

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA KULLANIMININ ÇEVRESEL
ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMİ
İLE DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Özge BABALIK

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri Mühendisliği ve Yönetimi Programı

KASIM 2022

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA KULLANIMININ ÇEVRESEL
ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMİ
İLE DEĞERLENDİRMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Özge BABALIK
(501171753)**

Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı

Çevre Bilimleri, Mühendisliği ve Yönetimi Programı

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Fatma Gülen İSKENDER
Eş Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Bilge BAŞ**

KASIM 2022

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 501171753 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Özge BABALIK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Fatma Gülen İSKENDER**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Dr. Öğr. Üyesi Bilge BAŞ**
İstanbul Bilgi Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Fatma Fatoş BABUNA**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Alper İLKİ
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Yasemin KAYA
İstanbul Üniversitesi - Cerrahpaşa

Teslim Tarihi : **05 Ekim 2022**
Savunma Tarihi : **03 Kasım 2022**





Aileme,



ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam boyunca beni destekleyen, motive eden, tüm içtenliği ile her zaman yanımda olan saygıdeğer danışmanım Prof. Dr. Gülen İSKENDER'e ve çalışmamda yardımcı olan, sabırla sorularıma cevap veren eş danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Bilge BAŞ'a ve ayrıca destekleri ve yardımları için Prof. Dr. Fatma Fatoş BABUNA'ya sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam için çalışmalarını benim ile paylaşan Prof. Dr. Alper İLKİ ve Doç. Dr. Çağlar AKKAYA'ya çok teşekkür ediyorum.

Son olarak bu süreçte her türlü destek ve motivasyon sağlayan sevgili aileme ve dostlarıma çok teşekkür ediyorum.

Kasım 2022

Özge BABALIK
(Çevre Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET.....	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Önemi.....	1
1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	5
2.1 YDD Hakkında Genel Bilgi	5
2.1.1 Amaç ve Kapsam	6
2.1.2 Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE).....	7
2.1.3 Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED).....	8
2.1.4 Yorumlama.....	9
2.2 Beton	9
2.2.1 Geri dönüştürülmüş agrega ve kullanım alanları	10
2.3 Normal Beton ve Geri Dönüştürülmüş Agrega Betonun Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Çalışmaları	12
3. MATERYAL VE METOT	21
3.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi.....	21
3.1.1 Amaç ve kapsam	21
3.1.2 Fonsiyonel birim	21
3.1.3 Sistem sınırları	22
3.1.4 Veri toplama ve NB&GDAB üretim prosesleri	23
3.1.4.1 Normal beton üretimi	23
3.1.4.2 Geri döndürülmüş agregalı betonun üretimi	27
3.1.4.3 Normal betonun ve geri dönüştürülmüş agregalı betonun modellemesinde kullanılan prosesler	32
3.2 Maliyet Analizi.....	33
3.2.1 Normal betonun maliyet envanteri.....	35
3.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun maliyet envanteri	36
4. YAŞAM DÖNGÜSÜ MODELLEME SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME	37
4.1 Normal Beton ve Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton Üretiminin Çevresel Etkileri	44
4.1.1 Abiyotik element tüketme potansiyeli (AETP).....	47
4.1.1.1 Normal beton abiyotik element tüketim potansiyeli	47

4.1.1.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun abiyotik element tüketim potansiyeli.....	48
4.1.2 Abiyotik fosil tükenme potansiyeli (ATPf).....	49
4.1.2.1 Normal betonun abiyotik fosil tüketim potansiyeli.....	49
4.1.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun abiyotik fosil tüketim potansiyeli.....	51
4.1.3 Asidifikasyon potansiyeli (AP)	52
4.1.3.1 Normal betonun asidifikasyon potansiyeli	52
4.1.3.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun asidifikasyon potansiyeli	53
4.1.4 Ötrofikasyon potansiyeli (ÖP)	54
4.1.4.1 Normal betonun ötrofikasyon potansiyeli	54
4.1.4.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun ötrofikasyon potansiyeli	56
4.1.5 Tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli (TCETP).....	57
4.1.5.1 Normal betonun tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli	57
4.1.5.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli.....	58
4.1.6 Küresel ısınma potansiyeli (KIP)	59
4.1.6.1 Normal betonun küresel ısınma potansiyeli	59
4.1.6.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun küresel ısınma potansiyeli	61
4.1.7 Ozon tabakası incilme potansiyeli (OTTP).....	62
4.1.7.1 Normal betonun ozon tabakası incilme potansiyeli.....	62
4.1.7.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun ozon tabakası incilme potansiyeli.....	62
4.1.8 Fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOOP)	63
4.1.8.1 Normal betonun fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli.....	63
4.1.8.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli.....	65
4.1.9 Karasal ekotoksitite potansiyeli (KETP)	66
4.1.9.1 Normal betonun karasal ekotoksitite potansiyeli	66
4.1.9.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun karasal ekotoksitite potansiyeli (KETP).....	67
4.2 Çevresel Etki Değerlendirme Sonuçlarının Literatür ile Karşılaştırması.....	68
4.2.1 Normal betonun üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması	68
4.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması	70
4.3 Senaryo Analizi	72
4.3.1 Senaryo 1: Geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretiminde mobil kırıcı kullanımı	75
4.3.2 Senaryo 2: Süper akışkanlaştırıcı değişimi	77
4.3.2.1 Normal beton üretiminde süper akışkanlaştırıcı değişimi.....	77
4.3.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretiminde süper akışkanlaştırıcı değişimi	79
5. MALİYET ANALİZİ SONUÇLARI.....	81
5.1 Normal Betonun Maliyet Analizi	81
5.2 Geri Dönüştürülmüş Agregalı Betonun Maliyet Analizi.....	82
5.3 NB ve GDAB Üretiminin Karşılaştırmalı Maliyet Analizi	84
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	87
KAYNAKLAR.....	95
ÖZGEÇMİŞ.....	99

KISALTMALAR

AB	: Avrupa Birliği
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADP element	: Abiotic Element Depletion Potential
ADP fossil	: Abiotic Fossil Depletion Potential
AETP	: Abiyotik Element Tükenme Potansiyeli
AP	: Acidification Potential
AP	: Asidifikasyon Potansiyeli
ATP_f	: Abiyotik Fosil Tükenme Potansiyeli
ÇSİB	: Çevre Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı
DA	: Doğal Agrega
EC	: European Commission
EFCA	: European Federation of Concrete Admixtures Associations
EP	: Eutrophication Potential
EPD	: Environmental Product Declaration
FAETP	: Freshwater Aquatic Ecotoxicity Potential
FOOP	: Fotokimyasal Oksidan Oluşumu Potansiyeli
GDA	: Geri Dönüştürülmüş Agrega
GDAB	: Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton
GEMİS	: Global Emission Model for Integrated Systems
GWP	: Global Warming Potential
ISO	: International Organization for Standardization
İSKİ	: İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi
İTP	: İnsana Toksisite Potansiyeli
İYA	: İnşaat Yıkıntı Atık
KETP	: Karasal Ekotoksisite Potansiyeli
KIP	: Küresel Isınma Potansiyeli
NB	: Normal Beton
ODP	: Ozone Layer Depletion Potential
OTTP	: Ozon Tabakası Tükenme Potansiyeli
ÖP	: Ötrofikasyon Potansiyeli
POCP	: Photochemical Oxidant Creation Potential
SETAC	: Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SETP	: Sucul Ekotoksisite Potansiyeli
TETP	: Terrestrial Ecotoxicity Potential
THBB	: Türkiye Hazır Beton Birliği
TSEP	: Tatlı Su Ekotoksisite Potansiyeli
VOC	: Volatile Organic Compound
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDE	: Yaşam Döngüsü Envanteri
YDED	: Yaşam Döngüsü Envanteri Değerlendirmesi
YDMA	: Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Seçilen literatür çalışmalarının YDD sonuçları.....	15
Çizelge 2.2 : Seçilen literatür çalışmalarının 1 m ³ NB için formülasyonu, temel özellikleri ve kullanılan taşıma mesafe değerleri.....	18
Çizelge 2.3 : Seçilen literatür çalışmalarının 1 m ³ GDAB için formülasyonu, temel özellikleri ve kullanılan taşıma mesafe değerleri.....	19
Çizelge 3.1 : 1 m ³ NB'nun formülasyonu ve özellikleri.....	24
Çizelge 3.2 : 1 m ³ NB girdi ve çıktı miktarları.....	26
Çizelge 3.3 : 1 m ³ NB üretimi taşıma mesafesi envanter tablosu.....	27
Çizelge 3.4 : 1m ³ GDAB üretiminin girdileri çıktıları.....	27
Çizelge 3.5 : Binanın yapı malzemeleri ve miktarları.....	28
Çizelge 3.6 : Binanın moloz miktarı.....	29
Çizelge 3.7 : 1 m ³ GDAB için girdi ve çıktı miktarları.....	31
Çizelge 3.8 : 1 m ³ GDAB için taşıma mesafesi envanter bilgisi.....	32
Çizelge 3.9 : 1 m ³ NB ve GDAB için modellemede kullanılan prosesler.....	33
Çizelge 3.10 : 1 m ³ NB üretiminin maliyet değerleri.....	35
Çizelge 3.11 : 1 m ³ GDAB'nin maliyet değerleri.....	36
Çizelge 4.1 : 1 m ³ GDAB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları.....	38
Çizelge 4.2 : 1 m ³ GDAB üretiminin çevresel etki dağılımı (%).....	39
Çizelge 4.3 : 1 m ³ NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları.....	42
Çizelge 4.4 : 1 m ³ NB üretiminin çevresel etki dağılımı (%).....	43
Çizelge 4.5 : 1 m ³ GDAB ve NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları.....	45
Çizelge 4.6 : 1 m ³ GDAB ve NB üretiminin çevresel etkilerinde gözlemlenen değişimler.....	47
Çizelge 4.7 : 1 m ³ NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.....	69
Çizelge 4.8 : 1 m ³ GDAB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırması.....	71
Çizelge 4.9 : 1 m ³ GDAB üretiminin (mobil kırıcı kullanımı) girdi ve çıktı miktarları.....	74
Çizelge 4.10 : 1 m ³ GDAB üretiminin (mobil kırıcı kullanımı) taşıma envanter tablosu.....	74
Çizelge 4.11 : Bu çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı ile senaryo 2 için seçilen süper akışkanlaştırıcının içerik ve özellikleri.....	75
Çizelge 4.12 : 1 m ³ GDAB üretiminde mobil kırıcı kullanımının çevresel etki değerlendirme sonuçları (senaryo 1).....	76
Çizelge 4.13 : 1 m ³ GDAB üretiminin ve senaryo 1'in sonuçlarında gözlemlenen değişiklikler.....	77
Çizelge 4.14 : 1 m ³ NB üretiminde süper akışkanlaştırıcının değişiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları (Senaryo 2).....	78
Çizelge 4.15 : 1 m ³ NB üretiminin ve senaryo 2'nin sonuçlarında gözlemlenen değişiklikler.....	79

Çizelge 4.16 : 1 m ³ GDAB üretiminde süper akışkanlaştırıcının değişiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları (Senaryo 2).	79
Çizelge 4.17 : 1 m ³ GDAB üretiminin ve senaryo 2'nin sonuçlarında gözlemlenen değişiklikler.	80
Çizelge 5.1 : 1 m ³ NB üretiminin maliyet analizi.	81
Çizelge 5.2 : 1 m ³ GDAB üretiminin maliyet analizi.	83



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : YDD aşamaları.	6
Şekil 2.2 : YDD sistem sınırları.	7
Şekil 2.3 : Türkiye'nin yıllara göre beton üretimi	9
Şekil 2.4 : Geri dönüştürülmüş beton ile yapılan Pelican Self Storage Binası.	11
Şekil 3.1 : NB üretimi için sistem sınırları.	22
Şekil 3.2 : GDAB üretimi için sistem sınırları.	23
Şekil 4.1 : 1 m ³ GDAB üretimindeki proseslerin çevresel etki dağılımları(%).	40
Şekil 4.2 : 1 m ³ NB üretimindeki proseslerin çevresel etki dağılımları(%).	44
Şekil 4.3 : 1 m ³ GDAB ve NB çevresel etkilerinin karşılaştırılması, (%).	45
Şekil 4.4 : 1 m ³ NB abiyotik element tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).	48
Şekil 4.5 : 1 m ³ GDAB abiyotik element tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).	49
Şekil 4.6 : 1 m ³ NB abiyotik fosil tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).	50
Şekil 4.7 : 1 m ³ GDAB abiyotik fosil tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).	51
Şekil 4.8 : 1 m ³ NB asidifikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).	53
Şekil 4.9 : 1 m ³ GDAB asidifikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).	54
Şekil 4.10 : 1 m ³ NB ötrofikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).	55
Şekil 4.11 : 1 m ³ GDAB ötrofikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).	56
Şekil 4.12 : 1 m ³ NB tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).	57
Şekil 4.13 : 1 m ³ GDAB tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).	59
Şekil 4.14 : 1 m ³ NB küresel ısınma potansiyeli yüzdeleri (%).	60
Şekil 4.15 : 1 m ³ GDAB küresel ısınma potansiyeli yüzdeleri (%).	61
Şekil 4.16 : 1 m ³ NB ozon tabakası incelme potansiyeli yüzdeleri (%).	62
Şekil 4.17 : 1 m ³ GDAB ozon tabakası incelme potansiyeli yüzdeleri (%).	63
Şekil 4.18 : 1 m ³ NB fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli yüzdeleri (%).	64
Şekil 4.19 : 1 m ³ GDAB fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli yüzdeleri (%).	66
Şekil 4.20 : 1 m ³ NB karasal ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).	67
Şekil 4.21 : GDAB karasal ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).	68
Şekil 4.22 : 1 m ³ GDAB üretiminin sistem sınırları (mobil kırıcı kullanımı).	73
Şekil 4.23 : 1 m ³ GDAB üretiminin ve senaryo 1'in çevresel etkilerin karşılaştırılması (%).	76
Şekil 4.24 : 1 m ³ NB üretiminin ve senaryo 2'nin çevresel etkilerinin oranları (%).	78
Şekil 4.25 : 1 m ³ GDAB üretiminin ve senaryo 2'nin çevresel etkilerinin oranları (%).	80
Şekil 5.1 : 1 m ³ NB üretiminin malzeme, enerji, taşıma ve su olarak maliyet analizi yüzdeleri (%).	82
Şekil 5.2 : 1 m ³ GDAB üretiminin malzeme, enerji, taşıma ve su olarak maliyet analizi yüzdeleri (%).	84
Şekil 5.3 : 1 m ³ NB ve GDAB üretiminin malzeme, enerji, taşıma ve su olarak maliyet analizi yüzdelerinin karşılaştırılması.	85



GERİ DÖNÜŞTÜRÜLMÜŞ AGREGA KULLANIMININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME (YDD) YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRMESİ

ÖZET

Dünya çapında yaşanan hızlı kentleşme ve kentsel dönüşüm ile birlikte, inşaat ve yıkım atıklarının (İYA) oluşumu hızlı bir artış ile önemli miktarlara ulaşmıştır. Bu artış nedeniyle gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler, çevresel baskı altına girmiştir. İYA’da bulunan beton, tuğla, alçı, ahşap, cam, metaller, plastik, solventler, asbest ve hafriyat toprağı da dahil olmak üzere çoğu geri dönüştürülebilir özellikte olup ham madde kullanım olarak yüksek kaynak değerine sahiptir. Özellikle, İYA’dan elde edilen agregalar yol, drenaj ve diğer inşaat çalışmalarında yeniden kullanılarak değerlendirilmektedir. 2008/98/EC Atık Çerçeve Direktifi, 2020 yılına kadar İYA’nın %70’inin geri dönüştürülmesini hedefleyerek İYA ve geri dönüştürülmüş malzemelerin doğru yönetimini amaçlamaktadır. Sürdürülebilir inşaat sektörü için doğal kaynakların kullanımı azaltmak amacıyla, geri dönüştürülmüş agreganın (GA) inşaat projelerinde kullanılması gündeme gelmiştir.

Bu çalışmada doğal agrega (DA) ile üretilen normal beton (NB) ve GA içeren geri dönüştürülmüş agregalı betonun (GDAB) çevresel etkileri karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiştir. Bu amaçla, Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) yöntemi kullanılmıştır. Çalışmanın çevresel etki değerlendirme modellemesi GaBi ve 4.3 yazılımı ile yazılımın “profesyonel database” veritabanı kullanılmış, etki değerlendirmesi CML 2001 yöntemiyle belirlenmiştir.

