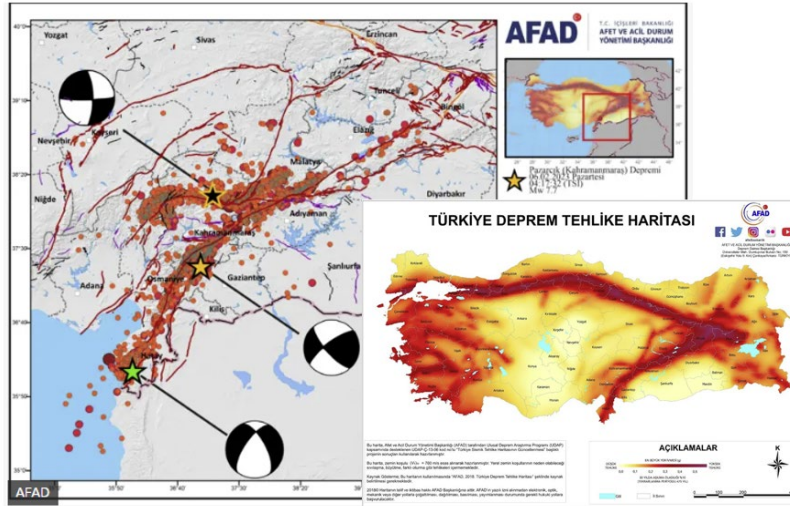
İnşaat yıkıntı ve atıkları, binaların yıkımı veya yenilenmesi sırasında ortaya çıkan atık malzemelerdir (Whittaker ve diğ. 2021). Bu malzemeler genellikle beton, tuğla, çelik, ahşap ve diğer inşaat bileşenlerinden oluşur (Reis ve diğ. 2021, Da Silva ve Andrade 2022). Bu atıkların geri dönüşümü, sürdürülebilir inşaat uygulamalarının bir parçası olarak çevresel etkileri azaltma ve doğal kaynakları koruma açısından büyük bir potansiyele sahiptir (Zhao ve diğ. 2021). İnşaat molozlarının agrega olarak kullanımına ilişkin çalışmalar, bu malzemelerin geleneksel agregalarla benzer performans özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir (Cantero ve diğ. 2020). Ayrıca, beton karışımlarında agregaların boyutu (iri ve ince), malzemenin dayanıklılığı, mukavemeti ve uzun ömürlülüğü üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Sata ve Chindaprasirt 2020). Bu molozların geri dönüşümü, doğal taş ve kum ocaklarının kullanımını azaltarak çevresel etkileri en aza indirir (Serina ve Engelsen 2018). Aynı zamanda atık yönetimi maliyetlerini düşürerek inşaat sektöründe maliyet tasarrufu sağlar. Bu durum, hem ekonomik hem de çevresel sürdürülebilirliği artırmaktadır (Balemba ve diğ. 2021, Caro ve diğ. 2024).

İnşaat yıkıntı atıkları, geri dönüştürülerek inşaat sektörü ve birçok farklı alanda çeşitli malzemeler olarak kullanılabilir (Behera ve diğ. 2014). Bu atık malzemelerin, doğal agregaların yerine kullanılabilmesi birçok araştırmacı tarafından da belirtilmiştir (Fan ve diğ. 2014, Bravo ve diğ. 2017, Wu ve diğ. 2024). Günümüzde geri dönüştürülmüş agregalar, hem yapısal hem de yapısal olmayan alt ve üst yapı uygulamalarında kullanılmaktadır. Bu geri dönüşüm malzemeleri, yol kaplamalarında (Ossa ve diğ. 2016), zemin stabilizasyon çalışmalarında (Hidalgo ve diğ. 2023), yalıtım malzemelerinde (Bogiatzidis ve Zoumpoulakis 2018), drenaj ve kanalizasyon sistemlerinde (Jia ve diğ. 2024), prefabrik yapı elemanlarında (Klinge ve diğ. 2019, Özçelikci ve diğ. 2024) ve yeşil sürdürülebilir binalarda (Burciaga ve diğ. 2019, Özçelikci ve diğ. 2023) kullanılmaktadır. Bu malzemelerinin yeniden üretimi, hem çevresel sürdürülebilirliğe hem de doğal kaynakların korunmasına önemli katkılar sağlar.

Kahramanmaraş depremleri sonrasında ortaya çıkan atıkların geri kazanımı, deprem bölgesinde sürdürülebilir bir inşaat modelinin oluşturulmasına katkı sağlayabilir. Bu atıkların geri dönüşüme kazandırılması ise hem ekonomiye katkı sunacak hem de yeni inşaat malzemelerinin taşınması sırasında oluşabilecek çevresel etkileri azaltacaktır. Genel olarak, bu çalışma deprem molozlarının geri dönüştürülmesi ve inşaat sektöründe değerli bir kaynak olarak kullanılmasının önemini etkili bir şekilde vurgulamaktadır. Kahramanmaraş depremleri sonucunda ortaya çıkan yaklaşık 300 milyon ton molozun geri dönüştürülmesi, yapı malzemelerinin inşaat sektöründe uzun süre kullanılabilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. 6 Şubat depremleri sonrası Malatya ilindeki inşaat ve yıkıntı atık sahasında fizibilite çalışmaları yapılmış olup, bu malzemelerin geri dönüşüm malzemesi olarak kullanımı araştırılmıştır (Şekil 1). Geri dönüşüm malzemelerinin hem küresel hem de Türkiye'deki mevcut durumu ve geri kazanım süreçlerinin belirlenmesi ile tekrar kullanımı oldukça önemlidir. Bu çalışmada, beton ve karışık malzemelerin standartlara uygun olarak farklı boyutlarda iri ve ince agrega şeklinde kullanım potansiyeli belirlenmiştir.

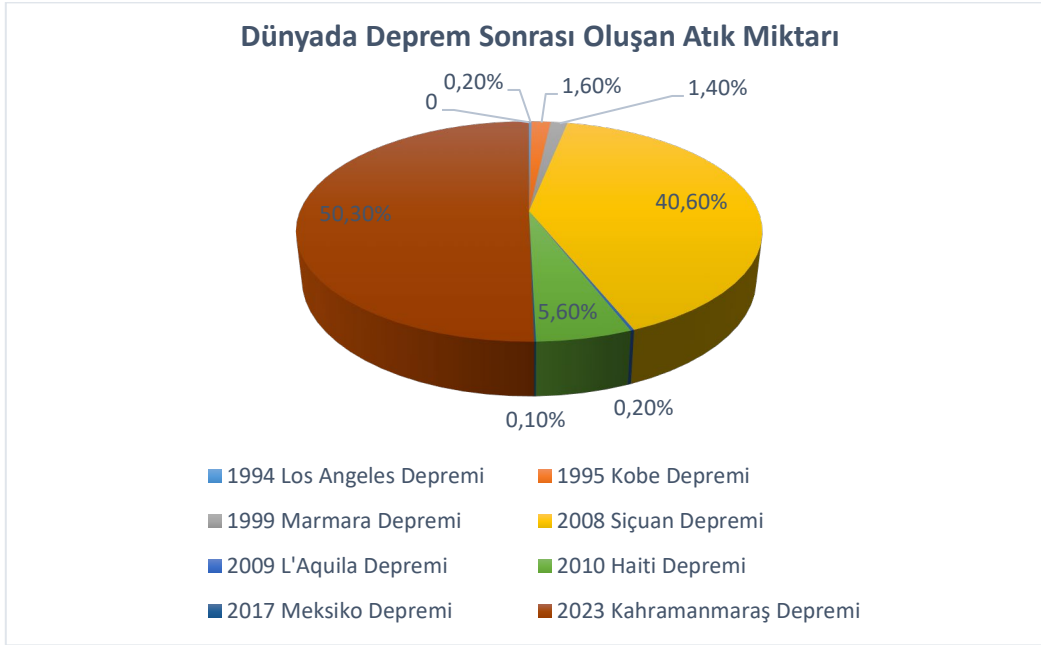


Şekil 1: Malatya İli İnşaat ve Yıkım Atık Sahası, Yaka  
Figure 1: Malatya Province Construction and Demolition Waste Site, Yaka

