

AKÜ FEMÜBİD 23 (2023) 025601 (438-447)

AKU J. Sci. Eng. 23 (2023) 025601 (438-447)

DOI: 10.35414/akufemubid.1133802

Araştırma Makalesi / Research Article

Geri Dönüşüm Agregalı Betonların Çevresel Etki Değerlendirmelerinin Yapılması

Muhammed ULUCAN^{1,*}, Kürşat Esat ALYAMAÇ¹¹İnşaat Mühendisliği, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, TÜRKİYE

*Sorumlu yazarın e-posta adresi: mulucan@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7629-6846>
kealyamac@firat.edu.tr ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3226-4073>

Geliş Tarihi: 23.06.2022

Kabul Tarihi: 02.03.2023

Öz

Anahtar kelimeler

Geri dönüşümlü beton
agregası;
Deprem;
İnşaat yıkıntı atığı;
Yaşam döngüsü analizi

Bu çalışma, 24 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice depremi sonrasında kontrollü bir şekilde yıkılan binalardan ortaya çıkan geri dönüştürülmüş beton agregaları kullanılarak üretilen geri dönüşüm iri agregalı betonların (GDİAB) ve doğal agregalı betonların (DAB) çevresel etki sonuçlarını karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla 12 farklı beton serisi üretilmiş ve çevresel etki değerlendirmeleri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar yapılırken çevresel etki kategorilerinden Enerji Tüketimi, Küresel Isınma Potansiyeli, Atık Üretimi ve Abiyotik Tükenme ele alınmıştır. Üretilen betonların çevresel etki karşılaştırmalarını yapabilmek için dört farklı senaryo geliştirilmiştir. Senaryolar incelendiğinde geri dönüşümlü beton agregalarının kullanımının büyük çevresel faydalar sağladığı görülmüştür. Deprem sonrası ortaya çıkan milyonlarca ton atık malzeme ve yeni inşa edilen binalar göz önüne alındığında, atık malzemelerin geri dönüştürülmesinin büyük önem taşıdığı bir kez daha ortaya çıkmıştır.

Environmental Impact Assessment of Recycled Aggregate Concretes

Abstract

Keywords

Recycled concrete
aggregate;
Earthquake;
Construction and
demolition waste;
Life cycle assessment

This study aims to compare the environmental impact results of recycled coarse aggregate concrete (RCAC) produced using recycled concrete aggregates (RCA) that emerged the demolished buildings in a controlled manner after January 24, 2020, Elazığ-Sivrice earthquake, recycled coarse aggregate concrete (RCAC), and natural aggregate concrete (NAC). For this purpose, 12 different concrete series were produced, and their environmental impact assessments were compared. While making comparisons, Energy Consumption, Global Warming Potential, Waste Generation, and Abiotic Depletion, which are environmental impact categories, were discussed. Four different scenarios were developed to make environmental impact comparisons of the produced concretes. When the scenarios were examined, it was seen that the use of recycled concrete aggregate provides great environmental benefits. Considering the millions of tons of waste materials and newly constructed buildings that emerged after the earthquake, it has once again emerged that recycling waste materials is of great importance.

1. Giriş

Dünyada artan insan nüfusu nedeniyle çevresel bozulma, tüm dünyanın karşı karşıya olduğu en kritik sorunlardan biridir (Peña *et al.*, 2022). Ayrıca nüfus artışındaki patlama ile inşaat ve sanayi sektöründeki üretim ciddi bir çevresel tehdide yol açmıştır (González-Quintero *et al.*, 2021). Bu nedenle sürdürülebilirliğin sağlanması büyük önem taşımaktadır. Toplumlar, sürdürülebilirlik nedenleriyle üretim ve tüketimin döngüsellğine daha fazla ilgi göstermektedir. Örneğin, inşaat sektörü dünya çapında yıllık kaynak tüketiminin neredeyse %50'sinden sorumludur (Oberle *et al.*, 2019). Ayrıca en bakir hammadde tüketen ve en fazla atık üreten sektörlerden biridir (Huuhka and Kolkwitz, 2021). 2011'de 37 gigaton metalik olmayan mineral malzeme çıkarılmıştır ve 2060'ta 86 gigaton'a yükselmesi beklenmektedir (Meglin *et al.*, 2021). Özellikle son yıllarda kentsel dönüşüm projeleri ve depremler nedeniyle birçok bina yıkılmış ve yerine yenileri yapılmıştır. Bu nedenle, büyük miktarlarda inşaat ve yıkıntı atıkları (İYA) ortaya çıkmaktadır. Çalışmalar, kişi ve gün başına 1,68 kg İYA'nın meydana geldiğini göstermektedir (Kaza *et al.*, 2018). Doğal kaynakların yüksek tüketimi ve yüksek İYA ortaya çıkması göz önüne alındığında, çevre, doğal kaynaklar ve ekosistemler yüksek baskı altındadır (OECD., 2020; Pomponi and Moncaster, 2017).