YDD dört aşamadan oluşmaktadır. Yöntemin ilk aşamasında çalışmanın amacı ve kapsamı belirlenmiştir. Bu çalışmanın amacı, bir inşaat molozundan elde edilen geri dönüştürülmüş agreganın beton üretiminde kullanılmasının potansiyel çevresel etkilerinin araştırılması ve ayrıca NB üretimi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Modellemede, %50 GA içeriğine sahip GDAB için inşaat yıkımı sonucu oluşan molozun geri dönüşüm tesisinden kırma işlemine ardından beton santralinde beton üretimini kapsarken, %100 DA’lı NB oluşturmak için bir taş ocağından başlanarak kırma tesisinde kırma işlemi sonrası beton santralindeki beton üretim aşamalarına kadar olan işlemleri içermektedir. Bu çalışmada iki betonun basınç dayanımları incelendiğinde, fonksiyonel birim, C40-C50 aralığında 1 m³ NB ve C40-C50 aralığında 1 m³ GDAB olarak seçilmiştir.

İkinci aşama olan envanter analizinde çalışma sistemindeki enerji, su hammadde kullanımı gibi girdi ve çıktılar hesaplanmaktadır. Envanter analizinde belirlenen girdi ve çıktılar, etki analizi aşamasında çevresel değerler üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

Üçüncü aşamada, bu çalışmanın çevresel etki değerlendirme için etki kategorileri seçilmektedir. Seçilen etki kategorileri; Abiyotik element tüketim potansiyeli (AETP), abiyotik fosil tüketim potansiyeli (ATP_f), asidifikasyon potansiyeli (AP), fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli (FOOP), ozon tabakası tükenme potansiyeli

(OTTP), küresel ısınma potansiyeli (KIP), ötrofikasyon potansiyeli (ÖP), tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli (TCETP) ve karasal ekotoksitite potansiyeli (KETP)'dir.

YDD'nin son aşaması olan yorumlama aşamasında iki farklı beton türünün çevresel etkileri yorumlanmış ve benzer YDD çalışmalar ile kıyaslanmaktadır. Elde edilen sonuçlar 1m³ GDAB üretiminin AETP'i 0,000415 kg Sb eşd., ATPf'i 1440 MJ, AP'i 0,516 kg SO₂ eşd., ÖP'i 0,29 kg PO₄ eşd., TCETP'i 0,472 kg DCB eşd., KIP'i 292 kg CO₂ eşd., OTTP'i 0,0000000217 kg CFC_{1 1} eşd., FOOP'i 0,0526 kg C₂ H₄ eşd., KETP'i ise 0,643 kg DCB eşd. olduğu görülmektedir. 1m³ NB üretiminin AETP'i 0,000427 kg Sb eşd., ATPf'i 520 MJ, AP'i 0,584 kg SO₂ eşd., ÖP'i 0,289 kg PO₄ eşd., TCETP'i 0,505 kg DCB eşd., KIP'i 300 kg CO₂ eşd., OTTP'i 0,0000000263 kg CFC_{1 1} eşd., FOOP'i 0,0569 kg C₂ H₄ eşd., KETP'i ise 0,703 kg DCB eşd. olduğu görülmektedir.

GDAB üretiminin, ÖP etki kategorisi dışında NB üretimine göre çevresel etkisi daha az olduğu tespit edilmiştir. GDAB üretiminin ÖP etki kategorisi değeri, NB üretiminin ÖP etki kategorisi değerinden büyük olmasının sebebi GDAB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarının daha fazla olmasıdır.

Bu çalışmada YDD değerlendirmesine ek olarak, maliyet analizi yapılmaktadır. 1 m³ NB ve GDAB üretiminin maliyet miktarı sırasıyla, 462,74 TL ve 474,427 TL'dir. 1 m³ GDAB üretimi 11,68 TL fark ile daha maliyetli olduğu tespit edilmektedir. Bunun nedeni GDAB üretiminde kullanılan doğal agreganın (agrega no:2) üretim ve taşıma maliyetidir.

EVALUATION OF THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF THE USE OF RECYCLED AGGREGATE BY LIFE CYCLE ASSESSMENT (LCA) METHOD

SUMMARY

With the rapid urbanization and urban transformation experienced worldwide, construction and demolition waste (CDW) generation has reached significant amounts with a rapid increase. Due to this increase, developed and developing countries have come under environmental pressure. Concrete, brick, plaster, wood, glass, metals, plastic, solvents, asbestos and excavated soil found in the CDW, most of these are recyclable. These components have high resource value as raw material. In particular, aggregates obtained from the CDW should be reused in road, drainage and other construction works.

For this reason, the 2008/98/EC Waste Framework Directive aims to recycle 70% of the CDW by 2020, aiming at the correct management of CDW and recycled materials. Recycled aggregate (RA) constructions should be considered by reducing the use of natural resources for a sustainable construction sector.

In this study, the environmental effects of normal concrete (NAC) produced with natural aggregate (NA) and recycled aggregate concrete (RAC) containing RA were compared. To investigate the environmental impacts of such concrete structures, life cycle assessment (LCA) has been used. Environmental impact assessment modeling of the study, GaBi v4.3 software, and the "professional database" of the software were used. Impact assessment was determined by the CML 2001 method.

LCA consists of four stages. In the first stage of the method, the aim and scope of the study were determined. The aim of this study is to investigate the potential environmental effects of using recycled aggregate obtained from a construction rubble in concrete production and also to evaluate it in comparison with NB production. In the study, system boundary of RAC with 50 % RA, includes the crushing process of the rubble formed as a result of construction demolition in the recycling facility, and the processes until RA turns into concrete in the concrete plant. In the study, system boundary of NAC with 100% NA, is started from a quarry than the crushing process in the crushing plant finally production in the concrete plant were added. In this study, when the compressive strengths of the two concretes were examined, the functional unit was chosen as 1 m³ NAC in the C40-C50 range and 1 m³ RAC in the C40-C50 range.

In the inventory analysis, which is the second stage, inputs and outputs such as energy, water and raw material usage in the study were calculated. Input-outputs determined in the inventory analysis were evaluated during the impact analysis phase, and their effects on environmental values.

In the third step, impact categories are selected for the environmental impact assessment of this study. Selected impact categories are abiotic element depletion

potential (ADP elements), abiotic fossil depletion potential (ADP fossil), acidification potential (AP), photochemical ozone creation potential (POCP), ozone layer depletion potential (ODP), global warming potential (GWP), eutrophication potential (EP), freshwater aquatic ecotoxicity potential (FAETP) and terrestrial ecotoxicity potential (TETP).

Finally, the environmental effects of two different types of concrete were interpreted during the interpretation phase and compared with similar LCA studies.

In this study for 1 m³ RAC; ADP elements is 0,000415 kg Sb eq., ADP fossil is 1440 MJ, AP is 0,516 kg SO₂ eq., EP is 0,29 kg PO₄ eq., FAETP is 0,472 kg DCB eq., GWP is 292 kg CO₂ eq., ODP is 0,0000000217 kg CFC₁₋₁ eq., POCP is 0,0526 kg C₂ H₄ eq., TETP is 0,643 kg DCB eq.

In this study for 1 m³ NAC; ADP elements is 0,000427 kg Sb eq., ADP fossil is 520 MJ, AP is 0,584 kg SO₂ eq., EP is 0,289 kg PO₄ eq., FAETP is 0,505 kg DCB eq., GWP is 300 kg CO₂ eq., ODP is 0,0000000263 kg CFC₁₋₁ eq., POCP is 0,0569 kg C₂ H₄ eq., TETP is 0,703 kg DCB eq.

It has been determined that the biggest impact in the environmental impact categories for RAC is caused by cement. As a result of the life cycle assessment of RAC it was determined that cement contributed 98% in ADP element, 62% in ADP fossil, 74% in AP, 19% in EP, 70% in FAETP, 86% GWP, 4% in ODP, 80% in POCP, 85% in TETP. It was determined that transportation contributed below 1% in ADP element and TETP, 10% in ADP fossil, 9% in AP, 4% in EP, 3% in FAETP and GWP, 93% in ODP, 8% in POCP. It was determined that superplasticizer contributed below 1% in ADP element and FAETP, 1% in AP, and GWP, 2% in ODP, 4% in ADP fossil, 75% in EP. It was determined that aggregate no:2 contributed below 1% in ADP element, EP and ODP, 5% in ADP fossil, 3% in AP and FAETP, 2% in GWP, 1% in POCP and TETP. It was determined that sand contributed below 1% in ADP element, EP, FAETP, GWP and ODP, 1% in ADP fossil, AP and POCP, 2% in TETP. It was determined that crushed sand contributed below 1% in ADP element and ODP, 15% in ADP fossil, 8% in AP, 2% in EP, 20% in FAETP, 6% in GWP, 8% in POCP, 10% in KETP. It was determined that water contributed below 1% in every environmental impact categories. It was determined that electricity contributed below 1% in in ADP element, EP, FAETP, GWP, ODP, POCP and TETP, 1% in ADP fossil, 3% in AP. It was determined that diesel contributed below 1% in in ADP element, AP, EP, GWP, ODP, POCP and TETP, 2% in ADP fossil, 3% in FAETP.

It has been determined that the biggest impact in the environmental impact categories for NAC is caused by cement. As a result of the life cycle assessment of NAC it was determined that cement contributed 96% in ADP element, 58% in ADP fossil, 66% in AP, 19% in EP, 65% in FAETP, 84% GWP, below 1% in ODP, 74% in POCP, 78% in TETP. It was determined that transportation contributed below 1% in ADP element and TETP, 9% in ADP fossil, 8% in AP, 4% in EP, 2% in FAETP, 3% in GWP, 8% in ODP, 7% in POCP. It was determined that superplasticizer contributed below 1% in ADP element, AP, FAETP, and ODP, 1% in, GWP, 4% in ADP fossil, 70% in EP.

It was determined that aggregate contributed below 1% in ADP element and ODP, 6% in ADP fossil, 7% in AP, 4% in EP, 9% in FAETP, 3% in GWP, 7% in POCP, 9% in TETP. It was determined that sand contributed below 1% in ADP element, ADP fossil, EP, FAETP, GWP and ODP, 1% in, AP and POCP, 2% in TETP. It was determined that crushed sand contributed below 1% in ADP element and ODP, 14%

in ADP fossil, 7% in AP, 2% in EP, 19% in FAETP, 5% in GWP, 7% in POCP, 9% in KETP. It was determined that water contributed below 1% in every environmental impact categories. It was determined that electricity contributed below 1% in ADP element, EP, FAETP, ODP and TETP, 2% in GWP and POCP, 4% in ADP fossil, 8% in AP. It was determined that diesel contributed below 1% in ADP element, AP, EP, GWP, ODP, POCP and TETP, 2% in ADP fossil, 3% in FAETP. It was determined that diesel contributed below 1% in FAETP, GWP, POCP and TETP, 2% in ADP element, ADP fossil and AP, 1% in EP, 92% in ODP.

In the results obtained, the environmental impact of RAC was determined less than NAC, except for the EP category. When EP is compared, it is seen that RAC has the highest EP with 1% difference. The biggest impact in the EP for RAC and NAC is caused by superplasticizer.

In this process, in addition to the LCA evaluation, cost analysis is performed. The costs of 1 m³ NAC and 1 m³ RAC are 462.74 TL and 474,427 TL, respectively. It is determined that 1 m³ RAC is bigger with a difference of 11.68 TL. The reason for this is the production and transportation cost of the natural aggregate (aggregate no:2) using in RAC.



1. GİRİŞ

1.1 Çalışmanın Önemi

Beton, günümüzün en yaygın kullanılan yapı malzemesidir. Avrupa Hazır Beton Birliği (ERMCO)'nin 2021 yılında hazırladığı Avrupa Hazır Beton Birliği İstatistik Raporuna göre, Avrupa Birliğine (AB) üye olan ülkelerin toplam hazır beton üretim miktarı 252,7 milyon m³'tür. Türkiye, 105 milyon m³ beton üretimi ile AB ülkeleri arasında birinci sırada yer almaktadır. Kentleşme hızına bakıldığında bu üretim miktarlarının artacağı tahmin edilmektedir (URL-1, 2022).

Beton kütleli olarak %70-75 oranında agrega oluşturmaktadır. Agreganın beton bileşiminde büyük pay oluşturması ve betona duyulan ihtiyaç nedeniyle agrega kaynaklarında yeni arayışlar üzerinde çalışmalara başlanmıştır. Bu çalışmalar içinde örnek sunulan kaynaklar, beton, inşaat yapım ve yıkımdan gelen atıklardır (Akça, 2014).

İnşaat sektöründe, doğal kaynakların tüketilmesi ile meydana gelen kirlilik ve atıklar, çevremizi olumsuz etkilemektedir. İnşaat sektörü, dünyada enerji kullanımının yaklaşık %45-50, su kullanımının yaklaşık %50 ve ham maddenin ise yaklaşık %60'ını oluşturmaktadır. Aynı sektör için kirlilik ve atık yüzdelerine bakıldığında, sera gazlarının %50'si, hava kirliliğinin %23'ü ve çöp sahası atıklarının ise %50'sini oluşturmaktadır (Ryden, 2015).

AB, dünyayı etkileyen küresel ısınma problemleriyle mücadele etmek amacıyla çevre politikaları hazırlamış ve hedefler belirlemiştir. AB'nin hedeflerinde ilk olarak doğal kaynakları mümkün olduğunca dikkatli kullanmak, dünyanın ve bölgesel çevre sorunlarını yönetmek adına teşvik edici önlemler almak, ayrıca tüm AB ülkelerinin CO₂ emisyonlarını ve enerji tüketimini 2050 yılından önce %80-90 seviyelerine indirmeye kararı yer almaktadır (EC, 2018).

Hem Türkiye hem de dünya ülkelerinde geri dönüştürülmüş agrega ile ilgili çalışmalar büyük bir öneme sahiptir. Birçok ülkede yapılan deneysel araştırmalar sonucunda geri dönüştürülmüş agreganın kullanımı ile ilgili olarak teşvik edici

veriler bulunmaya başlanmıştır. Bu çalışmada, İYA'dan elde edilen GDA'nın 1 m³ GDAB üretim aşamalarında oluşan çevresel etkileri analiz etmektir. Bu aşamalar, bir bina yıkımdan elde edilen moloz ile başlamaktadır. Moloz geri dönüşüm tesisinde işlemlerden geçerek GDA'ya dönüştürülmesi ile devam etmektedir. Son olarak beton santraline getirilen GDA'nın GDAB üretiminde kullanılmasıyla bitmektedir. Literatür araştırmasına göre, Türkiye'de bu konu ile ilgili veri kısıtlaması yaşanmaktadır. Bu çalışmada elde edilen veriler, daha sonraki çalışmalar için kaynak oluşturacaktır.

1.2 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

İnşaat sektöründe yapı malzemesi olarak kullanılan beton, dünya çapında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmanın amacı 1 m³ GDAB üretiminde oluşan çevresel etkilerin YDD yöntemi ile analiz edilmesidir.

Birinci bölümde çalışmanın önemine yer verilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümünde, beton üretiminin dünya genelinde kullanımı, betonun çevreye etkisini ve betonda kullanılan doğal agrega yerine kullanılabilecek alternatif ham madde olan geri dönüştürülmüş agrega anlatılmaktadır. Birçok sektörde olduğu gibi inşaat sektöründe de çevresel etkilerin değerlendirilmesinde kullanılan YDD metodu hakkında bilgi verilmektedir. İkinci bölümün sonunda geri dönüştürülmüş agrega ve doğal agrega ile üretilen iki beton türünün çevresel etkilerini YDD metodu kullanarak analiz eden üç literatür çalışmasının amaç ve sonuçlarına yer verilmektedir.

Üçüncü bölümde ISO 14040 metodoloji kapsamında bu çalışmanın amaç ve kapsam aşamasına yer verilmektedir. İlk olarak çalışmanın amacı, GDA kullanılarak 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etkilerinin analiz edilmesidir. Bir diğer amaç, GDAB'nin çevresel etkileri, 1 m³ NB'nin çevresel etkileri ile karşılaştırılmasıdır. Bu çalışmanın kapsamı, GDAB ve NB üretiminin ayrıntılı olarak incelenip değerlendirilmesidir. Fonksiyonel birim, değerlerin anlaşılır ve diğer çalışmalar ile karşılaştırılması adına 1 m³ GDAB ve 1 m³ NB üretimi olarak seçilmektedir.

Dördüncü bölümde ISO 14040 metodolojinin envanter analiz aşaması kapsamında NB ve GDAB üretiminin aşamaları, girdi ve çıktı değerleri hakkında bilgi verilmektedir.