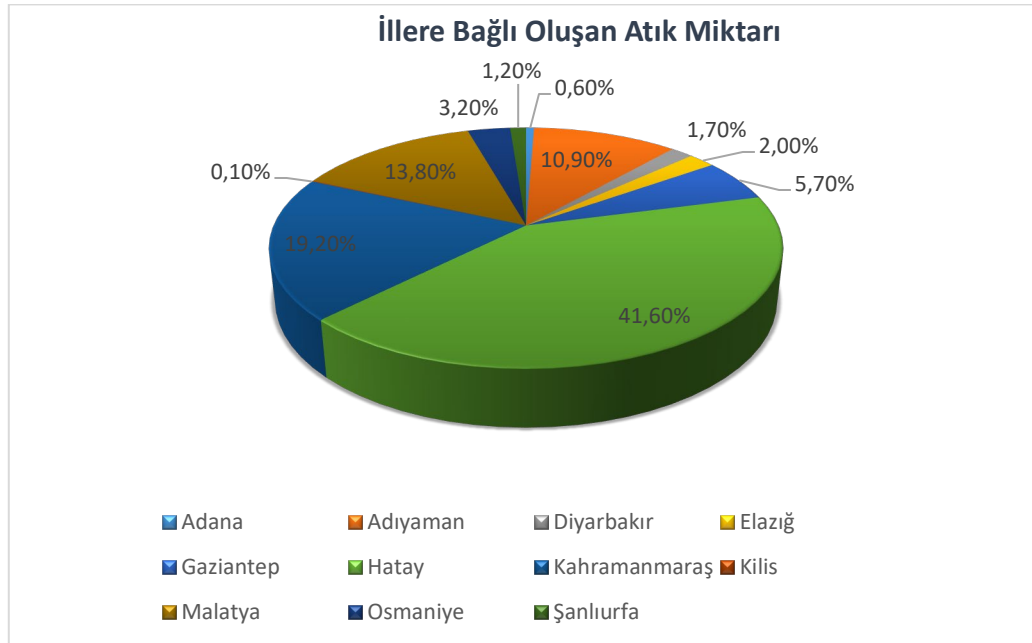


Şekil 2: 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri (AFAD 2023)  
Figure 2: 6 February Kahramanmaraş Earthquakes (AFAD 2023)

Doğu Anadolu Fay Sistemi (DAFS) üzerinde meydana gelen Kahramanmaraş depremlerinden Pazarcık merkez üslü deprem Çelikhan-Gölbaşı arası, Gölbaşı-Türkoğlu arası ile Türkoğlu-Kırıkhan arası, Elbistan depremi ise Çardak Fayı ile Doğanşehir Fay Zonu üzerinde oluşmuştur (Şekil 2). Bu iki büyük deprem sonucunda devasa miktarda atık oluşmuştur. Dünyada son otuz yılda meydana gelen büyük depremlerin etkisiyle oluşan atık yüzde oranları, detaylı olarak Şekil 3'te verilmiştir. 6 Şubat 2023'te Pazarcık ( $M_w=7.7$ ) ve Elbistan ( $M_w=7.6$ ) merkezli depremler sonucunda, son yıllardaki en büyük atık miktarı %50.3 oranıyla Kahramanmaraş depremlerinde ortaya çıkmıştır (Dogdu ve Alkan 2023). Orta hasarlı ve güçlendirilmemiş binalar ile servis ömrünü tamamlamış yapıların varlığını da göz önünde bulundurduğumuzda, deprem sonucu oluşan kütleli atık oranları daha da artacaktır. Bu atıkların toplamda yaklaşık 100 milyon ton olduğu ve 40 milyon tonunun betonarme atığı olduğu belirlenmiştir (Dogdu ve Alkan 2023). Kahramanmaraş depremlerinden kaynaklanan önemli miktardaki inşaat atıklarının geri dönüşüm süreci ile bu atıkların yeniden kullanılarak inşaat endüstrisine kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, Kahramanmaraş, Gaziantep, Adıyaman, Şanlıurfa, Diyarbakır, Malatya, Osmaniye, Kilis, Adana, Hatay ve Elazığ olmak üzere on bir ilde oluşan atık miktarları Şekil 4'te detaylı olarak verilmiştir. Yıkım sırasında en fazla atık, %41,6 oranla Hatay'da oluşmuş olup, Malatya ise en fazla atık miktarına sahip iller arasında üçüncü sırada yer almıştır (Dogdu ve Alkan 2023).



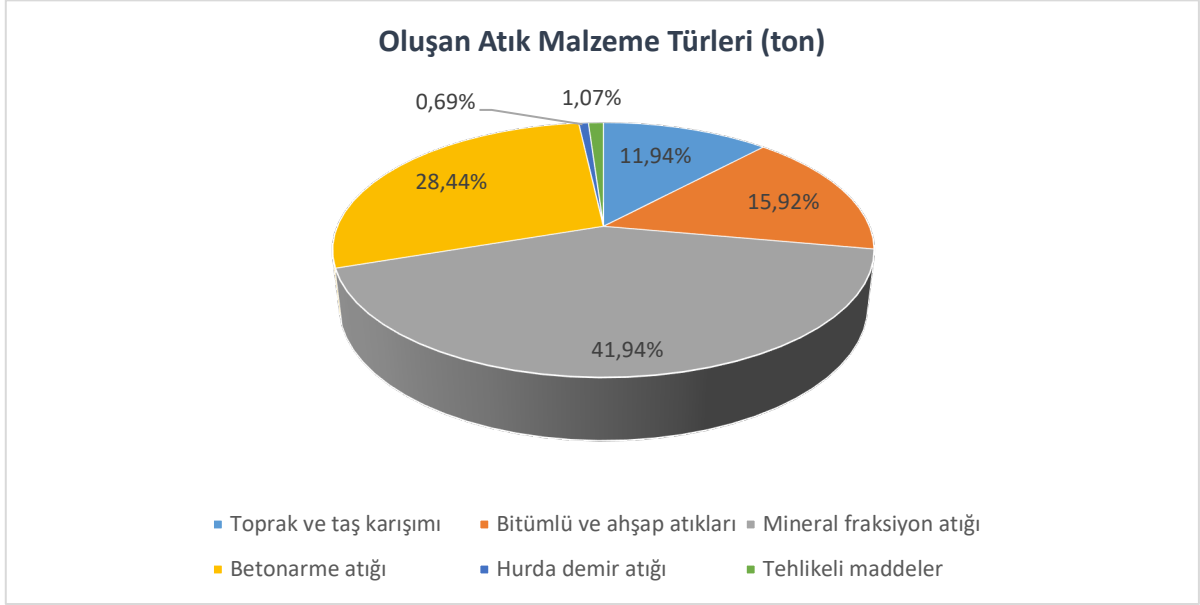
Şekil 3: Dünyada deprem sonucu oluşan kütleli olarak ortalama atık oranı (%)  
Figure 3: Average mass fraction of waste generated by earthquakes in the world (%)



Şekil 4: Kahramanmaraş depremleri sonucunda 11 il arasında kütleli atık miktarı  
Figure 4: The amount of mass waste among 11 provinces as a result of the Kahramanmaraş earthquakes