Beton, inşaat sektöründe ve dünya çapında en yaygın kullanılan yapı malzemesidir ve esas olarak çimento, kum ve agregalardan oluşur (Demir *et al.*, 2022; Marinković *et al.*, 2010). Bu malzemeler arasında betonda en fazla yeri agregalar kaplamaktadır (Guo *et al.*, 2018; Ulas *et al.*, 2019). Bu nedenle, beton üretiminde İYA sonrası elde edilen geri dönüştürülmüş beton agregalarının (GDBA) kullanılması, atıkla ilgili sorunların üstesinden gelmenin en iyi yollarından biri olarak kabul edilmektedir (Borghi *et al.*, 2018; Ram *et al.*, 2020). İnşaat sektöründe sürdürülebilirliği sağlamak için son yıllarda GDBA'ların kullanımı artmış ve çalışmaların odak noktası haline gelmiştir (Kisku *et al.*, 2017). Bu nedenle betonda GDBA'ların kullanılması, İYA'nın yeniden kullanımını sağlamak ve doğal kaynak tüketimini azaltmak açısından oldukça avantajlıdır (Wijayasundara *et al.*, 2018). Ek olarak, doğal agregaların GDBA'larla yer değiştirilerek kullanılması enerji tüketimini, karbon

emisyollarını ve çevre kirliliğini de azaltmaktadır (Majhi *et al.*, 2018).

Daha önceki çalışmalarda GDBA içeren betonların mekanik özelliklerini inceleyen birçok çalışma bulunmaktadır (Medina *et al.*, 2014). Ancak karışımlar tasarlanırken sadece mekanik özellikler değil aynı zamanda çevresel etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle çevresel etkileri dikkate alan bir çalışma gereklidir. Dolayısıyla Elazığ-Sivrice depremi sonucu ortaya çıkan GDBA'lar kullanılarak üretilen betonların yaşam döngüsü değerlendirmelerinin yapılması ve bu betonların çevresel etkilerinin karşılaştırılması büyük önem taşımaktadır.

Bu çalışma, 24 Ocak 2020 Elazığ-Sivrice depremi sonrasında kontrollü bir şekilde yıkılan binalardan ortaya çıkan GDBA'lar kullanılarak üretilen betonların ve doğal agrega kullanılarak üretilen betonların (DAB) çevresel özelliklerini incelemeyi ve karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Bu amaçla 12 seri beton numune üretilmiş ve yaşam döngüsü analizleri (YDA) yapılmıştır. YDA'lar uygulanırken 4 farklı senaryo dikkate alınmış ve enerji tüketimi (ET), küresel ısınma potansiyeli (KIP), atık üretimi (AÜ) ve abiotik tükenme (AT) incelenmiştir. Bu senaryolar sonucunda GDBA kullanımının önemli çevresel faydalar sağlayacağı görülmüştür.

2. Materyal ve Metot

2.1 Malzemeler

Bu çalışmada, TS EN 197-1 standardına uygun olarak üretilmiş, 28 günlük basınç dayanımı 48.3 MPa olan CEM I 42.5 R Portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimento, Elazığ Çimento fabrikasından temin edilmiştir. Çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri (%).

Kimyasal özellikler	Çimento
CaO	63,19
SiO ₂	19,07
Fe ₂ O ₃	3,72
Al ₂ O ₃	4,82
SiO ₃	2,94
Na ₂ O	0,39
K ₂ O	0,62
MgO	1,83
Cl-	0,01
Çözünmeyen kalıntı	0,56
Kızdırma kaybı	3,43
Fiziksel özellikler	
Özgül yüzey (cm ² /g)	3838
Özgül ağırlık (g/cm ³)	3,13
Priz başlangıcı (dakika)	135
Priz sonu (dakika)	215

Beton karışımlarında agrega olarak Elazığ-Sivrice depremi sonrası yıkılan bir binadan elde edilen GDBA'lar kullanılmıştır. Binanın yıkılması sonrası ortaya çıkan beton kütleleri, konkasörde kırıcılar yardımıyla parçalanarak farklı boyutlardaki GDBA haline getirilmiştir. GDBA'lar 0-4, 4-16, 16-31.5 mm'lik silolarda ince, iri-1 ve iri-2 malzeme olarak sınıflandırılmış ve Fırat Üniversitesi Yapı Malzemeleri Laboratuvarına getirilmiştir. Daha sonra GDBA'ların fiziksel deneyleri laboratuvarda yapılmış ve sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılan GDBA'ların elde edilme aşamaları Şekil 1'de verilmiştir. Öncelikle yıkılan bir binadan ortaya çıkan beton kütleleri bir kepçe yardımıyla alınmıştır (Şekil 1.a). Ardından bu beton kütleleri bir kamyonla doldurularak Elazığ-Karayazı bölgesinde bulunan bir beton santraline götürülmüştür (Şekil 1.b). Burada beton kütleleri bir konkasör yardımıyla kırılarak farklı boyutlarda GDBA'lar elde edilmiştir (Şekil 1.c). Elde edilen GDBA'lar Şekil 1.d'de verilmiştir.



Şekil 1. GDBA'ların elde edilme aşamaları
Tüm beton karışımlarında su azaltıcı kimyasal katkı olarak CHRYSO Optima 280 - SC3 süper akışkanlaştırıcısı kullanılmıştır. Beton karışımlarına ait veriler Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 2. GDBA'ların fiziksel deney sonuçları.