Beşinci bölümde ISO 14040 metodoloji kapsamında çalışmanın etki değerlendirme sonuç aşamasına yer verilmektedir. Modelleme sonuçlarına göre GDAB'nin ÖP kategorisi dışında NB'ye göre çevreyi daha az etkilediği grafik ve tablolar ile belirtilmektedir. Seçilen literatür çalışmaların çevresel etki değerleri, bu çalışmanın değerleri ile karşılaştırılır. Son olarak bu bölümde, GDAB'nin çevresel etkilerini daha aza indirmek için senaryolar hazırlanarak, elde edilen senaryo sonuçları sunulmaktadır.

Altıncı bölümde yorumlama aşamasına geçilerek, bu çalışmanın sonuçları özet bir şekilde anlatılır ve öneriler verilmektedir.





2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

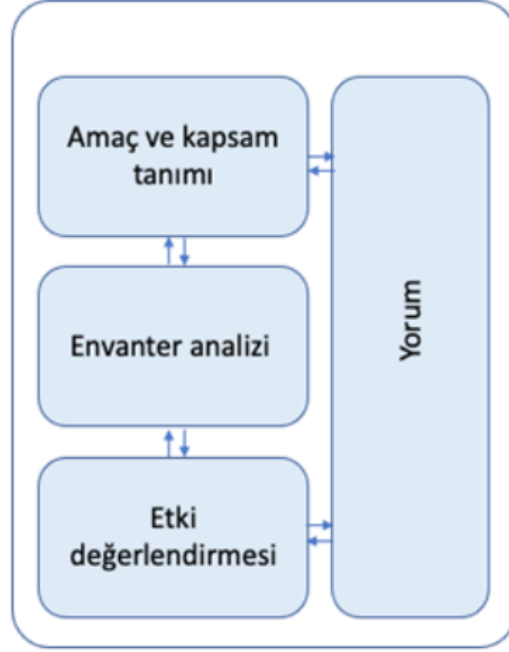
2.1 YDD Hakkında Genel Bilgi

Günümüzde iklim değişikliği, ozon tahribatı vb. konuların çevre bilincinin artmasıyla birlikte, proje geliştirme ve uygulama süreçlerinde varılan tüm sonuçların çevresel boyutu daha da önem kazanmıştır. Teknoloji ve yaşam standartları geliştikçe, bir projenin topluma maliyeti, performansı, doğal kaynakların kullanımı ve küresel çevre sorunlarına yol açma olasılığı gibi bileşenler karar verme süreçlerinde giderek daha fazla dikkate alınmaktadır. Bu kapsamda, projelerin çevresel etkilerini değerlendirmek ve karşılaştırmak için çeşitli araç ve yöntemler geliştirilmiştir. YDD, bu geliştirilen araçlardan bir tanesidir (Demirer, 2011).

1960'ların sonu ve 1970'lerin başında, YDD üzerinde çalışılmaya, 1960 ile 1990 yılları arasında ise YDD kavramı, terminolojisi ve yöntemi oluşturulmaya başlanmıştır. Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (SETAC), YDD uzmanlarını bir araya getirerek YDD'nin genel yapısını, metodolojisini ve terminolojisini uyumlu hale getirdi. 1994'ten itibaren Uluslararası Standartlar Teşkilatı (ISO), SETAC'ın YDD gelişim sürecine katılarak 1997'de yayınlanan ISO 14040 serisinin standartlarını hazırlamış oldu. Dolayısıyla bu standartlar, farklı yaşam döngüsü değerlendirmelerini karşılaştırmayı kolaylaştıran genel bir metodolojik çerçeve oluşturdu. Ayrıca günümüzde halen kullanılmakta olan YDD'nin yöntem ve kavramları, 1990 yılından bu yana inşaat sektöründe kullanılmış ve YDD'ye olan ilgi, 21. yüzyılın başından itibaren hızla büyümüştür (Aygenç,2019)(Demirer,2011).

ISO 14040'a göre, YDD'nin tanımı "bir ürün sisteminin yaşam döngüsü boyunca girdilerinin, çıktılarının ve olası çevresel etkilerinin toplanması ve değerlendirilmesidir". YDD, bir ürün veya hizmetin üretiminde kullanılan hammaddelerin elde edilmesinden başlayarak, ilgili tüm enerji, üretim, sevkiyat, tüketici tarafından kullanım ve kullanımdan sonra atık bertaraf döngüsü boyunca farklı aşamalarındaki çevresel etkileri tanımlar, raporlar ve yönetmektedir. ISO

14040, amaç ve kapsam, yaşam döngüsü envanteri, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yorumlama olarak dört aşamada tanımlanır (Şekil 2.1) (ISO 2006).



Şekil 2.1 : YDD aşamaları (ISO, 2006).

Aşağıda bu dört temel aşama hakkında bilgi verilmiştir.

2.1.1 Amaç ve Kapsam

Öncelikle bu aşamada çalışmanın amacı ve kapsamı belirlenir. Ayrıca fonksiyonel birim seçimi, sistem sınırları belirlenmektedir (Demirer, 2011).

Fonksiyonel Birim: Ürün veya proses verilerinin nasıl organize edileceğini belirler. İşlevsel birim, sonuçlarının ölçülebilir ve kullanılabilir olmasını sağlar ve dikkatli seçim ile çalışmanın kesinliğini ve sonuçların kullanılabilirliğini artırır (Demirer, 2011).

Sistem sınırı: Bir yaşam döngüsünün hangi aşaması değerlendirilecek ise, "beşikten mezara", "beşikten kapıya", "beşikten beşiğe" ve "kapıdan kapıya" olarak seçilmektedir (Şekil 2.2)(Demirer, 2011).

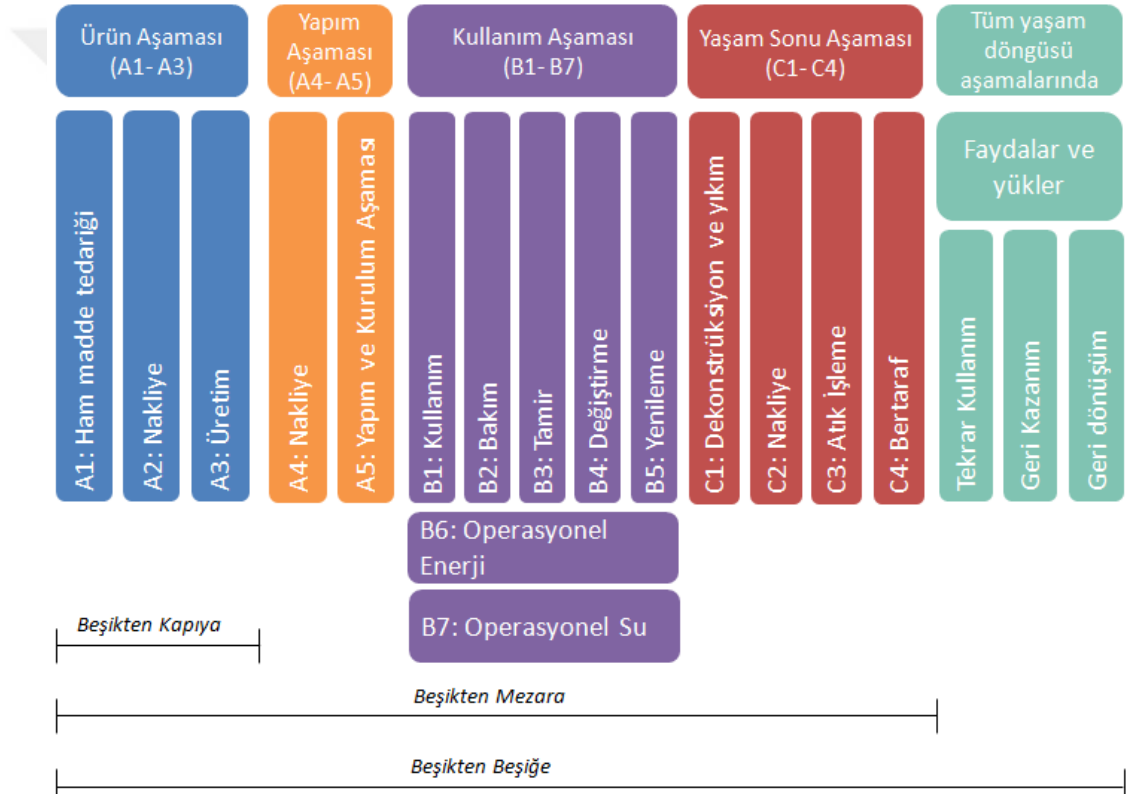
“Beşikten mezara”, bir ürün veya sürecin tüm yaşam döngüsünü ele alan, hammadde temininden (“beşik”), ortaya çıkan atıkların (“mezar”) bertarafına kadar olan tüm süreçleri kapsayan çalışma olarak tanımlanır (Demirer, 2011).

“Beşikten kapıya” yaşam döngüsünü kısmen kapsar. Hammaddenin elde edildiği (“beşik”) ve fabrikaya (“kapı”) aktarıldığı süreçtir (Demirer, 2011).

“Beşikten mezara” yaklaşımına ek olarak son yaşam döngüsü olan atık bertaraf aşamasında geri dönüşüm eklenir ve “beşikten beşiğe” yaklaşımı oluşur (Demirer, 2011).

“Kapıdan kapıya”, bir yaşam döngüsü sürecinin tek bir aşamasıdır. Aynı zamanda en basit seçeneği temsil eden yaklaşımdır (Demirer, 2011).

"Kapıdan mezara", üretim sonrası ürünün, kullanım ömrünün sonuna kadar geçen süredir (Demirer, 2011).



Şekil 2.2 : YDD sistem sınırları (Url-3, 2021).

2.1.2 Yaşam Döngüsü Envanteri (YDE)

İncelenen sistem kapsamında oluşacak enerji, su, hammadde kullanımı ve bunlara bağlı çevresel emisyonlar belirlenir. YDE aşamasında, ilgili tüm veriler toplanır ve düzenlenir.

Toplanan verilerin ayrıntıları ve doğruluk düzeyi, YDD çalışmasının diğer aşamalarının doğruluğunu ve sonuçların kullanılabilirliğini doğrudan etkiler (Aygenç,2019). Aynı zamanda, envanter analizleri, hükümetlerin kaynak kullanımı

ve çevresel emisyonlara ilişkin politika ve mevzuat geliştirmelerine yardımcı olabilir (Sönmez,2019).

2.1.3 Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Envanter analizinde belirlenen enerji, su, hammadde kullanımı ve çevresel emisyonlar sonucu insan sağlığı ve çevre etkilerin değerlendirildiği aşamadır (Aygenç,2019).

YDED aşamaları aşağıda örnek verilerek açıklanmaktadır.

Etki kategorilerin seçimi – Öncelikle uygulanabilir çevresel etki sınıfları belirlenir. Etki değerlendirmesinde kullanılan etki kategorilerinden bazıları; küresel ısınma potansiyeli (KIP), ozon tabakası tükenme potansiyeli (OTTP), asidifikasyon potansiyeli (AP), ötrofikasyon potansiyeli (ÖP), fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOOP), karasal ekotoksisite potansiyeli (KETP), abiyotik element tüketim potansiyeli (AETP), abiyotik fosil tüketim potansiyeli (AFTP), sucul ekotoksisite potansiyeli (SETP), tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli (TCETP), arazi kullanımı (AK), insana toksisite potansiyelidir (İTP)'dir (Demirer, 2011).

Sınıflandırma – Sonuçlar etki kategorileri ile ilişkilendirerek yapılır (örneğin, küresel ısınmaya katkılarını göstermek için tüm karbondioksit emisyonlarını sınıflandırmak) (Demirer,2011).

Karakterizasyon – karakterizasyon faktörleri kullanılarak, her müdahalenin etkisi, yani eşdeğerlik faktörleri nicelleştirilir (örneğin, küresel ısınma üzerindeki karbon dioksit ve metanın potansiyel etkilerinin modellenmesi) (Demirer, 2011).

Normalizasyon: Farklı etki kategorilerinden gelen sonuçları karşılaştırmak için sonuçların ortak bir ölçekte ifade edilmesidir (örneğin, karbondioksit ve metanın küresel ısınma üzerindeki etkilerinin karşılaştırılması) (Demirer, 2011).

Gruplandırma – Etki kategorileri, belirli ilgi alanları için sonuçları daha iyi değerlendirmek adına bir veya daha fazla başlık altında gruplandırılır (örneğin, konuma göre göstergelerin sınıflandırılması, (yerel, bölgesel ve küresel bazda)) (Demirer, 2011).

Ağırlıklandırma – Etki kategorilerinin önemine bağlı olarak sonuçların belirlenmesi işlemidir (Demirer,2011).

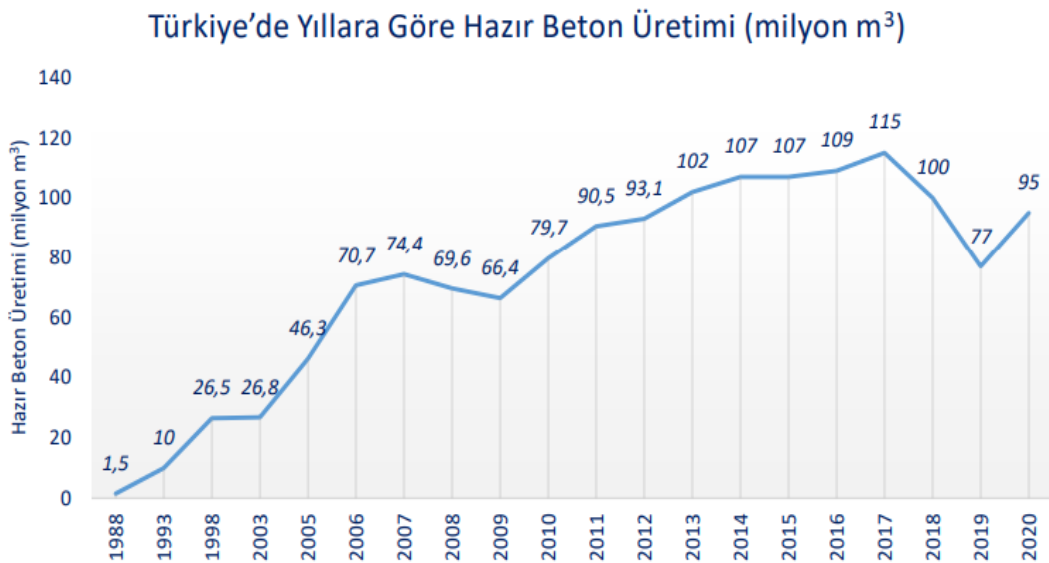
2.1.4 Yorumlama

Yorumlama, bir YDD'nin dördüncü ve son adımıdır. Envanter ve etki analizi aşamalarından elde edilen sonuçlar yorumlanır. Karşılaştırılanlar arasından en uygun ürün, süreç veya hizmet belirlenir. Çalışmanın amacına ve kapsamına göre yorumlama aşamasının temel amacı açık, şeffaf ve mantıklı bir sonuç çıkarmaktır (Aygenç, 2019) (Demirer, 2011).

2.2 Beton

Beton yapısı kütleli olarak % 70-75'i agrega, %12'si çimento ve % 8 'i su oluşturmaktadır. Beton ham maddelerin ve katkı maddesinin karıştırılmasıyla elde edilen başlangıçta yarı akışan bir halde olup zamanla sertleşip şekil alan bir yapı malzemesidir (Zhao ve diğ, 2013). Bina inşaatında, yol, köprü, sanayi gibi her türlü alanda kullanılarak inşaat sektörünün en önemli malzemesi haline gelmiştir. Hızlı kentleşme ve nüfuslanma ile büyük bir beton ihtiyacı oluşmaktadır (Sefidehkan, 2017).

Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB) 2021 rapruna göre, Türkiye 2020 yılında 1032 tesis ve 542 hazır beton firmasıyla 95 milyon m³ hazır beton üretmiştir. (THBB 2021). Şekil 2.3'te Türkiye'de yıllık üretilen hazır beton miktarları milyon m³ bazında verilmiştir (THBB 2021).



Şekil 2.3 : Türkiye'nin yıllara göre beton üretimi (THBB 2021).

Beton sektörü ile birlikte büyük oranda ham madde, kimyasal madde kullanımı ve enerji tüketimi gerektiren çimento üretimi, malzeme taşımacılığından kaynaklanan çevresel emisyonlar çevreyi olumsuz etkilemektedir (Zhao ve diğ., 2013) (Url-7, 2022). Ayrıca, doğal agregalar ve yenilenemeyen fosil yakıtlar, beton sektöründe kullanılıp tüketilen doğal kaynaklarımızdır (Avrupa Çevre Ajansı, 2008).