Kahramanmaraş depremleri sonucu meydana gelen atık malzemelerin çeşitleri (Doğdu ve Alkan'ın 2023) ve yüzdelik oranları Şekil 5'te detaylı olarak verilmiştir. Bu malzemelerden, özellikle beton, tuğla, kiremit ve seramik karışımlarının geri dönüşüme kazandırılması büyük önem taşımaktadır. Mineral fraksiyon (tuğla, kiremit, alçı, seramik, cam vb.) ve betonarme atık oranları sırasıyla %41.94 ve %28.44 olarak belirlenmiştir. Bu malzemelerden saf beton (BETON) ve karışık malzemenin (İYA) geri dönüşüm agregası olarak kullanımı araştırılmıştır. İnşaat yıkıntı atıklarının, başta beton olmak üzere, kum, çakıl, tuğla, seramik, tahta, cam ve plastik malzemelerin çevreye zarar vermeden ayrıştırılarak kullanılması büyük önem

taşımaktadır. Yıkılan binalardan çıkan tehlikeli atıkların (evsel atıklar, tıbbi atıklar, asbest ve benzeri kimyasallar) yönetmeliklere uygun olarak yok edilmesi ve çevreye zarar vermeyecek şekilde geri dönüştürülecek malzemelerin kullanılması öncelikli olmalıdır (Temelli ve diğ. 2023). Bu çalışmada, BETON ve İYA malzemeleri geri dönüşüm agregası olarak kullanılmak üzere ayrıştırılmıştır. Malzemeler, ayrıştırıldıktan sonra öğütülmüş, uygun boyutlara getirilmiş ve elenerek standartlara uygun şekilde kullanımı incelenmiştir. Elde edilen bu malzemelerin standartlara uygun olarak test edilerek, geri dönüşüm agregası olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Özellikle geri dönüşüm agregaları ile normal agregaların belirli oranlarda kullanılması, hem atıkların yeniden değerlendirilmesini sağlayacak hem de ülke ekonomisine önemli katkılar sunacaktır.



Şekil 5: Geri dönüşüm malzemelerin kütleli olarak yüzdeleri  
Figure 5: Percentage of recycled materials by mass

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1) Materyal

İnşaat ve yıkıntı atıklarının geri dönüştürülmesi, bu atıkların öğütülmesi ve elenmesi ile gerçekleştirilir. Bu işlem sonucunda elde edilen malzemeler, iri ve ince agrega olarak yeniden kullanılabilir. İri agrega, daha büyük parçalar halinde olup beton karışımında kullanılırken, ince agrega ise küçük parçalar halinde beton ve diğer yapı malzemelerinde kullanılmaktadır. Numune alınırken farklı bölgelerden çok sayıda örnek toplanmış ve geri dönüştürülmüş malzemeler harmanlanmıştır. Ardından, bu harmanlanan karışımdan çeyrekleme yöntemiyle numuneler seçilmiştir. Beton ve karışık moloz atıkları, kırıcı yardımıyla öğütüldükten sonra, saf beton malzemeler ince agrega (0-5 mm) ve iri agrega (5-20 mm) olarak ayrılmış; karışık malzemeler ise ince agrega (0-8 mm) boyutunda gruplandırılmıştır. Geri dönüşüm agregalarında bulunan karışık ince malzemeler, genellikle yıkılan yapıların farklı malzeme türlerinin (beton, tuğla, sıva, seramik, asfalt gibi) öğütülmesi sonucunda elde edilen 0-8 mm aralığındaki parçacıklardır ve "karışık ince agrega" olarak adlandırılır. Tek beton, BETON olarak ve karışık malzemeler ise İYA olarak kodlanmıştır. Bu ayrıştırılmış malzemeler üzerinde deneysel testler gerçekleştirilmiştir.

### 2.1.1) *BETON (0-5 mm) ve İYA (0-8 mm) İnce Agregada Fraksiyonu*

Beton atıkları özel kırma makineleri ile küçük parçalara ayrılmaktadır. Bu işlem sonucunda elde edilen ince agregalar, geri dönüştürülmüş beton karışımlarında kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş ince agregalar, betonun işlenebilirliği açısından oldukça önemlidir. TS EN 933-1 standartlarına uygun olarak ince taneli malzemelerin elek analizleri yapılmıştır. Ayrıca, TS EN 933-9 ve TS EN 933-8 standartlarına uygun olarak ince malzemelerin kalitesi ve bu malzemelerdeki kum eşdeğerlik değerinin tespiti ile ilgili bulgular aşağıda detaylı olarak incelenmiştir.

### 2.1.2) *BETON (5-20 mm) Ayrılmış Kaba Agregada Fraksiyonu*

Geri dönüştürülmüş kaba agregada yüksek dayanımlı beton üretiminde kullanılabilir. Kaba agregalar özellikleri TS EN 933-1, TS EN 933-9, TS EN 1097-6 standartlarına uygun olarak belirlenmiştir. Ayrıca malzemelerin kalitesini belirlemek amacıyla kaba agregaları için yapılan agregada deney sonuçları Bölüm 3'te detaylı olarak verilmiştir.

## 2.2) Yöntem

### 2.2.1) *İnşaat ve yıkıntı atıkları üzerinde yapılan deneysel testler*

İnşaat ve yıkıntı atıklarının agregada olarak geri dönüştürülmesi ve kullanılabilmesi için belirli kalite ve performans kriterlerini karşılaması gerekmektedir. Bu geri dönüşüm malzemelerinin agregada olarak kullanılabilirliğini değerlendirmek amacıyla çeşitli fiziksel, kimyasal ve mekanik testler yapılmaktadır. Fiziksel özellikler açısından yoğunluk ve su emme testleri, mekanik özellikler açısından ise aşınma dayanım testleri gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, agregaların zararlı kimyasallar içerip içermediğini belirlemek amacıyla da, metilen mavisi testi, kum eşdeğerliği testi ve kükürt içeriği analizi yapılmaktadır. Bunun yanı sıra, hem dayanıklılığı hem de işlenebilirliği açısından oldukça önemli olan hamur numunelerin priz başlangıç ve bitiş süreleri de belirlenmiştir. Bu geri dönüşüm agregalarının özelliklerini belirlemek için gerçekleştirilen başlıca deneyler ve uygulamalar aşağıda detaylı olarak açıklanmıştır:

#### **1. Granülometri analizi**

Granülometri analizi, farklı boyutlardaki agregaların beton üretiminde uygun olup olmadığını değerlendirmek için kullanılır. Ayrıca bu analiz yöntemi, agregaların optimum granülometriye sahip olup olmadığını ve beton içerisindeki tane dağılımını belirler (TS EN-933-1).

#### **2. Los Angeles Aşınma Testi**

Los Angeles aşınma testi, agregaların aşınma ve parçalanma direnci için uygulanır. Ayrıca, bu malzemelerin TS EN 1097-2 standartlarına uygun olarak, dayanıklılık özelliklerini belirlemek için kullanılır.

#### **3. Su Emme ve Yoğunluk Testi**

Geri dönüşüm malzemelerinin su emme ve yoğunluk testleri, agregaların fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla TS EN 1097-6 standardına uygun olarak yapılmaktadır.

#### **4. Metilen Mavisi Deneyi**

Metilen mavisi deneyi, agregada numunelerindeki kil içeriğini ve ince madde içeriğini TS EN 933-9 standartlarına uygun olarak belirler. Beton ve karışık malzemeler içerisinde kil ve organik maddelerin içeriğini belirler.

#### **5. Kum Eşdeğerliği Deneyi**

Kum eşdeğerlik testinde ince agregadaki kil, silt ve organik madde miktarı TS EN 933-8+A1 standartlarına uygun olarak belirlenir.

#### **6. Toplam Sülfür İçeriği**

Agregalarda bulunan toplam kükürt içeriği, agregaların kimyasal özelliklerini ve betonun dayanıklılığını belirlemek açısından oldukça önemli bir parametredir. Toplam kükürt içeriği TS EN 1744-1 standartlarına uygun olarak belirlenmeli ve sınırlandırılmalıdır.