Özellik	İnce	İri-1	İri-2
Metilen mavisi	1,50	-	-
Los Angeles aşınma (LA)	-	-	22,8
Doygun özkül ağırlık	2,48	2,69	2,73
Kuru özkül ağırlık	2,45	2,66	2,70
Su emme (%)	9,8	4,2	3,6

Çizelge 3. Beton serilerine ait karışım oranları

Seri Adı	Su/Çimento	Çimento	Su	Kimyasal Katkı	Doğal Agrega			Geril Dönüşümlü Agrega			Slump (cm)
					İnce	İri-1	İri-2	İnce	İri-1	İri-2	
DAB-1	0,35	300	105,0	6,0	629,7	636,8	855,4	0,0	0,0	0,0	9
DAB-2	0,45	300	135,0	3,3	605,8	612,6	822,9	0,0	0,0	0,0	13
DAB-3	0,35	350	122,5	5,3	603,0	609,8	819,2	0,0	0,0	0,0	10
DAB-4	0,45	350	157,5	2,5	575,1	581,6	781,2	0,0	0,0	0,0	14
DAB-5	0,35	400	140,0	6,8	576,3	582,8	782,9	0,0	0,0	0,0	11
DAB-6	0,45	400	180,0	2,4	544,4	550,5	739,5	0,0	0,0	0,0	16
GDiAB-1	0,35	300	105,0	6,0	629,7	0,0	0,0	0,0	636,8	861,8	9
GDiAB-2	0,45	300	135,0	3,8	605,8	0,0	0,0	0,0	612,6	829,0	14
GDiAB-3	0,35	350	122,5	5,6	603,0	0,0	0,0	0,0	609,8	825,2	12
GDiAB-4	0,45	350	157,5	2,8	575,1	0,0	0,0	0,0	581,6	787,0	16
GDiAB-5	0,35	400	140,0	4,4	576,3	0,0	0,0	0,0	582,8	788,6	14
GDiAB-6	0,45	400	180,0	2,0	544,4	0,0	0,0	0,0	550,5	745,0	18

2.2 Yaşam döngüsü analizi (YDA)

EN ISO 14044 standardına göre, üretilen betonların çevresel etkisini analiz etme tekniklerinden biri yaşam döngüsü analizidir (EN ISO 14044, 2006). YDA metodolojisi ISO 14040 standardında detaylı bir şekilde açıklanmaktadır (EN ISO 14040, 2006). YDA yardımıyla ürünlerin üretim aşamasının başlangıcından sonuna kadar meydana gelen her aşamada ortaya çıkan çevresel etkiler detaylı bir şekilde incelenmektedir.

2.2.1. Amaç ve Kapsam

Bu YDA çalışmasının amacı Elazığ-Sivrice depremi sonrası oluşan milyonlarca ton atığın bertarafını sağlamak ve üretilecek farklı betonların çevresel etkilerinin karşılaştırmasını yapmaktır. Bu amaçla DAB ile GDiAB'ler üretilmiş ve bu betonların çevresel özellikleri detaylı bir şekilde incelenmiştir. Deprem sonrası binlerce bina yıkılmış ve yıkılan binaların yerine yeni binaların yapımına başlanmıştır. Dolayısıyla çok büyük miktarlarda beton üretilmekte ve ortaya çıkan atıkların beton içerisinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç

doğrultusunda 4 farklı senaryo geliştirilmiş ve bu senaryolara göre YDA'lar yapılmıştır. Geliştirilen senaryolar aşağıda detaylı bir şekilde verilmiştir:

Senaryo 1: Çimento ve katkı maddesi miktarı başta olmak üzere karışım bileşiminden kaynaklanan değişiklikleri dikkate alır. Doğal ve geri dönüştürülmüş beton agregaları için taşıma mesafesi farkı yoktur.

Senaryo 2: Karışım bileşiminden kaynaklanan değişiklikler ile doğal ve geri dönüştürülmüş beton agregaları arasındaki fiyat farkını dikkate alır.

Senaryo 3: Doğal ve geri dönüştürülmüş beton agregaları arasındaki karışım bileşimi ve taşıma farklılıklarından kaynaklanan değişiklikleri dikkate alır.

Senaryo 4: Karışım bileşimi, fiyat farkı ve taşıma farkından kaynaklanan değişiklikleri dikkate alır.

2.2.2. Yaşam döngüsü envanter analizi

ISO 14040-44 serisine göre envanter analizi, üretilen numunelerin çevresel açıdan önemli girdi ve çıktılarını değerlendirmeyi amaçlar (Jain *et al.*, 2020; Wernet *et al.*, 2016). Yaşam döngüsü envanteri, yaşam döngüsünün her aşamasında malzeme ve enerji gibi tüm çevresel girdi ve çıktılarının ayrıntılı bir derlemesinden oluşur (Colangelo *et al.*, 2018).

Elazığ'da agregaların çoğu çevre ilçelerdeki patlatmalardan elde edilmektedir. Bu nedenle agregaların taşınması ve teslimi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle doğal agregaların üretimi ve Elazığ'a taşınması için gerekli olan malzeme, enerji ve yakıt bilgileri ilgili üreticilerden toplanmıştır. Ayrıca Elazığ'daki geri dönüştürülmüş agrega üreticileri ve literatürdeki veriler dikkate alınarak geri dönüştürülmüş agrega üretimi için gerekli veriler kullanılmıştır. Son olarak, agrega üretimi, çimento üretimi, nakliye mesafesi ve GDBA üretimine dayalı olarak çevresel etkiler hesaplanmıştır (Marinković *et al.*, 2010). Bu çalışma kapsamında çevresel etki değerlendirmeleri yapılırken dikkate alınan veriler Çizelge 4'de verilmiştir.