Beton, çevremizde gördüğümüz bina, köprü, yol, baraj gibi yapıların inşaatından ömrünün sonuna kadar bulunan malzemedir. Avrupa Komisyonunun da belirttiği üzere, bina, köprü, yol ve baraj gibi yapıların kullanım ömürlerine bakıldığında, AB ülkelerinin enerji tüketiminin %40'ına ve CO₂ emisyonlarının %36'sına neden olmaktadır. Beton üretiminde gerçekleşen doğal kaynak tüketimi, enerji tüketimi (çimento üretimi, taşıma, inşaat, yıkım, geri dönüşüm süreçlerinde), başta CO₂ olmak üzere sera gazı emisyonları salımı diğer emisyonlardan fazladır (Marinković, 2013).

Sürdürülebilir bir toplum yaratma çabalarında betonun çevresel değerlendirmesi büyük önem taşımaktadır. (Marinković, 2013).

2.2.1 Geri dönüştürülmüş agrega ve kullanım alanları

İYA fiziksel işlemde geçerek farklı tane boyutlara indirgenmesi ile GA oluşmaktadır. Dünya genelinde, DA üretimi nedeniyle ekonomik ve çevresel problemler ile karşılaşmaktayız. Bu sebeple birçok ülkede, İYA'dan GDA üretimi ile ilgili birçok çalışma yapılmakla birlikte ülkelerde geri dönüşüm kapsamında mevzuat hazırlamaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında beton üretiminde önemli bir yeri olan agreganın maliyeti, 1 m³ hazır beton maliyetinin yaklaşık %20'sine denk geldiğinden GA kullanım önemi artmaktadır (THBB, 2021).

Japonya, Amerika Birleşik Devletleri (ABD) gibi gelişmiş ülkelerde, GA'ların kullanımı, karakterizasyonu ve sınıflandırılma kapsamında çalışmalar yürütülmektedir (Akça, 2014).

DA yerine GA kullanımı tercih eden ülkeler, doğal kaynak tüketimi ve oluşan atık miktarını azaltır ve enerji kullanımını iyileştirerek sürdürülebilir kalkınmaya destek sağlamaktadır. Ekonomik açıdan bakıldığında birçok ülkede İYA depolama tesislerinde depolanması ve bertarafı maliyetli olduğundan tercih edilmemektedir (Sefidehkan, 2017).

Hollanda geri dönüştürdüğü beton atıklarının %95'inden fazlasını yol malzemesi, ABD de ise çoğunlukla yol inşaatlarında ve kaldırım malzemesi gibi alanlarda kullanılmaktadır. İspanya'da GA kullanımını teşvik etmek amacıyla Yapısal Betonlar Hakkında Yönetmeliğinde (EHE-08) resmi bir düzenlemeye gitmiştir (Sefidehkhan, 2017). Danimarka çevre bakanlığının inşaat sektöründe CO₂ emisyonlarının azaltılması amacıyla ilk %100 GDAB kullanılarak yapılan binalardan birini inşaa ederek sürdürülebilir inşaat sektörünün öncü ülkelerinden biri olmuştur (Şekil 2.4)(Url-2,2022).



Şekil 2.4 : Geri dönüştürülmüş beton ile yapılan Pelican Self Storage Binası (Url-2,2022).

Beton üretiminde genellikle taş ocaklarının şehir merkezine uzak mesafede olması bir dezavantajdır.(Akça,2014). Geri dönüşüm tesislerinin, binaların yıkılıp tekrar inşa edildiği yer yada şehre yakın yerlerde kurulması ekonomik açıdan avantajlı olmaktadır. Çünkü taşınım ve agrega temininden dolayı taşıma maliyeti düşer ve sonuç olarak proje maliyeti azaldığı gibi, çevresel boyutunda da azalma görülür (Sefidehkhan, 2017) (Gümüşsoy, 2019).

Betonun sürdürülebilir bir yapı malzemesi olması için ilk olarak tedarik edilen ham maddelerden başlayarak doğal kaynak kullanımı, üretimi, taşınımı, kullanımı, atık oluşumu ve bertarafı gibi tüm aşamalarının çevresel etkilerinin analiz edilmesi ve değerlendirilmesi, sonuçlara göre olumsuz etkilerin azaltılması ya da giderilmesi için çözümler üretilmesi gerekmektedir. Bu çevresel etkilerin sonuçlarını analiz ederken YDD metodu kullanılmaktadır (Karadayı ve diğ, 2021).

2.3 Normal Beton ve Geri Dönüştürülmüş Agrega Betonun Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi Çalışmaları

GDAB üretiminde kullanılmak üzere GDA üretilmektedir. Her geri dönüşüm işleminde olduğu gibi, yapılan uygulamanın çevresel etkiler açısından avantajlı olup olmadığının belirlenmesi önem taşımaktadır. Literatürde de GDAB üretimi ile ilgili çalışmaların artması ile birlikte, üretilen GDAB'lerin çevresel etkilerinin özellikle NB ile karşılaştırılması amacıyla YDD yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş çok sayıda çalışma mevcuttur.

Yayınlanmış çalışmaların sayısının yüksekliği ve hepsini kapsamlı şekilde değerlendirmiş olan yakın tarihli Xing ve diğ. (2022) bir derleme makalesi olması nedeniyle, bu çalışmadaki literatür değerlendirmesi söz konusu makaleden yararlanarak özet olarak sunulmuş; daha sonra bu çalışmada çalışma sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla önceki yayınlar değerlendirilmiş ve aralarından uygun olanları seçilerek bu çalışmaya dahil edilmiştir.

Xing ve diğ. (2022)'nin gerçekleştirdiği derleme çalışmasında, ilgili bilimsel veri tabanlarında kararlaştırılan anahtar sözcükler ile yapılan arama sonucunda 2336 adet makale bulunmuş; daha sonra çeşitli kriterler ile ilgisiz olan makaleler elenerek sonuçta 90 tane GDAB'nin yaşam döngüsü değerlendirmesini inceleyen makale seçilerek birlikte değerlendirilmiştir. İncelenen makalelerde, GDAB'nin çevresel etkilerine etki eden en önemli parametrenin çimento üretimi, ikincisinin ise taşıma olduğu tespit edilmiştir. Dolayısıyla uygun beton formülasyonlarının kullanılması ve kullanılan geri dönüşüm proseslerinin oluşacak toplam çevresel etkilerin miktarında belirleyeceği olabileceği belirtilmiştir (Xing ve diğ, 2022).

Araştırma ve pratik uygulamalarda, genel olarak iri boyutlu GDA'nin, %10 ile %30 arasında pratik oranından ideal olan %100 ikameye kadar kullanılması amaçlanmakta olup, hesaplanan çevresel etkiler ile iri boyutlu GDA oluşumu oranı arasında ters orantılı bir ilişki gözlemlenmiş ve bu etkinin, çimento üretimi ve taşımanın katkıları ile karşılaştırıldığında oldukça küçük olduğu belirtilmiştir (Xing ve diğ, 2022).

İnce GDA'nin ise daha yüksek gözenekli ve su tutma özelliğine sahip olması nedeniyle ürün kalitesini etkilediğinden yapı amaçlı betonlarda kullanılması önerilmemektedir (Xing ve diğ, 2022).

İncelenen çalışmalarda, betonda kullanılan kimyasal karışımların ve suyun çevresel etkilerinin nadiren ölçüldüğü, nedeninin taşınan suyun fazla efor gerektirmeden temin edilmesi ve kimyasal karışımların ilavesinin normalde bağlayıcı kütlesinin %5'i ile sınırlı olmasından kaynaklıdır (Xing ve diğ, 2022).

Xing vd. (2022) tarafından yapılan literatür çalışmasında, kullanılan farklı kimyasal karışımların çevresel etkilerinde değişik sonuçların görüldüğü, ve belirli kimyasal karışımların, GDAB üretiminde OTTP, KETP ve AP değerlerini yükselttiği belirtilmiştir. Kimyasal katkı maddesi olan süper akışkanlaştırıcının GDAB üretiminde kullanıldığında, çimento ve su miktarını azaltma özelliği gösterdiği ve bu özellik sayesinde çimento ve sudan gelecek çevresel etkilerin azaltılmasını sağlandığı belirtilmiştir; ayrıca kimyasal katkı maddeleri için yeterli veri sunulmadığı ve bu yüzden, net bir açıklama yapılamadığı vurgulanmıştır (Xing ve diğ, 2022).

Literatürde yer alan YDD çalışmalarında, çimentonun, içerik ve tipine göre GDAB'nin çevresel performansını etkilediğinden betonun çevresel etkilerine en büyük katkıyı sağlayan malzeme olduğu vurgulanmıştır (Xing ve diğ, 2022).

Dolayısıyla, GDAB üretiminde çimento ikamesi olarak uçucu kül veya silis dumanı kullanılması, çevresel etkiler açısından NB'den daha iyi sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir (Xing ve diğ, 2022).

Ayrıca, birçok YDD çalışmasında taşımanın çimentodan sonra en etkili kilit parametre olduğu ve betonun tüm YDD süreçlerinde daha ileri düzeyde analizinin yapılması (örneğin coğrafi bilgi sistemleri ile entegre şekilde) önerilmiştir (Xing ve diğ, 2022).

Ayrıca, literatürde yer alan çalışmalarda, genel olarak GDAB'nin KIP değerinin 100-450 CO₂ eşd. aralığında görüldüğü, agrega, uçucu kül ve silis dumanı kullanımının, beton üretiminde, çevresel etkiler üzerinde %5'ten daha az etki ettiği, su ve süper akışkanlaştırıcının etkilerinin ise daha da az olduğu tespit edilmiştir (Xing ve diğ, 2022).

Ayrıca, söz konusu literatür değerlendirme çalışmasının sonucu olarak gelecekteki YDD çalışmalarının iyileştirilmesi için bazı öneriler sunulmuş olup, bu öneriler, GDAB formülasyonunun optimize edilmesi, daha kapsamlı bir fonksiyonel birim kullanılması, sistem sınırlarının genişletilmesi, veri envanterlerinde yer alan veri kalitesinin yükseltilmesi, kullanılan indikatörlerin genişletilmesi, senaryo, hassasiyet

ve belirsizlik analizlerinin yapılması, GDAB üretiminde kullanılan hammaddelerin üretim proseslerinin daha detaylı araştırılması ve bütünleşik ve çok kriterli karar verme mekanizmalarının uygulanmasıdır.

Burada daha kapsamlı bir fonksiyonel birim olarak kastedilen, genel olarak 1 m³ beton üretimi olarak ele alınan fonksiyonel birimin, betonun dayanımı, dayanıklılığı ve işlenebilirliği gibi özelliklerini de içerecek şekilde genişletilmesidir (Xing ve diğ, 2022).

Bu çalışmanın sonuçlarının karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi için seçilen yayınlar benzer dayanım ve fonksiyonel birimi içerdiklerinden Marinković ve diğ. (2010) ve Marinković ve diğ. (2014)'dir. Çevresel etkilerin karşılaştırmasında süper akışkanlaştırıcının katkısının incelenmesi amacıyla, Imtiaz ve diğ. (2021)'nin çalışması, bir diğer seçilen çalışma olmuştur.

Marinković ve diğ. (2010), İYA'nın, bir kaynağa dönüştürülerek, enerji tüketimi, emisyonlar gibi parametrelerin azaltılması yoluyla çevreye gerçekten fayda sağlanıp sağlanmadığını belirleyebilmek amacıyla GDAB ve NB üretiminin çevresel etkilerini karşılaştıran bir çalışma gerçekleştirmişlerdir (Marinković ve diğ, 2010).

Marinković ve diğ. (2010)'da yaptığı olduğu çalışmada NB'nin tamamen nehir agregası ve doğal ince kum ile GDAB'nin ise GA ve doğal ince kum ile yapıldığını bildirilmektedir. Yapılan YDD çalışmasında iki beton türü için fonksiyonel birim 1 m³ beton olarak seçilmiştir. Çalışmanın NB kapsamında beşikten kapıya (ham maddelerin çıkarılmasından betonun müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç) yaklaşımı ile belirlenmiştir. Çalışmanın GDAB kısmı ise beşikten kapıya (bina yıkımı sistemden çıkarılarak, geri dönüşüm tesisinde başlayıp, betonun müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç) yaklaşımı ile belirlenmiştir. İki beton üretimi esnasında oluşan atıklar ihmal edilmiştir. Söz konusu çalışma Sırbistan'da hazır beton ve geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretimini ele almakta olup, YDE verileri için gerken agrega, çimento ve beton üretimi ile ilgili tüm birincil veriler yerel tedarikçilerden ve üreticilerden toplanmıştır. Yerel koşullar için toplanamayan doğal gaz dağıtımı ve nakliyesine ait emisyon verileri ise GEMIS veri tabanından alınmıştır Söz konusu çalışmada CML 2001 etki değerlendirme yöntemi kullanılmıştır (Marinković ve diğ, 2010).

Çizelge 2.1 : Seçilen literatür çalışmalarının YDD sonuçları.

Kaynak	Marinković ve diğ. (2014)		Marinković ve diğ. (2010)		İmtiaz ve diğ. (2021)	
Metot	CML	CML	CML	CML	CML	CML
Sistem Sınırı	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	50% GDA içeren 1 m ³ GDAB	1 m ³ NB	100% GDA içeren 1 m ³ GDAB	1 m ³ NB	100% GDA içeren 1 m ³ GDAB	1 m ³ NB
AETP,(kg Sb Eşd.)	-	-	-	-	-	-
AFTPf (MJ)	1,70E+03	1,95E+03	1,61E+03	1,57E+03	-	-
AP (kg SO ₂ Eşd)	2,24E+00	2,45E+00	2,07E+00	2,01E+00	1,01E+00	1,02E+00
ÖP (kg PO ₄ ³⁻ Eşd)	1,37E-01	1,50E-01	1,23E-01	1,21E-01	7,88E-02	7,92E-02
TCETP, (kg DCB Eşd.)	-	-	-	-	1,67E-07	1,78E-07
KIP (kg CO ₂ Eşd)	3,40E+02	3,78E+02	3,20E+02	3,08E+02	2,61E+02	2,64E+02
OTTP (kg CFC _{1 1} Eşd)	-	-	-	-	-	-
FOOP (kg C ₂ H ₄ Eşd)	6,55E-02	7,50E-02	6,60E-02	6,50E-02	4,11E-02	9,63E-02
KETP, (kg DCB Eşd.)	-	-	-	-	6,30E-31	6,32E-31

Marinković ve diğ. (2010), gerçekleştirdikleri çalışmada %100 DA içeren 1 m³ beton ile %100 GA içeren 1 m³ betonun çevresel etkisini karşılaştırmalı olarak, AFTPf, AP, ÖP, KIP ve FOOP etki kategorilerini dikkate alarak değerlendirilmiştir. Çizelge 2.1’de yer aldığı gibi yapılan çalışmada 1 m³ NB’nin AFTPf’si 1570 MJ, AP’si 2,01 kg SO₂ eşd., ÖP’si 0,121 kg PO₄⁻³ eşd., KIP’si 308 kg CO₂ eşd., FOOP’si 0,0650 kg C₂H₄ eşd. olarak belirlenmiştir. 1 m³ GDAB’nin AFTPf’si 1610 MJ, AP’si 2,07 kg SO₂ eşd., ÖP’si 0,123 kg PO₄⁻³ eşd., KIP’si 320 kg CO₂ eşd., FOOP’si 0,0660 kg C₂H₄ eşd. olarak belirlenmiştir.

Marinković ve diğ. (2010)’nin yürüttüğü çalışmanın sonuçları, agrega ve çimento üretim aşamalarının etkilerinin GDAB için NB’ye göre biraz daha büyük olduğunu ancak toplam çevresel etkilerin DA ve GDA taşıma mesafelerine ve taşıma türlerine bağlı olduğunu göstermektedir. Sınırlı DA ve GDA taşıma mesafeleri ile GDAB’nin çevresel etkilerinin NB’nin çevresel etkilerine eşit veya hatta daha düşük olabileceği sonucuna varılmıştır (Marinković ve diğ, 2010).

Marinković ve diğ. (2014) da yapmış olduğu çalışmanın temel amacı, Sırbistan'daki GDAB üretiminin çevresel etkisini değerlendirmek ve bunu NB üretiminin çevresel etkisiyle karşılaştırmaktır.