### 3. BULGULAR VE TARTIŞMA

#### 3.1) BETON ve İYA Malzemelerinin Elek Analiz Sonuçları

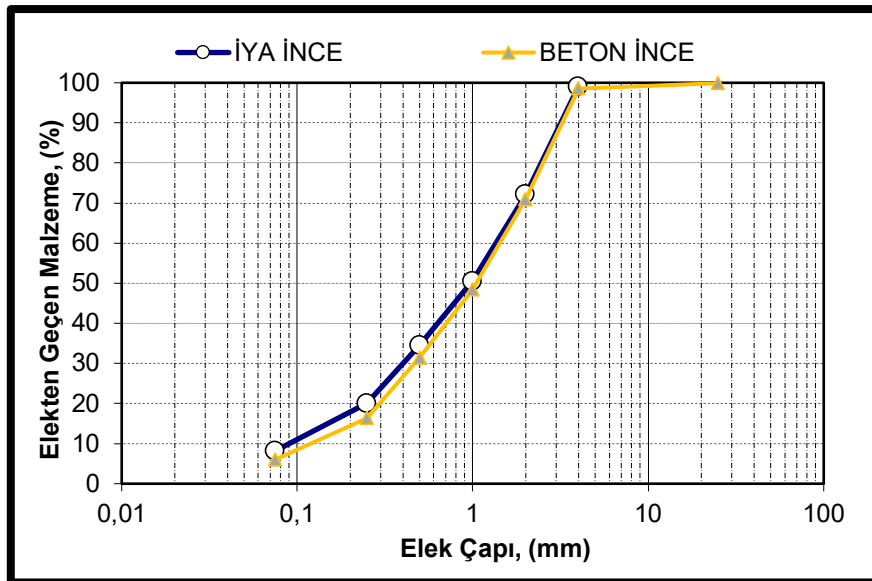
İki farklı BETON (tek beton) ve İYA (karışık atık) malzemeler belirtilen elek analize göre Tablo 1'de genel tane büyüklüğü dağılımı özelliklerine göre farklı boyutlarda belirlenmiştir. BETON ve İYA örnekleri farklı elek çaplarından geçirilerek tane boyut dağılımı detaylı olarak gösterilmiştir (Şekil 6 ve Şekil 7).

Tablo 1: Elek analizi, analiz sonuçları, TS EN 933-1  
Table 1: Sieve analysis, analysis results, TS EN 933-1

Özellikler (Properties)	Birim (Unit)	BETON İNCE (BETON FINE)	BETON KABA (BETON COARSE)	İYA İNCE (İYA FINE)	İYA KABA (İYA COARSE)
25 mm Elekten Geçen	%	100.0	100.0	100.0	100.0
20 mm Elekten Geçen	%	100.0	100.0	100.0	97.2
16 mm Elekten Geçen	%	100.0	96.1	100.0	93.4
14 mm Elekten Geçen	%	100.0	89.5	100.0	90.5
12.5 mm Elekten Geçen	%	100.0	81.4	100.0	81.8
11.2 mm Elekten Geçen	%	100.0	70.6	100.0	72.8
10 mm Elekten Geçen	%	100.0	60.5	100.0	62.2
8 mm Elekten Geçen	%	99.9	40.8	100.0	38.1
6.3 mm Elekten Geçen	%	99.9	21.7	100.0	23.4
5.6 mm Elekten Geçen	%	99.8	15.2	100.0	18.4
5 mm Elekten Geçen	%	99.8	11.4	99.9	12.7
4 mm Elekten Geçen	%	98.6	2.3	99.0	5.9
2 mm Elekten Geçen	%	71.0	0.6	72.1	1.6
1 mm Elekten Geçen	%	48.4	0.5	50.5	1.0
500 µm Elekten Geçen	%	31.5	0.4	34.5	0.7
250 µm Elekten Geçen	%	16.4	0.2	20.0	0.6
125 µm Elekten Geçen	%	9.7	0.1	12.0	0.4
63 µm Elekten Geçen	%	6.0	0.1	8.2	0.1
Çok İnce Malzeme	%	6.9	1.0	10.9	2.2

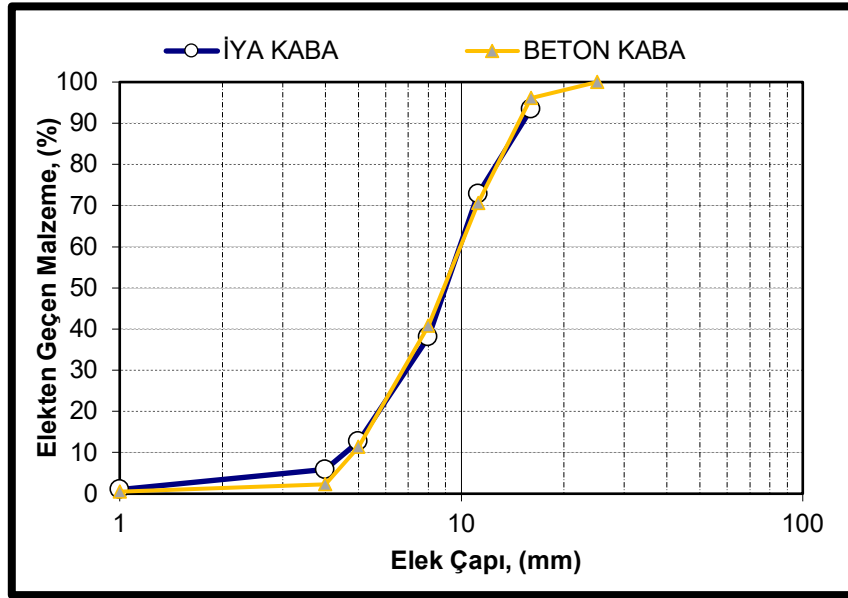
BETON: Tek beton molozu (Single concrete waste)

İYA: Karışık atık (Mix waste)



Şekil 6: BETON ve İYA İNCE elek analizi sonuçları, (TS EN 933-1)  
Figure 6: BETON and İYA FINE sieve analysis results, (TS EN 933-1)





Şekil 7: BETON ve İYA KABA elek analizi sonuçları, (TS EN 933-1)  
Figure 7: BETON and İYA COARSE sieve analysis results, (TS EN 933-1)

### 3.2) BETON ve İYA Agregalarının Deneysel Test Sonuçları

Numunelerden örnek alınırken geri dönüşüm malzemeleri çeşitli bölgelerden çok sayıda örnek alınarak harmanlanmıştır. Daha sonra bu harmanmış karışım çeyreklenme yöntemi kullanılarak ayrılmış ve numuneler seçilmiştir. Tek beton (BETON) moloz atıkları kırıcı yardımıyla öğütülmüş olup, sonrasında ince (0-5 mm) ve iri agrega (5-20 mm) olarak deneysel testleri gerçekleştirilmiştir.

#### 3.2.1) BETON İnce Agregası Fraksiyonu (0-5mm)

İnce taneli malzemelerin elek analiz sonuçları TS EN 933-1'de belirtilen standartlara uygun olarak Tablo 1'de detaylı olarak belirlenmiştir. Ayrıca, bu malzemelerde, ince malzemelerin kalitesinin belirlenmesi için TS EN 933-9 ve TS EN 933-8+A1 standartlarına uygun olarak bulgular sırasıyla Tablo 2'de verilmiştir. İnce BETON agrega numunelerinin zararlı kimyasal maddeler içerip içermediğini belirlemek için metilen mavisi deneyi ve kum eşdeğerliği testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, 0.91 değerinde metilen mavisi sonucu elde edilmiştir; bu değer, belirlenen sınır koşullarını sağlamaktadır. Genel olarak, metilen mavisi değeri 2'den fazla olan agregaların zararlı maddeler içerebileceği ve bu nedenle yapı malzemeleri üretiminde kullanılmaması gerektiği ifade edilmiştir (İpek ve diğ. 2003). Ayrıca, geleneksel yapı malzemelerinde metilen mavisi değerinin yüksek olmasının dayanım özelliklerini olumsuz etkilediği ve basınç dayanımını düşürdüğü birçok araştırmacı tarafından vurgulanmıştır (Nikoladies ve diğ. 2007, Topçu ve Demir 2008).