Bu analizin fonksiyonel birimi 1 m³ beton olarak tanımlanmıştır. Bu bölümün amacı, üretilen farklı betonların çevresel etkilerini karşılaştırmaktır. Ancak çevresel etkilerin karşılaştırılabilmesi için üretilen betonların benzer basınç dayanımlarına sahip olmaları gerektiği vurgulanmıştır (Xiao *et al.*,

2016). Yine yapılan araştırmalarda GDİAB'lar ile DAB'lerin aynı basınç dayanımına sahip olabilmesi için GDİAB'lerin çimento miktarlarının yaklaşık olarak %10 civarında artırılması gerektiği tespit edilmiştir (Gutiérrez, 2004; Poon and Lam, 2008). Bu nedenle, bu çalışmada GDİAB'lerin çimento dozajları %10 artırılarak yaşam döngüsü analizleri gerçekleştirilmiştir. Katkı içeriğindeki farklılıklar oldukça az olduğundan katkı maddelerinin çevresel etkileri ihmal edilmiştir. YDA yapılırken dikkate alınan taşıma mesafeleri ve malzemelerin taşındığı kamyon tipleri Çizelge 5'de verilmiştir.

Çizelge 4. Yaşam döngüsü analizinin çeşitli aşamaları için envanter analiz verileri

	Çimento Üretimi	Doğal Agregası Üretimi	GDBA Üretimi	Beton üretimi (1 m ³)	Ulaşım (tkm)	
					Ağır kamyon	Orta-Ağır Kamyon
ET (MJ)	3,985359	0,01478	0,01818	20,06894	1,5409	3,2667
KIP (g)	861,2028	1,377926	1,694905	5698,210	110,770	234,850
AÜ (kg)	-	1	-1	-	-	-
AT (kg)	-	1	-	-	-	-

Çizelge 5. Ulaşım senaryosu

	Taşıma mesafesi (km)		Taşıma tipi
Doğal agrega	90		Orta-Ağır Kamyon
Geri dönüşümlü agrega	5		Orta-Ağır Kamyon
Çimento	110		Ağır Kamyon
Beton	5		Beton Mikseri ^a

^a Orta-ağır kamyonu eşdeğer olduğu varsayılır

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmanın temel amacı, Elazığ-Sivrice depremi sonrasında ortaya çıkan İYA'nın bertaraf edilmesini sağlamak ve üretilen betonların çevresel etki sonuçlarının karşılaştırılmasıdır. Bu amaçla deprem sonrası ortaya çıkan GDBA'lar kullanılarak farklı beton serileri üretilmiş ve bunların çevresel etkileri farklı senaryolar için değerlendirilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen çevresel etki sonuçları Çizelge 6'da verilmiştir.

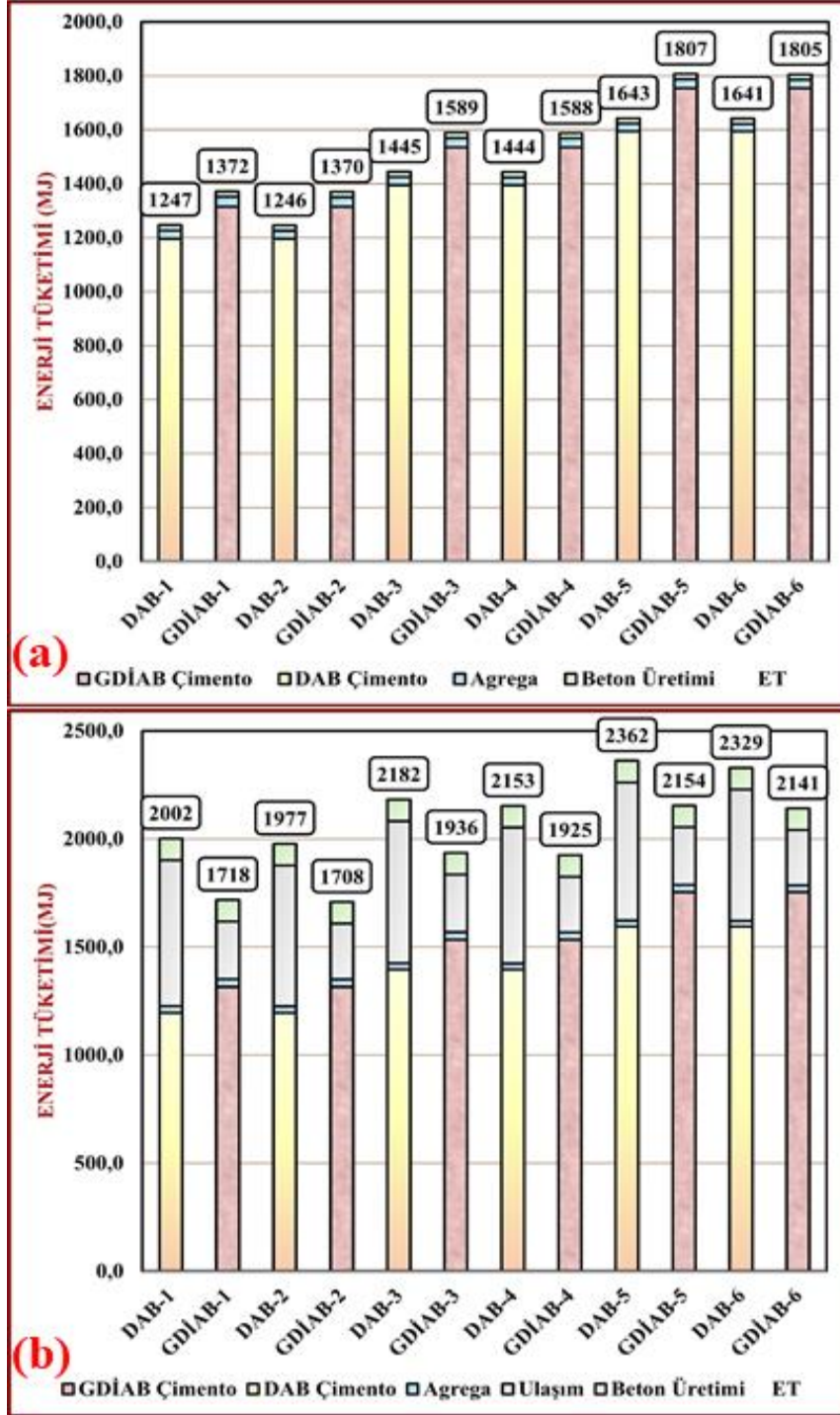
Çizelge 6. 1 m³ beton için çevresel etki sonuçları