Marinković ve diğ. (2014) de yaptığı çalışmada NB’nin agregası kırma taş ve doğal ince kum ile yapılmış, GDAB ise GA ve doğal ince kum ile yapılmıştır. Yapılan YDD çalışmasında iki beton türü için fonksiyonel birim 1 m³ beton olarak seçilmiştir. Çalışmanın NB kapsamında beşikten kapıya (ham maddelerin çıkarılmasından betonun müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç) yaklaşımı ile belirlenmiştir. Çalışma GDAB kapsamında beşikten kapıya (Bina yıkımı sistemden çıkarılarak, geri dönüşüm tesisinde başlayıp, betonun müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç) yaklaşımı ile belirlenmiştir. İki beton üretimi esnasında oluşan atıklar yok sayılmıştır. Söz konusu çalışmada hazır beton ve geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretimi Sırbistan’da yapılmakta olup, agrega, çimento ve beton üretimi için tüm YDE verileri yerel tedarikçilerden toplanmıştır. Yerel koşullar için toplanamayan mazot tipi, doğal gaz dağıtımı ve nakliyesi için emisyon verileri Global Emission Model for Integrated Systems (GEMIS) veri tabanından alınmıştır. Sözü edilen çalışmada, yaşam döngüsü

değerlendirme yöntemi olarak CML 2001 etki değerlendirme yöntemi kullanılmıştır (Marinković ve diğ, 2014).

Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında, %100 DA içeren 1 m³ beton ile %50 GA içeren 1 m³ betonun çevresel etkisi AFTPf, AP, ÖP, KIP ve FOOP'a göre kıyaslanmıştır. Çizelge 2.1'de yer aldığı gibi yapılan çalışmada 1 m³ NB'nin AFTPf'si 1950 MJ, AP'si 2,45 kg SO₂ eşd., ÖP'si 0,150 kg PO₄⁻³ eşd., KIP'si 378 kg CO₂ eşd., FOOP'si 0,0750 kg C₂H₄ eşd.'dir. 1 m³ GDAB'nin AFTPf'si 1700 MJ, AP'si 2,24 kg SO₂ eşd., ÖP'si 0,137 kg PO₄⁻³ eşd., KIP'si 340 kg CO₂ eşd., FOOP'si 0,0655 kg C₂H₄ eşd. Olarak belirlenmiştir (Marinković ve diğ, 2014).

Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında, NB üretiminde çimento üretimi ve taşıma mesafesinin önemi görülmektedir. NB'nin çimento içeriği ve varsayılan taşıma mesafesi ve türü nedeniyle NB, en büyük çevresel etkiye sahiptir. Bununla birlikte, Doğal kaynak yerine GDA kullanımının, çevresel faydalar sağladığını tespit etmektedir (Marinković ve diğ, 2014).

Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında amaç, GDA'nin beton üretimine dahil edilmesi üzerine GDAB ve NB üretiminin çevresel etkilerini değerlendirilip karşılaştırmaktır (Imtiaz ve diğ, 2021).

NB'nin agregası kırma taş ve doğal ince kum ile yapılmış, GDAB ise GA ve doğal ince kum ile yapılmıştır. Yapılan YDD çalışmasında iki beton türü için fonksiyonel birim 1 m³ beton olarak seçilmiştir. Çalışmada NB, kapsamında beşikten kapıya (ham maddelerin çıkarılmasından betonun müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç), GDAB ise beşikten kapıya (Bina yıkımı sistemden çıkarılarak, geri dönüşüm tesisinde başlayıp, betonun müşteriye tesliminden hemen önceki aşamasına kadar olan süreç) yaklaşımı ile belirlenmiştir. İki beton üretimi esnasında oluşan atıklar yok sayılmıştır. Bu çalışma hazır beton ve geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretimi Pakistan'da bulunmaktadır, Agregat, çimento ve beton üretimi için tüm YDE verileri yerel tedarikçilerden toplanmaktadır. Ulaşım mesafelerinin hesaplanması Google Map uygulamasına dayanmaktadır. Bu çalışma CML 2001 etki değerlendirme yöntemi ile değerlendirilmiştir (Imtiaz ve diğ, 2021).

Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında, %100 DA içeren 1 m³ beton ile %100 GA içeren 1 m³ betonun çevresel etkisi AP, ÖP, TCETP, KIP, FOOP ve KETP'ye göre kıyaslanmıştır. Çizelge 2.1'de yer aldığı gibi yapılan çalışmada 1 m³ NB'nin AP'si

1,02 kg SO₂ eşd., ÖP'si 0,0792 kg PO₄⁻³ eşd., TCETP'si 1,78x10⁻⁷ kg DCB eşd., KIP'si 264 kg CO₂ eşd., FOOP'si 0,0963 kg C₂H₄ eşd., KETP'si 6,32x10⁻³¹ kg DCB eşd.'dir. 1 m³ GDAB'nin AP'si 1,01 kg SO₂ eşd., ÖP'si 0,0788 kg PO₄⁻³ eşd., TCETP'si 1,67x10⁻⁷ kg DCB eşd., KIP'si 261 kg CO₂ eşd., FOOP'si 0,0411 kg C₂H₄ eşd., KETP'si 6,3x10⁻³¹ kg DCB eşd.'dir. olarak belirlenmiştir (İmtiaz ve diğ, 2021).

İmtiaz ve diğ. (2021) yapmış olduğu çalışmada, NB üretiminde çimento üretiminin en yüksek etkiye sahip olup, çimentodan sonra en büyük çevresel etkinin agrega ve kum üretiminden kaynaklandığı belirlenmiştir. Söz konusu çalışmada GDAB üretiminde DA yerine GDA kullanılarak, tüm çevresel etkilerin azaldığı belirlenmiştir (İmtiaz ve diğ, 2021).

Çizelge 2.2 ve Çizelge 2.3'te sırasıyla seçilen literatür çalışmalarında ele alınan NB ve GDAB'un formülasyon ve özellikleri gösterilmektedir. Literatür çalışmalarının ham madde miktarı ve türü nedeniyle üretim işleminde ihtiyaç duyulan enerji, su girdileri, üretim ve ham madde tedarik yerlerinin mesafeleri ve seçilen araç tipi farklı olabilmekte ve literatür çalışmalarının YDD sonuçlarında farklı etki gösterebilmektedir (Xing ve diğ, 2022).

Çizelge 2.2 : Seçilen literatür çalışmalarının 1 m³ NB için formülasyonu, temel özellikleri ve kullanılan taşıma mesafe değerleri.

Malzeme /Kaynak	Marinković ve diğ. (2014)	Marinković ve diğ. (2010)	İmtiaz ve diğ. (2021)
Çimento,(kg/m³)	384 (Portland cement CEM I 42.5 R)	315 (Portland cement CEM I 42.5 R)	415 (Portland cement CEM II/A- LL 42.5R)
Agrega,(kg/m³)	1165	1221	1040
4/8 mm	320	338	-
5/12 mm	-	-	-
8/11,2 mm	-	-	-
8/16 mm	315	282	-
12/22 mm	-	-	-
16/31,5 mm	548	601	-
Kum,(kg/m³)	592	658	620
0/4 mm	592	658	620
0/8 mm	-	-	-
Su,(kg/m³)	201	180	185
Akışkanlaştırıcı,(kg/m³)	-	-	2
Beton Özellikleri			
Yoğunluk (kg/m³)	2354	2396	2260
Basınç dayanım (MPa)	41,5	39,2	30
Taşıma Mesafeleri			
Toplam mesafe,km	250	260	440

Çizelge 2.3 : Seçilen literatür çalışmalarının 1 m³ GDAB için formülasyonu, temel özellikleri ve kullanılan taşıma mesafe değerleri.

Malzeme /Kaynak	Marinković ve diğ. (2014)	Marinković ve diğ. (2010)	İmtiaz ve diğ. (2021)
Çimento,(kg/m³)	354 (Portland cement CEM I 42.5 R)	330 (Portland cement CEM I 42.5 R)	415 (Portland cement CEM II/A- LL 42.5R)
Doğal Agreg,(kg/m³)	555	-	-
4/8 mm	-	-	-
5/12 mm	-	-	-
8/11,2 mm	-	-	-
8/16 mm	-	-	-
12/22 mm	-	-	-
16/31,5 mm	-	-	-
Geri Dönüştürülmüş agrega,(kg/m³)	555	1115	1040
0/8 mm	-	-	-
4/8 mm	-	240	-
5/12 mm	-	-	-
8/16 mm	-	343	-
12/22 mm	-	-	-
16/31,5 mm	-	532	-
Kum,(kg/m³)	598	601	620
0/2 mm	-	-	-
0/4 mm	598	601	620
Su,(kg/m³)	205	221	185
Akışkanlaştırıcı,(kg/m³)	-	-	6,2
Beton Özellikleri			
Yoğunluk (kg/m³)	2342	2259	2260
Basınç dayanım (MPa)	44,2	38,6	28
Taşıma Mesafeleri			
Toplam mesafe,(km)	365	260	290



3. MATERYAL VE METOT

Geri dönüştürülmüş agrega kullanılarak üretilen betonun çevresel etkileri Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemi ve değerlendirilmektedir.

Çalışmanın çevresel etkilerin modellenmesinde GaBi 4.3 yazılımı kullanılmıştır. Gerekli arka plan verileri GaBi Professional veritabanından uygun prosesler seçilerek, envanterdeki veriler ve hesaplanan değerleri girilmiştir. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi CML 2001 metodu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu metot kapsamında incelenen etki kategorileri; AETP, AFTP, AP, ÖP, TCETP, KIP, OTTP, FOOP, KETP olarak belirlenmiştir.

3.1 Yaşam Döngüsü Değerlendirilmesi

Bu çalışmada ISO 14040 (ISO, 2006) göre YDD aşamaları kullanılmaktadır.

3.1.1 Amaç ve kapsam

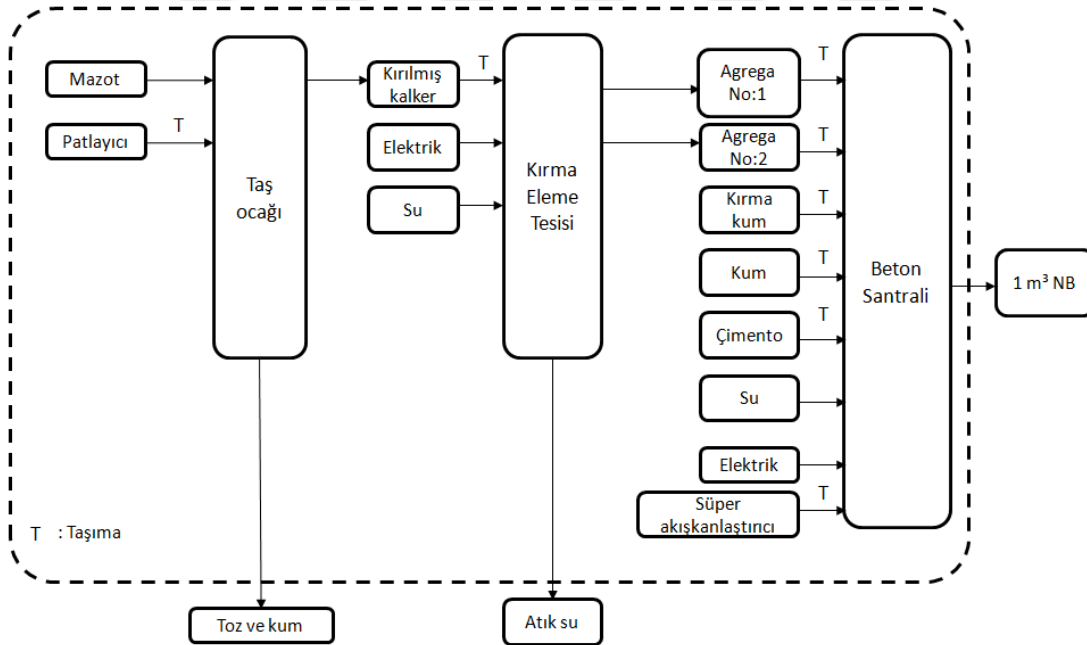
Bu çalışmanın amacı, bir inşaat molozundan elde edilen GDA'nın beton üretiminde kullanılarak potansiyel çevresel etkilerinin araştırılması ve ayrıca NB üretimi ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesidir. Bu kapsamda NB ve GDAB olmak üzere iki tip beton üretimi ayrıntılı olarak incelenir ve değerlendirilir.

3.1.2 Fonsiyonel birim

Bu çalışmada NB ve GDAB ile ilgili verilerin toplanması amacıyla kullanılan çalışmada (Göksu ve diğ., 2018) GDAB ve NB'nin basınç dayanımları sırasıyla 40,6 MPa ve 49,7 MPa'dır. Bu nedenle bu çalışmanın fonksiyonel birimi TS 500 standardına göre yapılan beton sınıflandırması da dikkate alınarak C40-C50 aralığında 1 m³ NB ve C40-C50 aralığında 1 m³ GDAB olarak seçilmiştir (TS 500, 2000). Bu çalışmanın devamında fonksiyonel birim kısaca 1 m³ NB ve 1 m³ GDAB olarak belirtilecektir.

3.1.3 Sistem sınırları

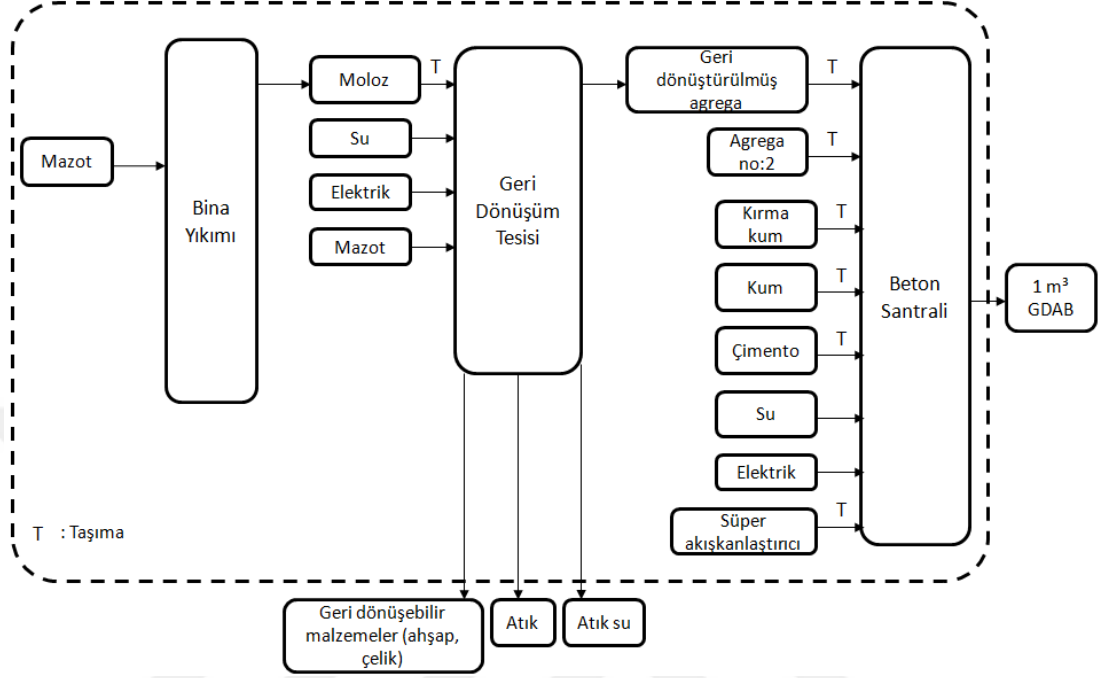
Şekil 3.1’de NB modeli için yapılan YDD analizindeki sistem sınırları gösterilmektedir. Ham maddenin üretimi ve tedariği, ham maddenin üretim tesisine taşınması, harcanan enerji ve su miktarları bu çalışmanın sistem sınırları kapsamındadır. Betonun kullanım, yaşam sonu aşaması, beton üretimine kadarki oluşan atık ve bertaraf bu çalışma kapsamının ve sistem sınırlarının dışında bırakılmıştır. NB üretiminde, taş ocağı prosesinde gerçekleşen kaya çıkarımı sonucu oluşan toz toprak malzemesi agrega üretiminde kullanılmadığından sistem sınırları dışında tutulmuştur. Kırma eleme tesisinde agreganın yıkama işlemi sonucu oluşan atıksu da sistem sınırları dahilinde değildir. Özetle, beşikten-kapıya yaklaşımı benimsenmiş ve bu yaklaşımın bir sonucu olarak genel olarak prosesten çıkan atıklar ve ilgili bertaraf tesisine taşınmaları sistem sınırları içerisine alınmamıştır.



Şekil 3.1 : NB üretimi için sistem sınırları.