Geri dönüşüm agregalarında kum eşdeğerliği testi, agreganın içindeki ince toz, organik maddeler ve zararlı kirleticilerin miktarını belirlemek amacıyla yapılmaktadır. BETON geri dönüşüm agrega numunelerinin kum eşdeğerliği değeri %82 olarak belirlenmiştir. İnce agregalarda kum eşdeğerliği değeri genellikle %40 veya daha yüksek olması gerekir (TS EN 933-8). Bu sınır değerinin altında bir kum eşdeğerliği değeri, geri dönüşüm agregasının içinde fazla miktarda zararlı kirletici bulunduğunu ve bu nedenle inşaat projelerinde kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Kum eşdeğerliği değerlerinin belirlenen sınır koşullarını sağlamaması durumunda yapı elemanlarında dayanım kaybı meydana gelebilir. Bu nedenle bu tür malzemelerin inşaat alanında kullanılmaması gerektiği yapılan çeşitli araştırmalarda vurgulanmıştır (Abdoli ve diğ. 2015). Ancak bu çalışmada elde edilen sonuçlar, geri dönüşüm agregalarının inşaat alanında kullanılabileceğini yapılan analiz sonuçları ile göstermiştir.

Tablo 2: BETON olarak ayrılmış ince malzemelerin analiz sonuçları, (TS EN 933-1, TS EN 933-9)  
 Table 2: Analysis results of fine materials separated as BETON (TS EN 933-1, TS EN 933-9)

Testler (Tests)	Standart (Standard)	Veriler (Data)	Sonuç (Result)
Granülometri	TS-EN 933-1	Elek analizi	Tablo 1
Metilen Mavisı Deneyi	TS-EN 933-9		0.91
Kum Eşdeğerliği Deneyi	TS-EN 933-8+A1	%	82

### 3.2.2) BETON Kaba Agregası Fraksiyonu (5-20 mm)

BETON iri taneli malzemelerin TS EN 933-1, TS EN 933-9, TS EN 933-8+A1 belirtilen standartlara uygun olarak testleri yapılmıştır. Ayrıca, BETON kaba agregalarda, malzemelerin kalitesinin belirlenmesi için agrega deney sonuçları Tablo 3'te detaylı olarak verilmiştir. Geri dönüşüm agregaları bu standartlara uygun olarak sınır koşullarını sağlamıştır.

Aşınma Direnci (Los Angeles) deneyleri sonucunda Tablo 3'te, geri dönüşüm kaba agregasının deneysel sonuçları verilmiştir. Karayolları Teknik Şartnamesi 2013'te (KGM 2013) kaba agregaların aşınma yüzdesi maksimum %30 olarak belirtilmiştir. BETON geri dönüşüm malzemelerin aşınma yüzdesi 27.4 olarak tespit edilmiştir. Bu geri dönüşüm agregaların aşınma direncinin sınırdaki çıkmasının nedenini aydınlatma esnasında dış ortamlara maruz kalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ayrıca, agregaların aşınma direncinin belirlenen sınır değerlerini aşması durumunda dayanıklılık sorunları ve yüzeysel problemler meydana gelebilir (Shakoor ve Brown 1996). Aşınma direnci yeterli seviyelerde olan geri dönüşüm agregalarının alt ve üst yapı sektöründe kullanımı, yapıların uzun ömürlü ve güvenli olmasını sağlayacaktır. Bu da hem maliyetleri azaltacak hem de sürdürülebilir inşaat uygulamalarını destekleyecektir. Ayrıca kaba agregaların fiziksel özellik olarak TS 1097-6 standartlarına göre yoğunluk  $2.63 \text{ g/cm}^3$  ve su emme oranları ise %7.2 olarak belirlenmiştir. Bu geri dönüşüm agregaların, normal agregalara göre benzer yoğunluğa sahip olduğu gözlemlenmiştir. Su emme oranı ise normal agregalara göre yüksek oranda elde edilmiştir. Sonuç olarak, yüksek su emme oranına sahip agregalar, yapıların kalitesi, dayanıklılığı ve güvenilirliği üzerinde ciddi olumsuz etkiler yaratabilir (Alhozaimy 2009). Geri dönüşüm agregalarının su emme oranının yüksek olması agreganın suya karşı oldukça geçirgen olduğunu ve durabilite özelliklerinde önemli azalmalar olduğu gösterir. Yüksek su emme oranına sahip geri dönüşüm agregaları için, yapı malzemelerinin kıvam ve dayanıklılık özellikleri göz önünde bulundurularak uygun su miktarı belirlenmelidir.

Çimento yerine %10 oranında atık içeren hamur karışımları oluşturulmuş ve priz başlangıç süresi 2 sa 25 dakika olarak belirlenmiştir. Priz bitiş süreleri ise 3 sa 15 dk olarak tespit edilmiştir. Normal standart hamur numunelere göre priz başlangıç süreleri uzundur. Normal Portland çimentolara göre yüksek olan numunelerde hidrasyon hızını artırarak priz süresi kısaltılabilir. Priz hızlandırıcı kimyasal katkı maddeleri kullanılarak priz süresi kontrol edilebilir.

Kaba BETON agrega numunelerinin zararlı kimyasal maddeler içerip içermediğini tespit edilebilmek için metilen mavisı deneyi ve kum eşdeğerliği testi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda, sırasıyla metilen mavisı değeri 0.71 ve kum eşdeğerliği değeri ise 0.91 olarak belirlenmiştir. Geri dönüşüm agregalarının kimyasal etki özelliklerinde belirlenen sınır koşullarını sağladığı gözlemlenmiştir. Agregaların kimyasal etki özelliklerini belirlemede, kum eşdeğerliği ve metilen mavisı değeri oldukça önemli parametrelerdir ve bu konu yapılan çalışmalarla da vurgulanmıştır (Nikolaides ve diğ. 2007).

Yassılık indeksi, TS EN 933-3 standartlarına göre kaba agregaların tane şeklinin tayininde belirlemek amacıyla yapılmıştır. Yassılık indeksi yüksek olan agregalar, genellikle daha iyi yerleşme ve sıkışma özelliklerine sahip olduğu, düşük yüzdelerde ise agreganın düzgün olmayan bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Betonda kullanılan agregalar için, yassılık indeksi genellikle %15-20 arasında, asfalt uygulamaları için ise bu değer %12-15 arasındadır. Yapılan analiz sonuçları yassılık indeksi değerinin sınır koşullarını sağladığı gözlemlenmiştir.