Seri adı	Senaryo 1,2		Senaryo 3,4		Senaryo 1,2,3,4	
	ET (MJ)	KIP (kg CO ₂)	ET (MJ)	KIP (kg CO ₂)	AT (kg)	AÜ (kg)
DAB-1	1247	267	2002	316	2533	2122
DAB-2	1246	267	1977	314	2480	2041
DAB-3	1445	310	2182	357	2510	2032
DAB-4	1444	310	2153	355	2448	1938
DAB-5	1643	353	2362	399	2489	1942

DAB-6	1641	353	2329	396	2417	1834
GDiAB-1	1372	293	1718	312	1071	630
GDiAB-2	1370	293	1708	312	1075	606
GDiAB-3	1589	341	1936	360	1117	603
GDiAB-4	1588	340	1925	359	1121	575
GDiAB-5	1807	388	2154	407	1161	576
GDiAB-6	1805	388	2141	406	1167	544

DAB ve GDiAB'lar için detaylı YDA'lar yapılmış ve çevresel etki sonuçları belirlenmiştir. Farklı

senaryolara göre elde edilen ET sonuçları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Farklı senaryolara göre ET sonuçları.

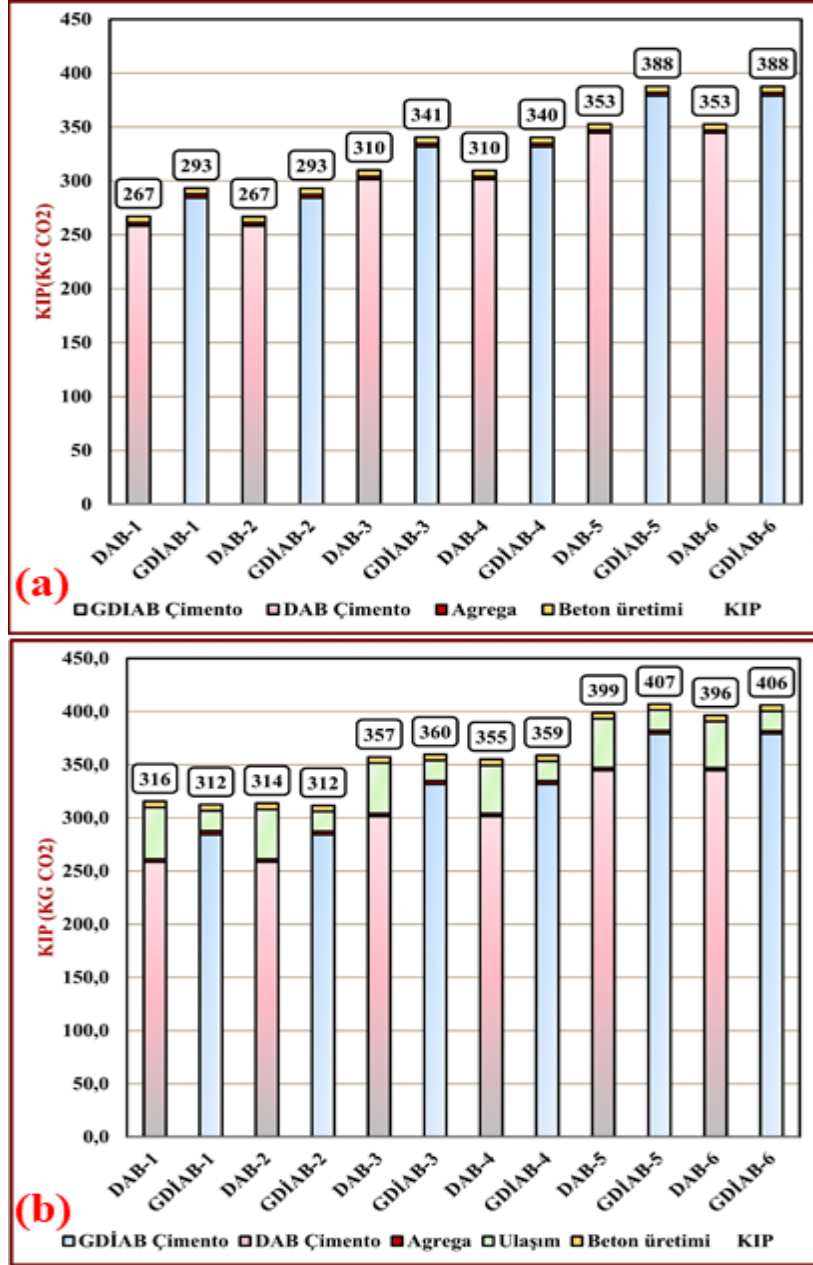
Şekil 2.a'da senaryo 1 ve 2'ye göre elde edilen ET sonuçları verilmiştir. Buradan DAB'lerin ET değerlerinin GDiAB'lerden daha düşük olduğu açıkça

görülmektedir. Bunun en büyük nedeni aynı dayanıma sahip olabilecek GDiAB'ler için çimento dozajının artırılması gerektiğidir. Örneğin DAB-3 ile