Şekil 3.2’de GDAB modeli için yapılan YDD analizindeki sistem sınırları gösterilmektedir. Ham maddelerin tedariği tesise taşınması sistem sınırlarına dahil edilmiştir. Ham maddenin üretimi ve tedariki, ham maddenin üretim tesisine taşınması, harcanan enerji ve su miktarları bu çalışmanın sistem sınırları kapsamındadır. Betonun kullanım, yaşam sonu aşaması, beton üretimine kadarki oluşan atık ve bertaraf bu çalışma kapsamının ve sistem sınırlarının dışında bırakılmıştır. GDAB üretiminde, bina yıkımından elde edilen molozun geri dönüşüm tesisinde ahşap, metal, toprak, kum, atık su ve kullanılan malzemelerin geri

dönüşümü ve bertarafı sistem sınırları dışında bırakılmıştır. Özetle, genel olarak prosesten çıkan atıklar ve ilgili bertaraf tesisine taşınmaları sistem sınırları dışında tutulmuş ve beşikten-kapıya yaklaşımı benimsenmiştir.



Şekil 3.2 : GDAB üretimi için sistem sınırları.

3.1.4 Veri toplama ve NB&GDAB üretim prosesleri

Bu çalışmada YDD envanterini oluşturabilmek amacıyla NB ve GDAB özellikleri ve üretim prosesleri ile ilgili veri toplanma çalışması gerçekleştirilmiştir. Aşağıda sırasıyla NB ve GDAB için uygulanan veri toplama prosedürü ve toplanan veriler ayrıntılı bir şekilde sunulmuştur.

3.1.4.1 Normal beton üretimi

Bu çalışmada GDAB üretiminin çevresel etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek için, öncelikle NB üretiminin çevresel etkileri incelenmiştir. Çalışmanın çıkış noktası, Göksu ve diğ. (2018) tarafından geri dönüştürülmüş agrega ile üretilen betonun mekanik özelliklerinin deneysel olarak incelendiği çalışmadır. Söz konusu çalışmada yer alan NB formülasyonu bu çalışmadaki üretiminin formülasyonu olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.1). Bu çalışmada ele alınan beton formülasyonunda, 1 m³ NB üretmek için 300 kg çimento, 990 kg agrega, 513 kg kum, 407 kg kırma kum, 128 kg su ve katkı maddesi olarak 1,95 kg süper akışkanlaştırıcı kullanılmaktadır (Göksu ve diğ, 2018).

Çizelge 3.1 : 1 m³ NB'nun formulasyonu ve özellikleri (Göksu ve diğ, 2018).

Malzeme	Miktar
Çimento	300 (CEM I 42.5 R)
Agrega No:1 (12-22mm)	489
Agrega No:2(5-12)	501
Kırma kum (0-4 mm)	407
Kum (0-8 mm)	513
Su	128
Akışkanlaştırıcı	1,95
Beton özellikleri	
yoğunluk (kg/m ³)	2338
basınç dayanım (MPa)	49,7

Normal beton üretiminin endüstri ölçeğinde üretildiği kabul edilerek, ele alınan formulasyonda ve bu çalışmanın fonksiyonel birimi olan 1 m³ NB için üretim yapıldığında olması gerekli madde ve enerji verileri örnek tesislerde yapılacak üretim için düzenlenmiştir.

Normal betonun üretim aşamaları taş ocağından kaya çıkarımı ile başlanıp, kayanın kırma eleme tesisinde agrega boyutlarına getirilerek beton santralinde beton üretimine katılması ile sonlanmaktadır. Bu nedenle YDD çalışmasında bu 3 üretim yerinin madde ve enerji verilerinin hesaplanması gerekmektedir. Sonuçların gerçeğe yakın olabilmesi amacıyla İstanbul'da yer alan bir beton firması ile iletişime geçilerek firmanın aktif olarak üretimde bulunan taş ocağı, kırma eleme tesisi ve beton santrali ile ilgili madde ve enerji verileri ile ilgili veri toplanmış, toplanan bu veriler daha sonra bu çalışmanın fonksiyonel birimine göre uyarlanmıştır.

Üretimdeki ilk adım olan taş ocağı Kemberburgaz'da bulunmakta olup, taş ocağında, 1 ton kayanın işlenmesi sonucu yaklaşık olarak 0,6 ton agrega üretilmektedir. Üretim sırasında 1 ton kaya çıkarımı için 0,12 kg ANFO, 0,5 kg dinamit, 1 adet kapsül kullanılmaktadır.

Taş ocağında 0-1000 mm'lik kaya, ekskavatör ile 20 ton kapasiteli damperli kamyonu yüklenmekte ve 1 ton kaya çıkarımı için 0,5 L mazot harcanmaktadır. Yapılan işlemlerin sonucu olarak 1 ton kaya çıkarımında 0,4 ton toz ve toprak çıktığı ve oluşan bu atıkların çeşitli firmalara satıldığı bilgisi alınmıştır.

Üretimin ikinci aşaması, aynı firmaya ait ve taş ocağının 2 km uzağında bulunana kırma eleme tesisinde gerçekleşmektedir. Kırma eleme tesisine gelen kırılmış kaya bunkera taşınarak, kırıcılar ile ihtiyaç duyulan 0-5mm, 5-12mm, 10-20 mm boyutlara

getirilmektedir. Daha sonra, elde edilen agregalar eleklerden elenip sınıflandırılmaktadır. 1 ton agrega için kırma işlemine gereken elektrik enerjisi miktarı 4 kWh'tir. Küçük boyutlu agrega için kırma tekrarı artmaktadır. Bu işlemler dışında yıkama işlemi gerçekleştirilmekte ve bu amaçla kuyu suyu kullanılmaktadır. Kuyu suyunun iletimi ise 4 kWh gücündeki pompa ile sağlanmaktadır.

Üretimin son aşamasında, elde edilen agregalar, Gebze'de yer alan beton santralinde gerçekleştirilen beton üretiminde kullanılmaktadır. Beton santralinde ilk olarak hammaddelerin kamyonlarla üretim tesisine taşınması gerçekleştirilmektedir. Tesise gelen çimento silolarda, agregalar bunkerlarda depolanmakta, depolanan malzemeler bant konveyörle stok bunkerine taşınmaktadır. Çimento tedariği, aynı beton firmasına ait aktif üretim yapan ve Büyükçekmece'de yer alan çimento tesisinden sağlanmaktadır.

Her betonun içeriği aynı olmadığından ihtiyaç duyulan betona göre ham maddelerin ne kadar konulacağı belirlenmekte ve malzemeler stok bunkerinden tartım bandına boşaltılmaktadır. Tartım bandından santrale taşınan agregalar mikserde karıştırılmakta, mikserlere beton tasarımında belirtilen miktarlarda su, çimento, kum, agrega ve kimyasal katkıları (süper akışkanlaştırıcı) eklenmektedir. Mikserde karıştırma işlemi bittikten sonra, 1 m³ beton üretimi tamamlanmaktadır. 1 m³ beton üretimi için tesiste 3,5 kWh enerji harcanmaktadır.

Malzeme ve enerji verilerinden sonra tesis yeri bilgilerinden yararlanılarak ürün tedarik ve üretim zincirindeki ulaşım mesafelerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu amaçla belirlenen tesisler ve tedarik yerleri Google Map üzerinde işaretlenerek taşıma mesafeleri ölçülmüştür. Belirlenen üretim tesislerine sağlanacak hammadde ve ürün tedariki için mümkün olduğunca İstanbul'a yakın mesafedeki yerlerin araştırılması yapılmıştır. Bu kritere göre, ANFO, dinamit ve kapsülün Sakarya'da yer alan bir firmanın satış yerinden alındığı kabul edilmiştir. Patlayıcı malzemelerin satış yeri ile taş ocağının arası 160 km'dir. Taş ocağı ve kırma eleme tesisinin arası 2 km'dir. Agrega No:1, Agrega No:2, kırma kum ve kum malzemeleri aynı kırma eleme tesisinden tedarik edildiği kabul edilmektedir. Kırma eleme tesisi ile beton santrali arasındaki mesafe ise 61 km'dir. Çimento tesisi ve beton santrali tesisi arası 106 km'dir. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı satış yeri araştırılarak Ümraniye semtinde olduğu tespit edilmiştir. Süper akışkanlaştırıcının tedarik yeri ile beton santrali 50 km'dir. Tüm nakliyelerin 20 ton kapasiteli mazot kamyonlar

vasıtasıyla gerçekleştiği kabul edilmektedir. Çizelge 3.3'te elde edilen tüm taşıma yolları ve mesafeleri verilmiştir.

Çizelge 3.2 : 1 m³ NB girdi ve çıktı miktarları.

		Girdi/Çıktı Türü	Miktar	Birim	
Taş ocağı	Girdi	ANFO (patlayıcı)	0,15	kg	
		Dinamit (patlayıcı)	0,5	kg	
		Kapsül (patlayıcı)	1	adet	
		Mazot	0,82	L	
	Çıktı	Kırılmış kalker	990	kg	
		Toz ve Kum	660	kg	
Kırma Eleme Tesisi	Girdi	Kırılmış kalker	990	kg	
		elektrik	10,6	kWh	
		su	200	kg	
	Çıktı	Agrega No:1 (5-12mm)	501	kg	
		Agrega No:2 (10-20mm)	489	kg	
		Atık su	200	kg	
Beton Santrali	Girdi	Agrega No:1 (5-12mm)	501	kg	
		Agrega No:2 (10-20mm)	489	kg	
		Kırma kum	407	kg	
		Kum	513	kg	
		Çimento	300	kg	
		Süper akışkanlaştırıcı	1,95	kg	
		Su	128	kg	
		Elektrik	3,5	kWh	
		Çıktı	Beton	1	m³

Çizelge 3.3 : 1 m³ NB üretimi taşıma mesafesi envanter tablosu.

	Çıkış - Varış Noktası	Uzaklık (km)
ANFO	Sakarya-Kemerburgaz	
Dinamit	Sakarya-Kemerburgaz	160
Kapsül	Sakarya-Kemerburgaz	
Kırılmış kalker	Taş ocağı-Kırma eleme tesisi	2
Agrega No:1 (5-12mm)	Kemerburgaz-Gebze	61
Agrega No:2 (10-20mm)	Kemerburgaz-Gebze	106
Kırma kum	Kemerburgaz-Gebze	61
Kum	Kemerburgaz-Gebze	61
Çimento	Büyükçekmece-Gebze	61
Süper akışkanlaştırıcı	Ümraniye-Gebze	50
Toplam		440

3.1.4.2 Geri döndürülmüş agregalı betonun üretimi

Bu çalışmada GDAB üretiminin çevresel etkilerini karşılaştırmalı olarak değerlendirebilmek için, öncelikle GDAB üretiminin çevresel etkileri incelenmiştir. Çalışmanın çıkış noktası, Göksu ve diğ. (2018) tarafından geri dönüştürülmüş agregala ile üretilen betonun mekanik özelliklerinin deneysel olarak incelendiği çalışmadır. Söz konusu çalışmada yer alan GDAB formülasyonu bu çalışmadaki GDAB üretiminin formülasyonu olarak kullanılmıştır (Çizelge 3.4). Bu çalışmada ele alınan beton formülasyonunda, 1 m³ GDAB üretmek için 300 kg çimento, 493 kg DA, 522 kg GDA 518 kg kum, 410 kg kırma kum, 110 kg su ve katkı maddesi olarak 2,1 kg süper akışkanlaştırıcı kullanılmaktadır (Göksu ve diğ., 2018).

Çizelge 3.4 : 1m³ GDAB üretiminin girdileri çıktıları.

Malzeme	Miktar (kg/m ³)
Çimento	300 (CEM I 42.5 R)
Agrega No:2 (5-12)	493
Geri dönüştürülmüş agregala (5-12mm)	522
Kırma kum (0-4 mm)	410
Kum (0-8 mm)	518
Su	110
Akışkanlaştırıcı	2,1
Beton özellikleri	
Yoğunluk (kg/m ³)	2345
Basınç dayanımı (MPa)	40,6

GDAB üretiminin endüstri ölçeğinde olduğu kabul edilerek, ele alınan formülasyonda ve bu çalışmanın fonksiyonel birimi olan 1 m³ GDAB için üretim yapıldığında olması gerekli madde ve enerji verileri, yapılacak üretim için düzenlenmiştir.

GDAB üretim aşamaları bina yıkımından elde edilen moloz ile başlayıp, molozun geri dönüşüm tesisinde agrega boyutlarına getirilerek beton santralinde beton üretimine katılması ile sonlanmaktadır. Bu nedenle YDD çalışmasında bina yıkımı, geri dönüşüm tesisi ve beton santralinin madde ve enerji verilerinin hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada geri dönüştürülecek ve GDAB üretiminde kullanılacak agreganın temin edildiği bina yıkım işleminin, İstanbul Fikirtepe’de kentsel dönüşüme giren bir bina için yapılacağı varsayılmıştır. Fikirtepe, kentsel dönüşüm uygulamasının yoğun olduğu bir bölge olup, bu çalışmada ele alınan beton santrali ile İstanbul’un aynı yakasında olması nedeniyle seçilmiştir. Bölgeye ait bir bina verisine sahip olunmadığından, bina yıkımında, Sönmez (2019)’in çalışmasında ele alınan 3 katlı betonarme binanın girdileri kullanılmış ve modelleme için gereken moloz miktarı hesaplanmıştır (Sönmez, 2019). Binanın yapı malzemeleri ve miktarı Çizelge 3.5’te gösterilmektedir.

Çizelge 3.5 : Binanın yapı malzemeleri ve miktarları.

Malzeme	Miktar, (kg)
Beton	423.480
Tuğla	29.162
Çimento	17.330
Alçı	128
İnşaat çeliği	18.054
Çatı kiremitleri	5.292
Taş yönü	3.888
Cam	920
Toplam PVC	889
Elektrik kabloları	145
Mutfak tezgahı	190
Duş teknesi	76
Ahşap	10.209
Seramik	1.538
Toplam	511.301

Bina yıkımı sonucu oluşacak moloz miktarının ve özelliklerinin hesaplanması için bir yıkım firması ile görüşülerek ülkemizde yapılan bina yıkım prosesleri ile ilgili bilgi alınmıştır. Buna göre, bina yıkımı öncelikle el ile söküm aşaması ile başlamaktadır. Binada bulunan kapı, pencere, mutfak dolabı, laminant parke v.b. maddeler ikinci el olarak, geri dönüşüme gidecekler ise geri dönüşüm tesisine götürülerek değerlendirilmektedir. Alınan bilgi doğrultusunda bu çalışma için hesaplanan moloz miktarı Çizelge 3.6’da belirtilmektedir. Bu çalışmada ele alınan bina ahşap bir dış cephe kaplamasına sahip olup (Sönmez, 2019), Fikirtepe bölgesinde bu özellikte binalar olmadığından, bina dış cephesinde kullanılan ahşap malzemesi bu çalışmada oluşan moloz miktarı hesaplanırken dikkate alınmamıştır.

Çizelge 3.6 : Binanın moloz miktarı.

Moloz Bileşenleri	Miktar, (kg)
Beton	423.480
Tuğla	29.162
Çimento	17.330
Alçı	128
İnşaat çeliği	12.637
Taş yönü	3.888
Ahşap	8326
Seramik	1.538
Toplam	502.266

Yıkım firmasından alınan bilgilere göre el ile söküm aşamasından sonra ekskavatör makinesi ile yıkım gerçekleşmektedir. Yıkım firmasında görüşülen yetkili kişi ile bu çalışmada kabul edilen binanın malzeme miktarı değerlendirildiğine, yıkım aşamasının iki gün süreceği tespit edilmektedir. Yıkım firmasında sahada görev alan yetkili kişiden alınan bilgi doğrultusunda ekskavatörün bir saatte 25 litre mazot tükettiği bilinmektedir. Bu çalışmada bir gün için 8 saatlik yıkım işlemi gerçekleşeceği düşünülerek ekskavatörün iki gün boyunca harcadığı mazot miktarı 400 L olarak hesaplanmaktadır. Bina yıkımlarında kullanılan aracın 20 tonluk damperli kamyon olduğu öğrenilmiştir. Bu çalışmada, molozun ekskavatör yardımı ile 20 tonluk kapasiteli damperli kamyonu yüklenecek geri dönüşüm tesisine gittiği kabul edilmektedir.

Bu çalışmanın başında yapılan literatür araştırması sonucu ulaşılan bilgi dahilinde, İstanbul’da inşaat yıkım atıklarının geri dönüştürüldüğü bir tesis bulunmamaktadır.

Bu nedenle literatür araştırılması yapılarak çalışmada kullanılmak üzere örnek bir geri dönüşüm tesisi bilgisi bulunmuştur. Bu kapsamda Rosado ve diğ. (2017) çalışmasındaki geri dönüşüm tesis bilgileri alınarak, bu örnek tesisin İstanbul Tuzla'da bulunduğu kabul edilmiş ve sözü edilen çalışmada verilen 1 tonluk moloz için gereken geri dönüşüm tesis girdi miktarları bu çalışmaya uyarlanmıştır.