**Tablo 3: Ayrılmış iri agrega analiz sonuçları, (TS-EN 933-1, TS EN 933-9, TS EN 1097-6)**  
**Table 3: Separated coarse aggregate analysis results, (TS-EN 933-1, TS EN 933-9, TS EN 1097-6)**

<b>Testler (Tests)</b>	<b>Standart (Standard)</b>	<b>Veriler(Data)</b>	<b>Sonuç (Result)</b>
Granülometri	TS EN 933-1	Elek analizi	Tablo 1
Metilen Mavisı Deneyi	TS EN 933-9		0.71
Kum Eşdeğerliği Deneyi	TS EN 933-8+A1	%	91
Los Angeles Aşınma Tayini	TS EN 1097-2	%	27.4
Yoğunluk		g/cm <sup>3</sup>	2.63
Su Emme	TS EN 1097-6	%	7.2
Başlangıç ve Bitiş Priz Süresi	TS EN 196-3	Çimento yerine %10 oranında içeren hamur	Başlangıç: 2sa 25 dk Bitiş: 3 sa 15 dk
Yassılık İndeksi	TS EN 933-3	%	17
Toplam Kükürt içeriğinin Tayini	TS EN 1744-1	%	0.117
Metilen Mavisı Değeri	TS EN 933-9	g paint /kg	0.67

### 3.3) İYA (Karışık) Atık Malzemelerin Deneysel Test Sonuçları

İYA (Karışık) moloz atıkları kırıcı yardımıyla öğütülmüş olup, sonrasında (0-8 mm) elek çapından geçen malzemeleri deneysel test analizleri yapılmıştır.

#### 3.3.1) İYA Fiziksel ve Kimyasal Agrega Özellikleri (0-8 mm)

İYA malzemelerin analiz sonuçları TS EN 933-1, TS EN 933-9, TS EN 1097-6, TS EN 1744-1 ve TS EN 1097-2'de belirtilen standartlara uygun olarak belirlenmiştir. Ayrıca, İYA karışık malzemelerin ayrıntılı agrega deney sonuçları Tablo 4'te detaylı olarak verilmiştir.

**Tablo 4: Karışık İYA malzemelerin analiz sonuçları (TS EN 933-9, TS EN 1097-2, TS EN 1097-6, TS EN 1744-1)**

**Table 4: Analysis results of mixed İYA materials (TS EN 933-9, TS EN 1097-2, TS EN 1097-6, TS EN 1744-1)**

<b>Testler (Tests)</b>	<b>Standart (Standard)</b>	<b>Veriler (Data)</b>	<b>Sonuç (Result)</b>
Metilen Mavisı Değeri	TS EN 933-9		0.88
Los Angeles Aşınma Tayini	TS EN 1097-2	%	35.4
Su Emme	TS EN 1097-6	%	7.4
Yoğunluk		(g/cm <sup>3</sup> )	2.58
Toplam Kükürt İçeriğinin Tayini	TS EN 1744-1	%	0.2117

İYA karışık malzemelerinin parçalarından öğütülerek elde edilen geri dönüşüm agregaları incelenmiştir. Bu malzemelerde TS EN 933-9 standartlarına uygun olarak kil ve silt içeriği belirlenmiştir. Yapılan deneysel sonuçlarda metilen mavisı değeri (MM), ince geri dönüşüm malzemelerinde MM değeri 0.88 olarak belirlenmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre, agregaların sınır koşullarını sağladığı ve kimyasal maddelerin yapısında az bulunmasının olumlu sonuçlar doğurduğu tespit edilmiştir. Özellikle, kil ve organik malzemelerin beton agregasında az bulunması, yapı malzemelerinin üretiminde olumlu katkı sağlamaktadır (Köksal ve diğ. 2013).

İYA malzemelerin aşınma direnci ise BETON malzemelere göre yüksek elde edilmiştir. İYA geri dönüşüm malzemelerin aşınma yüzdesi 35.4 olarak belirlenmiştir. Bu geri dönüşüm agregaların aşınma direncinin yüksek çıkmasının nedeni ayrıştırma esnasında farklı malzemelerin karışım yüzdesinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

Ayrıca, karışık geri dönüşüm agregalarının yoğunluk değeri 2.58 g/cm<sup>3</sup> ve su emme oranları ise %7.4 olarak belirlenmiştir. Bu geri dönüşüm agregaların, BETON geri dönüşüm agregalara göre benzer yoğunluğa sahip olduğu tespit edilmiştir. Bu malzemelerin su emme oranı ise, BETON numunelerle yakın özellik göstermiştir

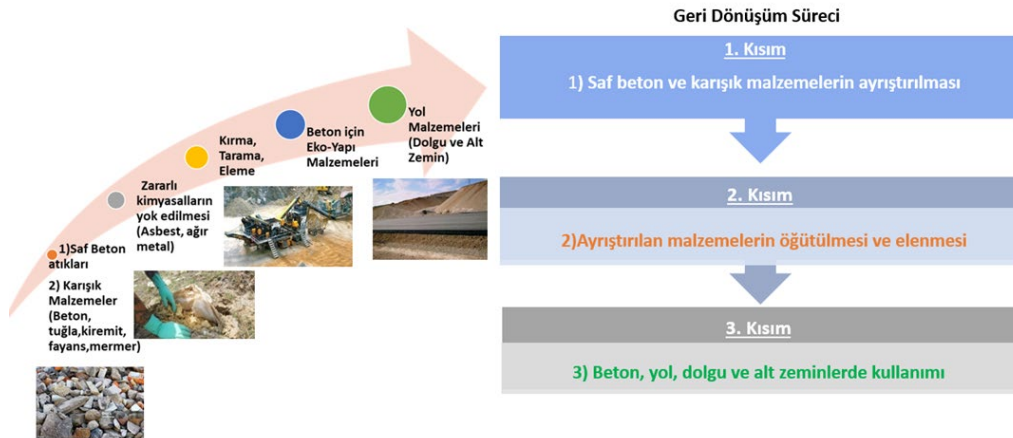
### 3.4) İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Geri Dönüşüm Süreci ve Öneriler

Gerri dönüşüm agregaları üzerinde yapılan analizlerle fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri belirlenmiş ve bu atıkların hangi alanlarda nasıl kullanılacağı belirlenmiştir. Deprem sonucu oluşan atıklar, saf beton ve karışık (beton, tuğla, fayans, mermer, cam vb.) malzemeler geri dönüştürülerek birçok alanda kullanılabilir. Bu malzemeler sınıflara ayrıldıktan sonra tane çaplarına göre sınıflandırılabilir. Kırma ve eleme işlemleri sonucunda farklı tane boyutlarına ayrılan geri dönüştürülmüş agrega malzemeler, beton üretiminde, yol kaplamalarında, asfalt üretimlerinde ve zemin stabilizasyonlarında kullanılabilir. 0-5 mm çapındaki ince agregalar harç üretiminde, 5-20 mm aralığındaki agregalar ise beton üretiminde kaba agrega olarak kullanılabilir. 20-40 mm çapındaki malzemeler yol alt katmanlarında, 40-80 mm çapındaki geri dönüştürülmüş agregalar ise teknik dolgu çalışmalarında değerlendirilebilir (Şekil 8). Normal agregalar ile geri dönüştürülmüş agregaların birlikte kullanılmasıyla su/bağlayıcı oranları ve su emme oranları azaltılabilir. Beton üretiminde, su/bağlayıcı oranları kimyasal katkıları (süperakışkanlaştırıcı, hiperakışkanlaştırıcı vb.) ile optimum seviyeye ayarlanabilir.