GDİAB-3 karşılaştırıldığında ET değerlerinin sırasıyla 1445-1589 MJ olduğu görülmektedir. Şekil 2.b ise senaryo 3 ve 4'e göre ET değerlerini göstermektedir. Buradan ET değerlerinde büyük farklılıklar olduğu görülmektedir. Bunun en büyük nedenlerinden biri ise taşımadan kaynaklı mesafe farklılıklarının dikkate alınmasıdır. Yine DAB-3 ile GDİAB-3 karşılaştırıldığında ET değerlerinin 2182-1936 MJ

olduğu görülmektedir. Bu da taşıma mesafesinin de ET değerleri üzerinde oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Yine yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir (Fraj and Idir, 2017; Ulucan and Alyamac, 2022).

DAB ve GDİAB'lar için farklı senaryolara göre elde edilen çevresel etki sonuçları Şekil 3'de verilmiştir.



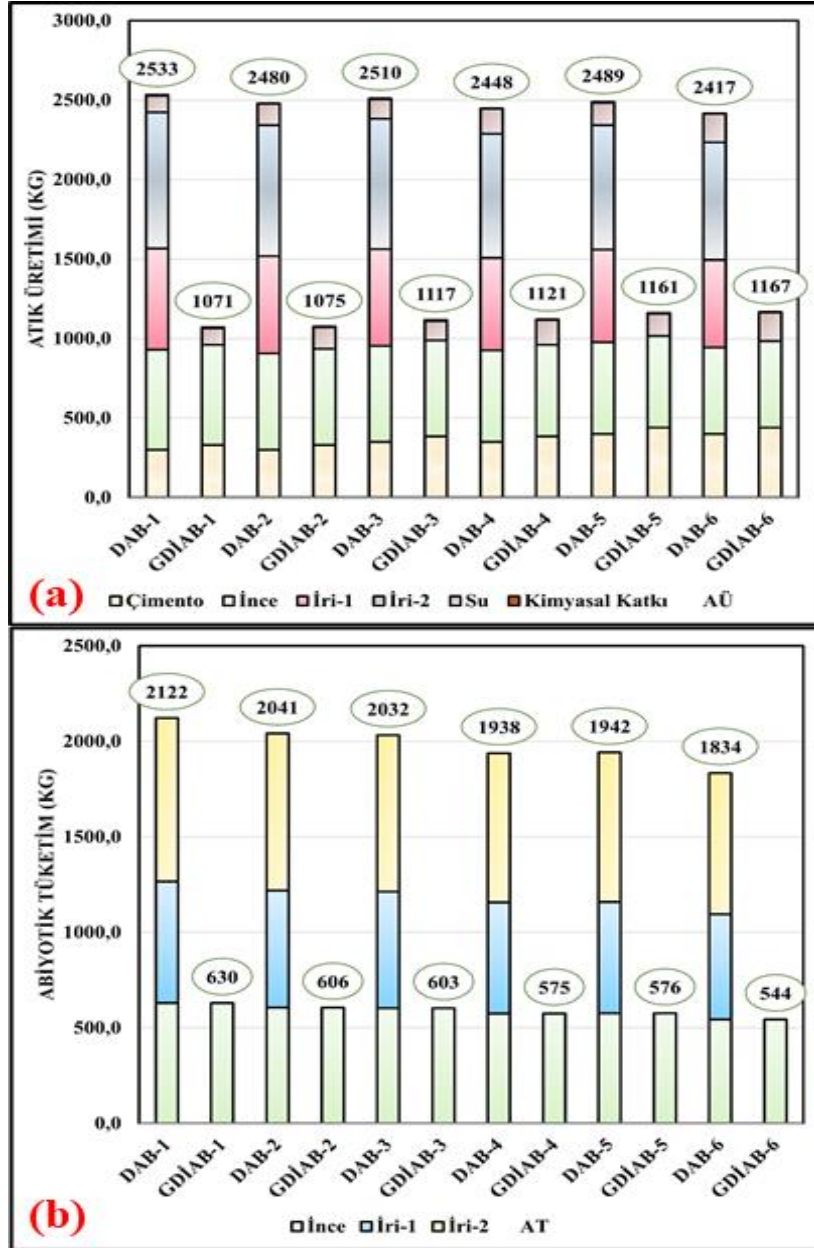
Şekil 3. Farklı senaryolara göre KIP sonuçları.

Şekil 3.a senaryo 1 ve senaryo 2'ye göre KIP değerlerini göstermekte ve DAB'lerin KIP değerlerinin GDİAB'lerden daha düşük olduğu açıkça görülmektedir. Yine KIP değerleri üzerinde çimentonun oldukça büyük bir etkisinin olduğu görülmektedir. Yapılan araştırmalarda da buna benzer sonuçlar görülmektedir (Proske *et al.*, 2014).

Örneğin DAB-2 ile GDİAB-2 karşılaştırılırsa KIP değerlerinin sırasıyla 267-293 kg CO₂ olduğu tespit edilmiştir. Şekil 3.b senaryo 3 ve senaryo 4'e göre KIP değerlerini göstermektedir. Burada farklı sonuçların elde edildiği görülmektedir. Bunun temel nedeni ise taşıma parametresinin dikkate alınmasıdır. Yine DAB-2 ile GDİAB-2 karşılaştırılacak

olursa KIP değerlerinin sırasıyla 314-312 kg CO₂ olduğu açıkça görülmektedir. Bu da taşıma parametresinin KIP değerleri üzerinde de etkili olduğunu göstermektedir. Yine yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiştir (Xiao *et al.*, 2018).