Rosado ve diğ. (2017) çalışmasında ele alınan geri dönüşüm tesisi 320 ton/gün üretim kapasitesine sahip olup, söz konusu tesiste ortalama 40 ton/saat verimle GDA üretilmektedir. Tesise gelen moloz, bir ekskavatör tarafından titreşimli bir besleyiciye aktarılmakta, burada elde edilen toprak ve kum bir ızgarada ayrılmakta ve farklı kullanımlar için satılmaktadır. Burada kullanılan ekskavatör kullanımında 1 ton moloz için 0,43 L mazot harcanmaktadır. Daha sonra, moloz, içinde diğer geri dönüştürülebilir malzemelerin el yardımı ile ayrılabilirdiği bir taşıma bandına geçmektedir. Moloz içinde bulunan odun, talaşlar halinde kesilmekte ve biyokütle yakıtı olarak satılmakta; demirli malzemeler, bir elektromıknatıs tarafından çıkarılmakta ve metal hurda olarak satılmakta; kullanılmayan malzemeler ise düzenli depolama alanına gönderilmektedir. Bir sonraki adımda, moloz bir darbeli kırıcıdan geçirilip, geniş tane boyutu aralığında olan GDA elde edilmektedir. Daha sonraki adımda, elde edilen GDA elenerek, dört farklı parçacık boyutu aralığında agrega üretilmektedir. Bu sırada toz emisyonlarını en aza indirmek için kırıcının yanında bulunan bir su fıskiyesi kullanılmaktadır. 1 ton moloz için gereken su ihtiyacı 800 kg, kullanılan makineler için gerekli elektrik ihtiyacı ise 1.8 kWh'tir (Rosado ve diğ, 2017).

Üretimin son aşamasında, geri dönüştürülen moloz, yani GDA, Gebze'de yer alan beton santralinde gerçekleştirilen beton üretiminde kullanılmaktadır. Beton santralinde ilk olarak hammaddelerin kamyonlarla üretim tesisine taşınması gerçekleştirilmektedir. Tesise gelen çimento silolarda, agregalar bunkerlarda depolanmakta, depolanan malzemeler bant konveyörle stok bunkerine taşınmaktadır. Çimento tedariği, aynı beton firmasına ait aktif üretim yapan ve Büyükçekmece'de yer alan çimento tesisinden sağlanmaktadır. Her betonun içeriği aynı olmadığından, ihtiyaç duyulan betona göre ham maddelerin ne kadar konulacağı belirlenmekte ve malzemeler stok bunkerinden tartım bandına boşaltılmaktadır. Tartım bandından santrale taşınan agregalar beton mikserlerinde karıştırılmaktadır. Mikserlere beton tasarımında belirtilen miktarlarda su, çimento, kum, agrega ve kimyasal katkıları

(süper akışkanlaştırıcı) eklenmektedir. Beton santralinde 1 m³ GDAB üretimi için 3,5 kWh enerji harcanmaktadır. Çizelge 3.7’de 1 m³ GDAB üretiminin girdi ve çıktıları miktarları ile birlikte sunulmuştur.

Çizelge 3.7 : 1 m³ GDAB için girdi ve çıktı miktarları.

		Girdi/Çıktı Türü	Miktar	Birim
Bina Yıkımı	Girdi	Mazot	0,52	L
	Çıktı	Moloz	653	kg
Geri Dönüşüm Tesisi	Girdi	Moloz	653	kg
		Elektrik	10,6	kWh
		Mazot	0,26	L
	Çıktı	Su	400	kg
		GDA (5-12mm)	522	kg
		Atık su	400	kg
		Geri dönüşebilir malzemeler (ahşap, çelik)	13	kg
Beton Santrali	Girdi	Atık	118	kg
		GDA (5-12mm)	522	kg
		Agrega No:2 (10-20mm)	493	kg
		Kırma kum	410	kg
		Kum	518	kg
		Çimento	300	kg
		Süper akışkanlaştırıcı	2,1	kg
		Su	110	kg
	Çıktı	Elektrik	3,5	kWh
		Beton	1	m ³

Malzeme ve enerji verilerinden sonra, bu çalışma için kabul edilen tesisler ve konum bilgilerinden yararlanılarak ürün tedarik ve üretim zincirindeki ulaşım mesafelerinin belirlenmesi aşamasına geçilmiştir. Bu amaçla belirlenen tesisler ve tedarik yerleri Google Map üzerinde işaretlenerek taşıma mesafeleri ölçülmüştür. Bina yıkımının kabul edildiği Fikirtepe ile kabul edilen Tuzla geri dönüşüm tesisinin arası 43 km’dir. Geri dönüşüm tesisi ve Gebze beton santrali arası ise 37 km’dir. Agregası no:2, kırma kum ve kum aynı kırma eleme tesisinden tedarik edildiği kabul edilmektedir. Kırma eleme tesisinin beton santraline mesafesi 61 km’dir. Çimento tesisi, Büyükçekmece’de üretim yapan bir tesistir. Çimento tesisi ve beton santrali tesisi arası ise 106 km’dir. Kullanılan süper akışkanlaştırıcının satış yeri araştırılarak Ümraniye semtinde olduğu tespit edilmiştir. Süper akışkanlaştırıcının tedarik yerinden beton santraline olan uzaklığı 50 km’dir. Tüm nakliye işlemlerinin 20 ton kapasiteli kamyonlar vasıtasıyla gerçekleştirildiği kabul edilmiştir (Çizelge 3.8).

Çizelge 3.8 : 1 m³ GDAB için taşıma mesafesi envanter bilgisi.

	Çıkış-Varış Noktası	km
Moloz	Fikirtepe-Tuzla	43
GDA (5-12mm)	Tuzla-Gebze	37
Agrega No:2 (10-20mm)	Kemerburgaz-Gebze	61
Kırma kum	Kemerburgaz-Gebze	61
Kum	Kemerburgaz-Gebze	61
Çimento	Büyükçekmece-Gebze	106
Süper akışkanlaştırıcı	Ümraniye-Gebze	50
Toplam		237

3.1.4.3 Normal betonun ve geri dönüştürülmüş agregalı betonun modellemesinde kullanılan prosesler

NB ve GDAB'nin modellemesinde, Gabi Profesyonel Veri Tabanından seçilerek kullanılan prosesler, Çizelge 3.9'da verilmektedir. Çalışmada kullanılan elektrik verisi, Türkiye'nin 2020 yılındaki elektrik enerjisi üretiminin kaynak dağılımı dikkate alınarak hazırlanmıştır. Modellenen şebeke elektriği karışımının %25,5'ini hidroelektrik, %23,1'ini doğalgaz, %22,1'ini kömür, %12,4'ünü linyit, %8,1'ini rüzgar enerjisi ve %3,6'sını güneş enerjisi oluşturmaktadır (TEİAŞ, 2021).

Modelleme hazırlanırken kullanılan veri tabanında, taş ocağında kullanılan ANFO, dinamit ve kapsül için gerekli arka plan verisine ulaşılamadığı için modellemede Orica Norway AS'ın yayımladığı bir çevresel ürün beyanında yer alan patlayıcının çevresel etkileri, kullanılan miktara bağlı olarak uyarlanarak ve sonuçlara eklenerek kullanılmıştır (Url-4, 2018).

Modelleme hazırlanırken programda, NB ve GDAB'de kullanılan süper akışkanlaştırıcı içeriğine ulaşılamadığı için Avrupa Beton Katkı Maddeleri Federasyonu'nun (EFCA) yayımladığı bir çevresel ürün beyanında yer alan süper akışkanlaştırıcının çevresel etkileri, kullanılan miktara bağlı olarak uyarlanarak ve sonuçlara eklenerek kullanılmıştır (Url-3, 2015).

Çizelge 3.9 : 1 m³ NB ve GDAB için modellemede kullanılan prosesler.

Normal Beton Üretimi	
Hidroelektrik	EU-28:Electricity from hydro power ts
Doğalgaz	FR:Electricity from natural gaz ts
Kömür	FR:Electricity from hard coal ts
Linyit	IT:Electricity from lignite ts
Rüzgar enerjisi	EU-28:Electricity from wind power ts
Güneş enerjisi	EU-28:Electricity from solar power ts
Kırma Kum	CN: Crushed sand 0/2 ts
Agrega	DE: Limestone (CaCO ₃ ; washed) ts
Çimento	EU-28: Cement (CEM I 42.5) (EN15804 A1-A3) ts
Mazot	EU-28: Diesel mix at refinery ts
Kum	EU-28: Sand 0/2 ts
Su	EU-28: Tap water ts
20 tonluk kamyon	RER: Lorry (22t) incl. fuel ELCD
Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton Üretimi	
Hidroelektrik	EU-28:Electricity from hydro power ts
Doğalgaz	FR:Electricity from natural gaz ts
Kömür	FR:Electricity from hard coal ts
Linyit	IT:Electricity from lignite ts
Rüzgar enerjisi	EU-28:Electricity from wind power ts
Güneş enerjisi	EU-28:Electricity from solar power ts
Kırma Kum	CN: Crushed sand 0/2 ts
Agrega	DE: Limestone (CaCO ₃ ; washed) ts
Çimento	EU-28: Cement (CEM I 42.5) (EN15804 A1-A3) ts
Mazot	EU-28: Diesel mix at refinery ts
Kum	EU-28: Sand 0/2 ts
Su	EU-28: Tap water ts
20 tonluk kamyon	RER: Lorry (22t) incl. fuel ELCD

3.2 Maliyet Analizi

Çalışmanın bu aşamasında çevresel etkilerin belirlenmesine ek olarak NB ve GDAB'nin karşılaştırmalı olarak maliyet analizine yer verilmiştir.

Maliyet analizinin YDD ile paralel olarak ele alınan ürünün tüm yaşam döngüsündeki prosesler ele alınarak, Yaşam Döngüsü Maliyet Analizi (YDMA) yöntemi ile yapılması gereklidir. Literatürde GDAB'nin YDMA ile değerlendirildiği çalışma sayısı oldukça sınırlı olup, genellikle fayda-maliyet analizi ya da üretim maliyeti analizi yöntemleri kullanılmıştır (Dias ve diğ, 2022).

Bu konuda yapılan karşılaştırmalı çalışmalarda genellikle GDAB maliyetlerinin NB'a göre daha az olduğu sonucu elde edilmiştir. Ancak, bunun tam tersi şekilde GDAB maliyetlerinin daha yüksek olarak tespit edildiği çalışmalar da mevcuttur. Örneğin, geri dönüşüm işlemi için seçilen yöntem söz konusu maliyetlerin daha yüksek olmasına neden olabilmektedir. Ancak, sadece üretim maliyetine bakılarak çıkarım yapılması yerine, kaynak yönetimi, atık yönetimi, çevresel yararlar gibi özelliklerin birlikte değerlendirilmesi gereklidir. Bu nedenle GDAB'nin ekonomik analizi ile ilgili çalışmaların halen geliştirilmesi ve tam bir değerlendirme için YDMA yöntemi uygulanarak tüm yaşam döngüsü aşamaları için hesaplanması daha kapsamlı sonuçların alınması için gereklidir (Dias ve diğ., 2022).

Maliyet analizi agrega üretiminin çeşitli aşamalarındaki maliyetler, ekipman, işletme sermayesi, bakım giderleri, işçilik giderleri, yakıt, su ve sabit giderleri içermektedir (Dias ve diğ., 2022).

Bu çalışmanın esas konusu çevresel etkilerin YDD yöntemi ile belirlenmesi olduğundan ve geri dönüşüm tesisi ile ilgili veriler literatürde bulunan bir çalışmadan temin edildiğinden (Rosado ve diğ., 2017), çalışma süresi çerçevesinde, ele alınan NB ve GDAB üretimlerinin maliyetleri ile Türkiye koşulları için bir genel bilgi verilebilmesi amacıyla basit bir yaklaşımla üretim maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan maliyet analizi, YDD çalışmasında çevresel etkilerin hesaplanmasında dikkate alınan madde ve enerji girdilerinin güncel maliyetlerinin hesaplanmasını içermektedir. Bu amaçla, öncelikle ele alınan proseslerdeki tüm malzeme ve enerji miktarları listelenmiş; daha sonra bu listedeki maddelerin Türkiye'deki birim fiyatları ile ilgili güncel bilgi toplanmıştır. Bu amaçla esas kaynak olarak Türkiye'deki inşaat projelerinde geçerli tüm maliyetleri içeren, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığının (ÇŞİB) yayınladığı, 2022 yılı (1 Temmuz 2022 tarihinden itibaren geçerli) İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Listesi kullanılmıştır (Url-8, 2022). Ayrıca, ele alınan taş ocağı ve beton tesisi İstanbul ilinde yer aldığından, kullanılan suyun İstanbul Su ve Kanalizasyon İdaresi (İSKİ)'nden temin edildiği kabul edilerek güncel endüstriyel su kullanımı birim fiyat bilgisi İSKİ 2022 Su Tarife Listesinden alınmıştır (Url-9, 2022). Daha sonra YDD'de kullanılan fonksiyonel birim olan 1m³ NB ve GDAB için ayrı ayrı toplam maliyet hesaplanarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

Bu çalışmadaki gerçekleştirilen maliyet analizi yukarda sözü edildiği gibi sadece bu çalışmanın sistem sınırları dahilindeki girdi ve çıktıları için hesaplanmıştır. Ancak kentsel dönüşümün üst düzey olduğu metropol alanlarda bina yıkıntılarının bertaraf alanlarına taşınması ve bertarafının mali ve çevresel yükü göz ardı edilmemelidir.

3.2.1 Normal betonun maliyet envanteri

1 m³ NB üretimi için kullanılan malzeme ve enerji, taş ocağında kullanılan ANFO, dinamit ve kapsül malzemeleri, ekskavatör ve kullanılan araçlar için gereken mazot yakıtı, üretimde kullanılan makinaların elektrik tüketimi ve NB üretiminde kullanılan, kum, kırma kum, çimento ve süper akışkanlaştırıcıdır.

Çizelge 3.10’da her girdi için, üretimde kullanılan miktar, toplanan birim fiyat değerleri ve ÇŞİB’nin yayınladığı, İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Listesinde listelenen ilgili Poz no verilmiştir.

Çizelge 3.10 : 1 m³ NB üretiminin maliyet değerleri (Url-8, 2022)(Url-9, 2022).

Parametre	Miktar	Birim	Birim fiyatı	Poz no	Referans
ANFO	0,15	kg	10 TL / kg	10.160.1002	ÇŞİB
Dinamit	0,5	kg	29 TL / kg	10.160.1001	ÇŞİB
Kapsül	1	adet	4 TL /AD	101601005	ÇŞİB
Mazot (ekskavatör)	0,82	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma)	0,0495	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Elektrik (kırıcı)	10,6	kWh	2,78 TL / kWh	10.160.1030	ÇŞİB
Su (iş yeri)	200	kg	9,63 TL/m ³		İSKİ
Mazot (taşıma-Agrega No:1)	0,46	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma-Agrega No:2)	0,44	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Kırma kum	407	kg	61,81 TL/m ³	10.130.1025	ÇŞİB
Kum	513	kg	24,12 TL/m ³	10.130.1024	ÇŞİB
Çimento	300	kg	970 TL/ton	10.130.1204	ÇŞİB
Süper akışkanlaştırıcı	1,95	kg	9,80 TL/ kg	10.300.2002	ÇŞİB
Su	128	kg	9,63 TL/m ³		İSKİ
Elektrik	3,5	kWh	2,78 TL / kWh	10.160.1030	ÇŞİB
Mazot (taşıma - Kırma kum)	0,37	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma - Kum)	0,46	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma - Süper akışkanlaştırıcı)	0,005	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma -Çimento)	0,28	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB

3.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun maliyet envanteri

1 m³ GDAB üretimi için kullanılan malzeme ve enerji bina yıkımında kullanılan ekskavatör ve geri dönüşüm tesisindeki kullanılan makineler ve tüm araçlar için gereken mazot yakıtı, geri dönüşüm tesisinde kullanılan makinelerin elektrik tüketimi ve GDAB üretiminde kullanılan, agrega no:2, kum, kırma kum, çimento ve süper akışkanlaştırıcıdan oluşmaktadır.

Çizelge 3.11’de her girdi için, üretimde kullanılan miktar, toplanan birim fiyat değerleri ve ÇŞİB’nin yayınladığı, İnşaat ve Tesisat Birim Fiyatları Listesinde listelenen ilgili Poz no sırasıyla verilmiştir.

Çizelge 3.11 : 1 m³ GDAB’nin maliyet değerleri (Url-8, 2022)(Url-9, 2022).