## BETON VE İYA MALZEMELERİN GERİ DÖNÜŞÜM SÜRECİ



### Deprem Sonrası Yıkıntı Atıkları Geri Dönüşüm Süreci



Şekil 8: Deprem sonrası inşaat yıkıntı atıkları geri dönüşüm süreci  
Figure 8: Post-earthquake demolished construction wastes recycling process

Bu çalışmalar kapsamında, uygun bir geri dönüşüm tesisi kurularak, mobil ve sabit kırıcılar ile farklı boyutlardaki agregalar homojen bir şekilde boyutlandırılabilir. Deprem atıklarının ayrıştırılması için; havalı ayırıcı sistemleri, ileri düzey sensörler, manyetik ayırıcılar, yapay zeka ve robotik ayrıştırma yöntemleri kullanılmaktadır. Havalı ayırıcı sistemlerle, düşük yoğunluklu, istenmeyen veya zararlı malzemeler elimine edilerek yüksek kaliteli geri dönüştürülmüş agregalar elde edilebilir. İleri düzey sensörler, karışık halde bulunan küçük boyutlu ağır ve hafif malzemeleri ayırmak için yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Görüntü işleme teknolojileri ve robotlar ise, çeşitli inşaat atıklarını tanıyıp ayrıştırarak insan müdahalesini en aza indirmektedir. Kırıcılar yardımıyla farklı eleklardan geçirilerek tane sınıflarına ayrılabilirler. Bu geri dönüştürülmüş agregalarla ekolojik ve çevre dostu yapı malzemeleri üretilebilir. Bu malzemeler, sürdürülebilir inşaat ve yapı projelerinde kullanılmakta olup doğal kaynakların korunmasına katkı sağlamaktadır.

Geri dönüştürülmüş agregalar, zemin iyileştirme projelerinde temel dolgusu ve stabilizasyon malzemesi olarak kullanılabilir. Ayrıca, peyzaj projelerinde dekoratif malzeme olarak bahçe yollarında veya dış mekan zemin kaplamalarında da tercih edilebilir. Drenaj kanallarında ve su geçirgenliği olan alanlarda drenaj malzemesi olarak kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş agregalar, prefabrik beton elemanların üretiminde de değerlendirilebilir. Bu, sürdürülebilir inşaat projelerinde önemli bir avantaj sağlar. Özellikle geri dönüştürülmüş hafif agregalar, binaların duvar ve çatı yalıtımında termal ve akustik yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir. Geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı hem maliyet tasarrufu hem de çevresel sürdürülebilirliğe katkı sağlar.

Ülkemizin de içinde bulunduğu AB Yeşil Mutabakatı kapsamında 2050 yılına kadar net sıfır hedefinin gerçekleştirilmesine önemli katkılar sunacağı düşünülmektedir. 6 Şubat Kahramanmaraş depremleri sonucunda ortaya çıkan büyük miktardaki atıkların geri dönüşüm süreci, yalnızca iklim değişikliği ile mücadeleye değil, aynı zamanda ekonomik dönüşüme de katkı sağlayacaktır (Şekil 9). Bu yeni ekolojik yapı malzemelerinin üretimi, sürdürülebilir ve çevre dostu yapı malzemelerine geçişi hızlandıracaktır. Ayrıca, geri dönüştürülen malzemeler, inşaat projelerinde genellikle yeni hammaddelerden daha ucuz olmakta ve birçok sektörde geri dönüştürülerek ekonomiye önemli katkılar sunmaktadır.



Şekil 9: Geri dönüşüm tabanlı Eko-Yapı malzemeleri avantajları  
Figure 9: Advantages of recycling based Eco-Building materials

#### 4. SONUÇLAR

Malatya İli Yaka Mahallesi İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının iki farklı (BETON ve İYA) malzemelerin agrega olarak kullanımıyla ilgili yapılan deneysel sonuçlarının değerlendirilmesine ve kıyaslamasına yer verilmiştir.

- Geri dönüşüm agregalarının kimyasal özelliklerini belirlemede uygun olarak tayin edilen hafif organik kirleticilerin oranı ince ve iri agregalarda sınır koşullarını sağlamıştır.
- Yassılık indeksi TS EN 933-3 standartlarına göre iri agregaların tane şeklinin tayininde genellikle daha iyi yerleşme ve sıkışma özelliklerine sahip olduğu ve nihai kullanımına uygun olduğu belirlenmiştir.
- TS EN 1097-6 göre BETON ve İYA malzemelerden oluşan geri dönüştürülmüş agregaların su emme oranı normal agregalara göre yüksektir.
- BETON geri dönüşüm malzemelerin aşınma yüzdesi sınır koşulları sağlamış ve dayanım özellikleri yüksek agregalar elde edilmiştir.
- İYA malzemelerinin metilen mavisini değeri (MM), ince geri dönüşüm malzemelerinde MM değeri 0.88 olarak belirlendiği ve agregaların sınır koşullarını sağladığı gözlenmiştir.
- Bu geri dönüşüm agregaların, normal agregalara göre benzer yoğunluğa sahip olduğu belirlenmiştir.
- Su emme oranı ise normal agregalara göre yüksek oranda elde edilmiştir. Yüksek su emme oranına sahip agregalar, beton karışımında dayanım özelliklerini etkilemekte, betonun kıvamı ve dayanıklılık özellikleri dikkate alınarak su miktarı belirlenmelidir.
- Yapılan çalışmada, geri dönüşüm agregaları betonun kıvamına ve dayanımını etkilemekte akışkanlaştırıcılar ve polikarboksilat bazı kimyasal katkıların kullanılması tavsiye edilmektedir
- Deprem atıklarının ayrıştırılmasında ileri düzey sensörler, görüntü işleme teknolojileri ve robotik ayrıştırma yöntemleri kullanılarak yüksek kaliteli geri dönüştürülmüş agregalar elde edilebilir.
- Sonuç olarak, bu verilere dayanarak kullanılan agregaların betonun genel performansı üzerindeki etkilerini dikkatlice değerlendirmek ve optimum karışım oranlarını buna göre ayarlamak oldukça önemlidir. Doğru agregaların seçilmesi ve uygun oranlarda kullanılması, betonun dayanıklılığı, mukavemeti ve uzun ömürlü olmasını sağlayarak yapıların güvenliğini ve kalitesini artıracaktır.

#### KAYNAKLAR

Abdoli M.A., Fathollahi A., Babaei R., 2015. The Application of Recycled Aggregates of Construction Debris in Asphalt Concrete Mix Design, *Int. J. Environ. Res.*, 9, 489-494.

AFAD, 2023. 06 ŞUBAT 2023 PAZARCIK-ELBİSTAN KAHRAMANMARAŞ (Mw: 7.7 – Mw: 7.6) DEPREMLERİ RAPORU, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü Deprem Dairesi Başkanlığı 02 Haziran 2023. Erişim adresi: [https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu\\_02.06.2023.pdf](https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf).

Alhozaimy A.M., 2009. Effect of absorption of limestone aggregates on strength and slump loss of concrete, *Cem. Concr. Compos.*, 31, 470-473.

Balemba C., Mirenge B., Konde D., Hossiney N., Kumar S.L., Chandra K.S., 2021. A Review on Utilization of Construction and Demolition Waste (CDW) Toward Green and Circular, (In: Kumar Shukla S., Raman S.N., Bhattacharjee B., Bhattacharjee J. (eds) *Advances in Geotechnics and Structural Engineering, Lecture Notes in Civil Engineering*, 143. Springer, Singapore, [https://doi.org/10.1007/978-981-33-6969-6\\_20](https://doi.org/10.1007/978-981-33-6969-6_20)).

Behera M., Bhattacharyya S.K., Minocha A.K., Deoliya R., Maiti S., 2014. Recycled aggregate from C&D waste & its use in concrete – A breakthrough towards sustainability in construction sector: A review *Constr. Build. Mater.*, 68, 501-516, <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILDMAT.2014.07.003>.

Bogiatzidis C., Zoumpoulakis L., 2018. Development of Building and Insulation Epoxy Based Composite Materials Loaded with Construction and Demolition Wastes; Mechanical and Thermal- Insulation Behaviour Analysis, *J. Mater. Sci. Res. Rev.*, 1, 1-11.

Bravo M., De Brito J., Pontes J., Evangelista L., 2017. Shrinkage and creep performance of concrete with recycled aggregates from CDW plants, *Mag. Concr. Res.*, 69(19), 974-995, <https://doi.org/10.1680/jmacr.17.00031>.