DAB ve GDİAB'lar için farklı senaryolara göre elde edilen atık üretimi ve abiyotik tükenme sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Farklı senaryolara göre AÜ ve AT sonuçları.

Şekil 4.a farklı senaryolara göre AÜ değerlerini göstermektedir. Burada DAB ve GDİAB'ler arasında büyük bir farkın olduğu açıkça görülmektedir. Bunun temel nedeni bu çalışmada agrega olarak iri agregaların GDBA, ince agreganın DBA olarak kullanılmasıdır. Örneğin DAB-4 ile GDİAB-4 incelenecek olursa AÜ değerlerinin sırasıyla 2448-1121 kg olduğu görülmektedir. Bu da AÜ değerlerinde yaklaşık %54.2'lik bir azalma olduğunu

göstermektedir. Artan beton üretimi ve agrega tüketimi düşünüldüğünde çevre kirliliğinin azaltılması, atıkların ortadan kaldırılması ve bu atıkların yönetilmesi gibi konular çok daha önemli hale gelmektedir. Özellikle Elazığ-Sivrice depremi buna güzel bir örnek olarak gösterilebilir. Şekil 4.b farklı senaryolara göre AT değerlerini göstermektedir. Burada DAB ve GDİAB'ler arasında yine büyük bir farkın olduğu görülmektedir. Örneğin

DAB-6 ile GDİAB-6 incelenecek olursa AT değerlerinin sırasıyla 1834-544 kg olduğu görülmektedir. Doğal agrega tüketiminin giderek artması ve Elazığ-Sivrice depreminden ortaya çıkan milyonlarca ton İYA'nın ortadan kaldırılması, atık malzeme kullanımının önemini artırmıştır. Bu nedenle, ortaya çıkan GDBA'ların değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Yine araştırmalar, GDBA kullanımının olumlu sonuçları olduğunu göstermiştir (Nuaklong *et al.*, 2016; Ossa *et al.*, 2016).

4. Sonuçlar

Betonun karışım tasarımları yapılırken sadece mekanik özellikler değil aynı zamanda çevresel etkiler de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmanın temel amacı üretilen farklı betonların çevresel açıdan bir karşılaştırmasını yapmaktır. Çalışmaya ait sonuç ve öneriler aşağıda yer almaktadır:

1. Taşıma parametresi, enerji tüketimi ve küresel ısınma potansiyel değerleri üzerinde etkili parametre olmuştur. Bu nedenle, geri dönüşüm tesisi ile taş ocağı arasındaki mesafe kritik olup, geri dönüştürülmüş agregalı betonun uygunluğu incelenirken taşıma mesafeleri dikkate alınmalıdır.
2. Çalışmada deprem sonrası oluşan atıkları bertaraf etmek ve minimum çevre kirliliğini sağlamak için geri dönüştürülmüş beton agregaları kullanılmıştır. Elazığ-Sivrice depremi sonrası binlerce binanın yeniden inşası ve beton hacminin %70-75'inin agregalardan oluştuğu düşünüldüğünde, bu agregaların kullanılmasının önemli ekonomik, sosyal ve çevresel katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.
3. Çalışmada geri dönüşümlü iri agregaların kullanımı AT ve AÜ değerlerinde çok büyük azalmalara neden olmuştur. Doğal kaynak tüketiminin artması ve beton tüketiminin giderek yaygınlaşması geri dönüşümlü beton agregalarının kullanımını daha da önemli hale getirmektedir.
4. Deprem riskinin yüksek olduğu yerleşim bölgelerinde olası yıkıcı depremler oluşmadan önce inşaat ve yıkım atıkları için atık yönetim sistemi oluşturulmalıdır. Böylece önemli teknik, çevresel ve ekonomik kazanımlar elde edilebilir.

Teşekkür

Bu çalışma, Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından "MF.21.52" kodlu proje ile desteklenmiştir.

5. Kaynaklar

- Borghi, G., Pantini, S., Rigamonti, L., 2018. Life cycle assessment of non-hazardous Construction and Demolition Waste (CDW) management in Lombardy Region (Italy). *J. Clean. Prod.* **184**, 815–825.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.287>
- Colangelo, F., Petrillo, A., Cioffi, R., Borrelli, C., Forcina, A., 2018. Life cycle assessment of recycled concretes: A case study in southern Italy. *Sci. Total Environ.* **615**, 1506–1517.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.107>
- Demir, T., Ulucan, M., Alyamac, K.E., 2022. Determination of Early Age Strength of High Strength Concretes Using RSM Method. *Fırat Univ. J. Eng. Sci.* **34**, 105–114.
<https://doi.org/10.35234/fumbd.972829>
- EN ISO 14040, 2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.
- EN ISO 14044, 2006. Environmental management: life cycle assessment; Principles and Framework. ISO.
- Fraj, A. Ben, Idir, R., 2017. Concrete based on recycled aggregates—Recycling and environmental analysis: A case study of paris' region. *Constr. Build. Mater.* **157**, 952–964.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.09.059>
- González-Quintero, R., Bolívar-Vergara, D.M., Chirinda, N., Arango, J., Pantevez, H., Barahona-Rosales, R., Sánchez-Pinzón, M.S., 2021. Environmental impact of primary beef production chain in Colombia: Carbon footprint, non-renewable energy and land use using Life Cycle Assessment. *Sci. Total Environ.* **773**, 145573.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.145573>