Burciaga U.M., Sáez P.V., Ayón F.J.H., 2019. Strategies to reduce CO<sub>2</sub> emissions in housing building by means of CDW, *Emerg. Sci. J.*, 3, 274-284.

Cantero B., Bravo M., De Brito J., Sáez del Bosque I.F., Medina C., 2020. Thermal Performance of Concrete with Recycled Concrete Powder as Partial Cement Replacement and Recycled CDW Aggregate, *Appl. Sci.*, 10, 4540, <https://doi.org/10.3390/app10134540>.

Caro D., Lodato C., Damgaard A., Cristóbal J., Foster G., Flachenecker F., Toninl D., 2024. Environmental and socio-economic effects of construction and demolition waste recycling in the European Union Sci. Total Environ, *Science of The Total Environment*, 908, 168295, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.168295>.

Da Silva SR., Andrade J.J.D.O., 2022. A Review on the Effect of Mechanical Properties and Durability of Concrete with Construction and Demolition Waste (CDW) and Fly Ash in the Production of New Cement Concrete, *Sustainability*, 14, 6740, <https://doi.org/10.3390/su14116740>.

Dogdu G., Alkan S.N., 2023. Deprem Sonrası Oluşan İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Değerlendirilmesi: 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri, *Artvin Çoruh Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 1, 38-50.

Fan Y., Xiao J., Tam V.W.Y., 2014. Effect of old attached mortar on the creep of recycled aggregate concrete, *Struct. Concr.*, 15, 169-178, <https://doi.org/10.1002/suco.201300055>.

Hidalgo C., Carvajal G., Hincapie A., Muñoz F., Hernández M., 2023. Ground Improvement by Construction and Demolition Waste (CDW) Soil Mixture Replacement, *Buildings*, 13, 779.

İpek M., Meral Z., Çelik M.H., 2003. Sakarya Pamukova Bölgesinden Alınan Yapay Agregada (Kırmataş) İçerisindeki Kil - Silt Miktarının Deneysel Olarak Beton Basınç Dayanımına Etkisi, *SAÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(3), 197-204.

Jia J., Chen H., Yang M., Zhang Y., Wu S., Zhang Z., Zhou Y., 2024. Reuse of construction and demolition waste (CDW) fines as plant-growing substrate, *J. Mater. Cycles Waste Manag.*, 26, 2830-2840.

KGM, 2013. Karayolları Teknik Şartnamesi 2013 (Yol Altyapısı, Sanat Yapıları, Köprü ve Tüneller, Üstyapı ve Çeşitli İşler), Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara, Türkiye.

Klinge A., Roswag-Klinge E., Paganoni S., Radeljic L., Lehmann M., 2019. Design concept for prefabricated elements from CDW timber for a circular building, *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 323, 012022.

Köksal A., Abit O., Karataş E., 2013. Metilen mavisi yüksek agregalar ve farklı özellikteki kimyasal katkılarla yapılan beton çalışmaları, Yapıchem Kimya Sanayi AŞ İstanbul, Erişim adresi: <https://www.yapichem.com.tr/Upload/Texts/288-Beton-2013.Pdf>.

Nikolaides A., Manthos E., Sarafidou M., 2007. Sand equivalent and methylene blue value of aggregates for highway engineering, *Found. Civ. Environ. Eng.*, 10, 111-121.

Ossa A., García J.L., Botero E., 2016. Use of recycled construction and demolition waste (CDW) aggregates: A sustainable alternative for the pavement construction industry, *J. Clean. Prod.*, 135, 379-386.

Özcelikci E., Aldemir A., Sahmaran M., 2023. Efficient Recovery of Valuable Resources from Construction and Demolition Waste Towards Circular Economy in Construction Industry— Sustainability Assessment and a Case Study, (In: Bragança L., Cvetkovska M., Askar R., Ungureanu V. (eds) *Creating a Roadmap Towards Circularity in the Built Environment*. Springer Tracts in Civil Engineering . Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-45980-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-45980-1_14)).

Özcelikci E., Ozdogru E., Tugluca M.S., Ilcan H., Sahmaran M., 2024. Comprehensive investigation of performance of construction and demolition waste based wood fiber reinforced geopolymer composites, *J. Build. Eng.*, 84, 108682.

Reis G.S., Quattrone M., Ambrós W.M., Grigore Cazacliu B., Hoffmann Sampaio C., 2021. Current Applications of Recycled Aggregates from Construction and Demolition: A Review, *Materials*, 14(7), 1700; <https://doi.org/10.3390/ma14071700>.

Sata V., Chindaprasirt P., 2020. Use of construction and demolition waste (CDW) for alkali-activated or geopolymer concrete, *Advances in Construction and Demolition Waste Recycling* pp. 385-403, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819055-5.00019-X>.

Serina N., Engelsen C.J., 2018. Construction and demolition wastes. In *Waste and Supplementary Cementitious Materials in Concrete: Characterisation, Properties and Applications*, pp. 229-255. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102156-9.00008-0>.

Shakoor A., Brown C.L., 1996. Development of a quantitative relationship between unconfined compressive strength and Los Angeles abrasion loss for carbonate rocks, *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 53(1): 97-103.

Temelli U.E., Sezgin N., Cumali B.Ö., 2023. Afet Zamanlarında İnşaat Yıkıntı Atıklarının Belirlenmesi ve Atıkların Değerlendirilmesi: Kahramanmaraş Depremi Örneği, *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 8(2), 225-232, <https://doi.org/10.35229/jaes.1286631>.

Topçu I.B., Demir A., 2008. Relationship between methylene blue values of concrete aggregate fines and some concrete properties, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 35(4), 379-383, <https://doi.org/10.1139/L07-111>.

TS EN 933-1. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımının tayini - Eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, 2012.

TS EN 933-8+A1. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 8: İnce tanelerin tayini- Kum eşdeğeri tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2012.

TS EN 933-9. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler, İnce tanelerin tayini, Metilen mavisini deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, 2022.

TS EN 1097-2. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, Türk Standartları Enstitüsü, 2010.



TS EN 1097-6. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler Bölüm 6: Tane yoğunluğuve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2013.

TS EN 196-3. Çimento deney yöntemleri - Bölüm 3: Priz süreleri ve genleşme tayini, Türk Standartları Enstitüsü, 2017.

TS EN 933-3. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Tane şekli tayini - Yassılık endeksi, Türk Standartları Enstitüsü, 2012.

TS EN 1744-1. Agregaların kimyasal özellikleri için deneyler- Bölüm 1: Kimyasal analiz, Türk Standartları Enstitüsü, 2010.

Whittaker M.J., Grigoriadis K., Soutsos M., Sha W., Klinge A., Paganoni S., Casado M., Brander L., Mousavi M., Scullin M., Correia R., Zerbi T., Staiano G., Merli I., Ingrosso I., Attanasio A., Largo A., 2021. Novel construction and demolition waste (CDW) treatment and uses to maximize reuse and recycling, *Adv. Build. Energy Res.*, 15(2), 253-269. <https://doi.org/10.1080/17512549.2019.1702586>.

Wu L., Sun Z., Gao Y., 2024. Modification of recycled aggregate and conservation and application of recycled aggregate concrete: A review, *Constr. Build. Mater*, 431, 136567.

Zhao Y., Goulias D., Tefa L., Bassani M., 2021. Life Cycle Economic and Environmental Impacts of CDW Recycled Aggregates in Roadway Construction and Rehabilitation, *Sustainability*, 13, 8611, <https://doi.org/10.3390/su13158611>.

#### **YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI** (*Author Contributions*)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*):M.M.M.
- Literatür araştırması (*Literature research*): :M.M.M.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/compilation of data*): M.M.M.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): M.M.M.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/tables/software*):M.M.M.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): :M.M.M.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): M.M.M.