- Guo, Z., Tu, A., Chen, C., Lehman, D.E., 2018. Mechanical properties, durability, and life-cycle assessment of concrete building blocks incorporating recycled concrete aggregates. *J. Clean. Prod.* **199**, 136–149. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.069>
- Gutiérrez, A., 2004. Influence of recycled aggregate quality on concrete properties, in: *International RILEM Conference on the Use of Recycled Materials in Building and Structures*. RILEM Publications SARL, pp. 545–553.
- Huuhka, S., Kolkwitz, M., 2021. Stocks and flows of buildings: Analysis of existing, demolished, and constructed buildings in Tampere, Finland, (2000–2018). *J. Ind. Ecol.*
- Jain, S., Singhal, S., Pandey, S., 2020. Environmental life cycle assessment of construction and demolition waste recycling: A case of urban India. *Resour. Conserv. Recycl.* **155**, 104642. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104642>
- Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., Van Woerden, F., 2018. *What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050*. World Bank Publications. <https://doi.org/https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>
- Kisku, N., Joshi, H., Ansari, M., Panda, S.K., Nayak, S., Dutta, S.C., 2017. A critical review and assessment for usage of recycled aggregate as sustainable construction material. *Constr. Build. Mater.* **131**, 721–740. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.029>
- Majhi, R.K., Nayak, A.N., Mukharjee, B.B., 2018. Development of sustainable concrete using recycled coarse aggregate and ground granulated blast furnace slag. *Constr. Build. Mater.* **159**, 417–430. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.10.118>
- Marinković, S., Radonjanin, V., Malešev, M., Ignjatović, I., 2010. Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete. *Waste Manag.* **30**, 2255–2264. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2010.04.012>
- Medina, C., Zhu, W., Howind, T., de Rojas, M.I.S., Frías, M., 2014. Influence of mixed recycled aggregate on the physical–mechanical properties of recycled concrete. *J. Clean. Prod.* **68**, 216–225. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.01.002>
- Meglin, R., Kytzia, S., Habert, G., 2021. Regional circular economy of building materials: Environmental and economic assessment combining Material Flow Analysis, Input-Output Analyses, and Life Cycle Assessment. *J. Ind. Ecol.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jiec.13205>
- Nuaklong, P., Sata, V., Chindaprasirt, P., 2016. Influence of recycled aggregate on fly ash geopolymer concrete properties. *J. Clean. Prod.* **112**, 2300–2307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.10.109>
- Oberle, B., Bringezu, S., Hatfield-Dodds, S., Hellweg, S., Schandl, H., Clement, J., 2019. *Global resources outlook: 2019*. International Resource Panel, United Nations Envio. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>
- OECD., 2020. *Environment at a Glance 2020*. OECD Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/19964064>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.088>

- Peña, L.V.D.L., Taelman, S.E., Prétat, N., Boone, L., Van der Biest, K., Custódio, M., Lucas, S.H., Everaert, G., Dewulf, J., 2022. Towards a comprehensive sustainability methodology to assess anthropogenic impacts on ecosystems: Review of the integration of Life Cycle Assessment, Environmental Risk Assessment and Ecosystem Services Assessment. *Sci. Total Environ.* **808**, 152125. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152125>
- Pomponi, F., Moncaster, A., 2017. Circular economy for the built environment: A research framework. *J. Clean. Prod.* **143**, 710–718. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.055>
- Poon, C.S., Lam, C.S., 2008. The effect of aggregate-to-cement ratio and types of aggregates on the properties of pre-cast concrete blocks. *Cem. Concr. Compos.* **30**, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.10.005>
- Proske, T., Hainer, S., Rezvani, M., Graubner, C.-A., 2014. Eco-friendly concretes with reduced water and cement content—Mix design principles and application in practice. *Constr. Build. Mater.* **67**, 413–421. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.12.066>
- Ram, V.G., Kishore, K.C., Kalidindi, S.N., 2020. Environmental benefits of construction and demolition debris recycling: Evidence from an Indian case study using life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* **255**, 120258. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120258>
- Ulas, M.A., Alyamac, K.E., Ulucan, Z.C., 2019. Influence of Aggregate Gradation on the Workability, Mechanical Properties and Cost of Steel Fiber-Reinforced Concrete. *Adv. Civ. Eng. Mater.* **8**, 209–223. <https://doi.org/10.1520/ACEM20190009>
- Ulucan, M., Alyamac, K.E., 2022. A holistic assessment of the use of emerging recycled concrete aggregates after a destructive earthquake: Mechanical, economic and environmental. *Waste Manag.* **146**, 53–65. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2022.04.045>
- Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *Int. J. Life Cycle Assess.* **21**, 1218–1230. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1087-8>
- Wijayasundara, M., Mendis, P., Crawford, R.H., 2018. Integrated assessment of the use of recycled concrete aggregate replacing natural aggregate in structural concrete. *J. Clean. Prod.* **174**, 591–604. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.301>
- Xiao, J., Ma, Z., Ding, T., 2016. Reclamation chain of waste concrete: A case study of Shanghai. *Waste Manag.* **48**, 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.09.018>
- Xiao, J., Wang, C., Ding, T., Akbarnezhad, A., 2018. A recycled aggregate concrete high-rise building: Structural performance and embodied carbon footprint. *J. Clean. Prod.* **199**, 868–881. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.07.210>