Parametre	Miktar	Birim	Birim fiyatı	Poz no	Referans
Mazot (ekskavatör)	0,52	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB*
Mazot (taşıma)	0,3	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
elektrik (kırıcı)	10,6	kWh	2,78 TL / kWh	10.160.1030	ÇŞİB
su (iş yeri)	400	kg	9,63 TL/m ³		İSKİ
Mazot (makineler)	0,26	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma-GDA)	0,1	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Agrega No:2	493	kg	122,05 TL/m ³	10.130.1029	ÇŞİB
Kırma kum	410	kg	61,81 TL/m ³	10.130.1025	ÇŞİB
Kum	518	kg	24,12 TL/m ³	10.130.1024	ÇŞİB
Çimento	300	kg	970 TL/ton	10.130.1204	ÇŞİB
Süper akışkanlaştırıcı	2,1	kg	9,80 TL/ kg	10.300.2002	ÇŞİB
Su	110	kg	9,63 TL/m ³		İSKİ**
Elektrik	3,5	kWh	2,78 TL / kWh	10.160.1030	ÇŞİB
Mazot(Agrega No:2)	0,45	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma – Kırma kum)	0,37	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma – Kum)	0,47	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma – Süper akışkanlaştırıcı)	0,0054	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB
Mazot (taşıma -Çimento)	0,28	L	26,53 TL/ kg	10.160.1026	ÇŞİB

4. YAŞAM DÖNGÜSÜ MODELLEME SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME

1 m³ GDAB üretiminde çimento, agrega no:2, kum, kırma kum, süper akışkanlaştırıcı, su taşıma, elektrik ve mazot kullanımının çevresel etki sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir. Çizelge 4.2’de Çizelge 4.1’de verilen etkilerin yüzde katkıları özetlenmiştir. Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere bu çalışmada AETP, AFTPf, AP,TCETP, KIP, FOOP ve KETP etki kategorisinde en büyük etkinin çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Bunun nedeni çimento üretiminin büyük oranda ham madde, kimyasal madde kullanımı ve enerji tüketimi gerektiren bir üretim sistemi olması ve beton üretiminde yüksek oranda çimento kullanılmasıdır (Url-7, 2022). ÖP etki kategorisinde en büyük etkinin süper akışkanlaştırıcıdan kaynaklandığı, OTTP etki kategorisinde ise en büyük etkinin taşımadan kaynaklandığı saptanmıştır.

Çizelge 4.2’de görüldüğü gibi etki kategorisindeki pay açısından çimentonun en yüksek katkısı %98 ile AETP etki kategorisindedir. OTTP kategorisindeki çevresel etkinin %93’lük kısmı taşımadan kaynaklanmaktadır. GDAB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcının en büyük etkisi %75 ile ÖP etki kategorilerinde gözlemlenmiştir. Kırma kumun en büyük etkisi %20 ile TCETP etki kategorisinde görülmektedir. Agrega no:2’nin en büyük etkisi %5 ile AFTPf etki kategorisinde görülmektedir. Kumun en büyük etkisi %2 ile KETP kategorisinde, Elektriğim en büyük etkisi %3 ile AP etki kategorisinde, mazotun en büyük etkisi %3 ile TCETP etki kategorisinde, su tüketimi tüm etki kategorilerinde yüzde %1’in altında görülmektedir.

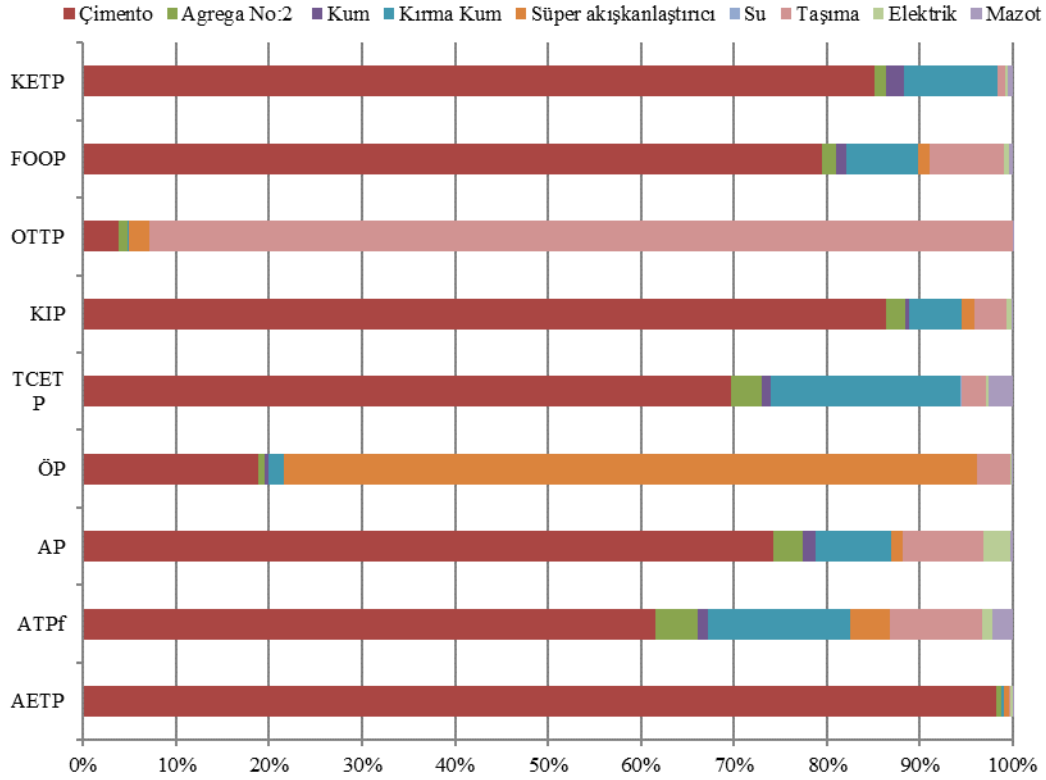
Çizelge 4.1 : 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları.

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Agrega No:2	Kum	Kırma Kum	Süper akışkanlaştırıcı	Su	Taşıma	Elektrik	Mazot	Birim
AETP	4,15E-04	4,08E-04	1,82E-06	3,19E-07	1,30E-06	2,31E-06	7,10E-09	3,99E-07	8,29E-07	1,86E-07	kg Sb eşd.
AFTPf	1,44E+03	8,85E+02	6,49E+01	1,46E+01	2,21E+02	6,11E+01	2,70E-01	1,41E+02	1,67E+01	3,15E+01	MJ
AP	5,16E-01	3,83E-01	1,66E-02	6,83E-03	4,21E-02	6,13E-03	5,10E-05	4,53E-02	1,45E-02	1,47E-03	kg SO ₂ eşd.
ÖP	2,90E-01	5,47E-02	2,19E-03	1,15E-03	4,65E-03	2,16E-01	2,30E-05	1,06E-02	4,58E-04	2,55E-04	kg PO ₄ ⁻³ eşd.
TCETP	4,72E-01	3,29E-01	1,56E-02	4,66E-03	9,68E-02	-	1,76E-04	1,24E-02	1,21E-03	1,25E-02	kg DCB eşd.
KIP	2,92E+02	2,52E+02	5,76E+00	1,18E+00	1,65E+01	3,95E+00	2,28E-02	1,01E+01	1,70E+00	3,26E-01	kg CO ₂ eşd.
OTTP	2,17E-08	8,27E-10	2,04E-10	2,00E-11	8,97E-12	4,83E-10	5,43E-14	2,02E-08	5,61E-13	7,67E-13	kg CFC ₁₁ eşd.
FOOP	5,26E-02	4,18E-02	7,85E-04	5,86E-04	4,08E-03	6,55E-04	4,33E-06	4,14E-03	3,09E-04	2,14E-04	kg C ₂ H ₄ eşd.
KETP	6,43E-01	5,47E-01	8,24E-03	1,25E-02	6,45E-02	-	8,20E-05	5,11E-03	1,37E-03	3,80E-03	kg DCB eşd.

Çizelge 4.2 : 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki dağılımı (%).

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Agrega No:2	Kum	Kırma Kum	Süper akışkanlaştırıcı	Su	Taşıma	Elektrik	Mazot
AETP	100	98	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
ATP _f	100	62	5	1	15	4	<1	10	1	2
AP	100	74	3	1	8	1	<1	9	3	<1
ÖP	100	19	<1	<1	2	75	<1	4	<1	<1
TCETP	100	70	3	<1	20	<1	<1	3	<1	3
KIP	100	86	2	<1	6	1	<1	3	<1	<1
OTTP	100	4	<1	<1	<1	2	<1	93	<1	<1
FOOP	100	80	1	1	8	1	<1	8	<1	<1
KETP	100	85	1	2	10	<1	<1	<1	<1	<1

Şekil 4.1’de 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki kategorilerine etki eden proseslerin yüzdeleri verilmiştir. Grafikte çimento, taşıma ve süper akışkanlaştırıcının diğer proseslere oranla daha büyük etkiye sahip oldukları görülmektedir.



Şekil 4.1 : 1 m³ GDAB üretimindeki proseslerin çevresel etki dağılımları(%).

1 m³ NB üretiminde çimento, agrega, kum, kırma kum, süper akışkanlaştırıcı, su taşıma, elektrik, mazot ve patlayıcı kullanımının çevresel etki sonuçları Çizelge 4.3’te verilmiştir. Çizelge 4.4’te Çizelge 4.3’te verilen etkilerin yüzde katkıları özetlenmiştir. Çizelge 4.3’te görüldüğü üzere, bu çalışmada AETP, ATPf, AP, TCETP, KIP, FOOP ve KETP etki kategorinde en büyük etkinin çimentodan kaynaklandığı saptanmıştır. Bunun nedeni çimento üretiminin büyük oranda ham madde, kimyasal madde kullanımı ve enerji tüketimi gerektiren bir üretim sistemi olması ve beton üretiminde yüksek oranda çimento kullanılmasıdır (Url-7, 2022). ÖP etki kategorinde en büyük etkinin süper akışkanlaştırıcı prosesinden kaynaklandığı, OTTP etki kategorisinde ise en büyük etkinin patlayıcı prosesinden kaynaklandığı saptanmıştır.

Çizelge 4.4’de görüldüğü gibi etki kategorisindeki pay açısından çimentonun en yüksek katkısı %96 ile AETP etki kategorisindedir. OTTP kategorisindeki çevresel etkinin %92’lik kısmı patlayıcıdan kaynaklanmaktadır. NB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcının en büyük etkisi %70 ile ÖP etki kategorilerinde gözlemlenmiştir. Kırma kumun en büyük etkisi %19 ile TCETP etki kategorisinde görülmektedir. Agreganın en büyük etkisi %9 ile TCETP ve KETP etki kategorisinde görülmektedir. Taşımanın en büyük etkisi %9 ile ATPf etki kategorisinde, Kumun en büyük etkisi %2 ile KETP kategorisinde, Elektrikim en büyük etkisi %8 ile AP etki kategorisinde, mazotun en büyük etkisi %3 ile TCETP etki kategorisinde, su tüketimi tüm etki kategorilerinde yüzde %1’in altında görülmektedir.

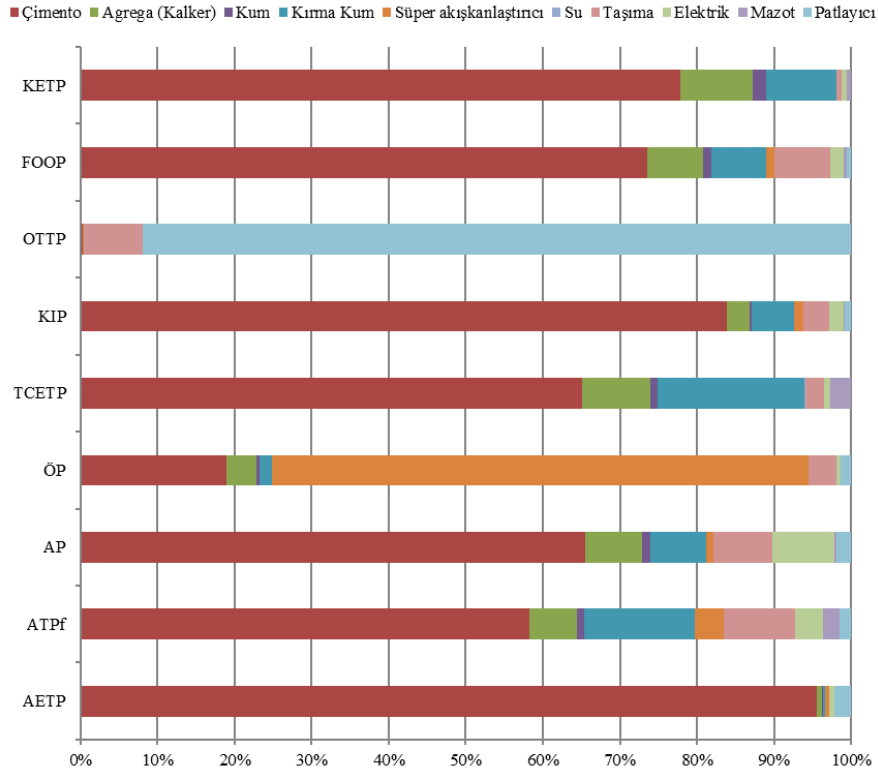
Çizelge 4.3 : 1 m³ NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları.

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Agrega	Kum	Kırma Kum	Süper akışkanlaştırıcı	Su	Taşıma	Elektrik	Mazot	Patlayıcı	Birim
AETP	4,27E-04	4,08E-04	2,66E-06	3,16E-07	1,29E-06	2,15E-06	1,29E-08	3,96E-07	2,68E-06	2,21E-07	9,16E-06	kg Sb eşd.
AFTPf	1,52E+03	8,85E+02	9,38E+01	1,44E+01	2,19E+02	5,67E+01	4,90E-01	1,40E+02	5,38E+01	3,35E+01	2,28E+01	MJ
AP	5,84E-01	3,83E-01	4,24E-02	6,76E-03	4,18E-02	5,69E-03	9,24E-05	4,50E-02	4,65E-02	1,69E-03	1,13E-02	kg SO ₂ eşd.
ÖP	2,89E-01	5,47E-02	1,12E-02	1,14E-03	4,62E-03	2,01E-01	4,17E-05	1,05E-02	1,47E-03	3,05E-04	3,82E-03	kg PO ₄ ⁻³ eşd.
TCETP	5,05E-01	3,29E-01	4,47E-02	4,61E-03	9,61E-02	-	3,19E-04	1,23E-02	3,90E-03	1,40E-02	-	kg DCB eşd.
KIP	3,00E+02	2,52E+02	8,60E+00	1,17E+00	1,64E+01	3,67E+00	4,13E-02	1,00E+01	5,49E+00	3,67E-01	2,65E+00	kg CO ₂ eşd.
OTTP	2,63E-07	8,27E-10	1,81E-11	1,98E-11	8,90E-12	4,49E-10	9,84E-14	2,00E-08	1,81E-12	1,97E-12	2,42E-07	kg CFC ₁₁ eşd.
FOOP	5,69E-02	4,18E-02	4,14E-03	5,80E-04	4,05E-03	6,08E-04	7,85E-06	4,11E-03	9,99E-04	2,17E-04	3,59E-04	kg C ₂ H ₄ eşd.
KETP	7,03E-01	5,47E-01	6,55E-02	1,23E-02	6,41E-02	-	1,48E-04	5,06E-03	4,42E-03	4,01E-03	-	kg DCB eşd.

Çizelge 4.4 : 1 m³ NB üretiminin çevresel etki dağılımı (%).

Etki Kategorisi	Toplam	Çimento	Agrega	Kum	Kırma Kum	Süper akışkanlaştırıcı	Su	Taşıma	Elektrik	Mazot	Patlayıcı
AETP	100	96	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2
ATPf	100	58	6	<1	14	4	<1	9	4	2	2
AP	100	66	7	1	7	<1	<1	8	8	<1	2
ÖP	100	19	4	<1	2	70	<1	4	<1	<1	1
TCETP	100	65	9	<1	19	<1	<1	2	<1	3	<1
KIP	100	84	3	<1	5	1	<1	3	2	<1	<1
OTTP	100	<1	<1	<1	<1	<1	<1	8	<1	<1	92
FOOP	100	74	7	1	7	1	<1	7	2	<1	<1
KETP	100	78	9	2	9	<1	<1	<1	<1	<1	<1

Şekil 4.2’de 1 m³ NB üretiminin çevresel etki kategorilerine etki eden proseslerin yüzdeleri verilmiştir. Grafikte çimento, patlayıcı ve süper akışkanlaştırıcının diğer proseslere oranla daha büyük etkiye sahip oldukları tespit edilmektedir.



Şekil 4.2 : 1 m³ NB üretimindeki proseslerin çevresel etki dağılımları(%).

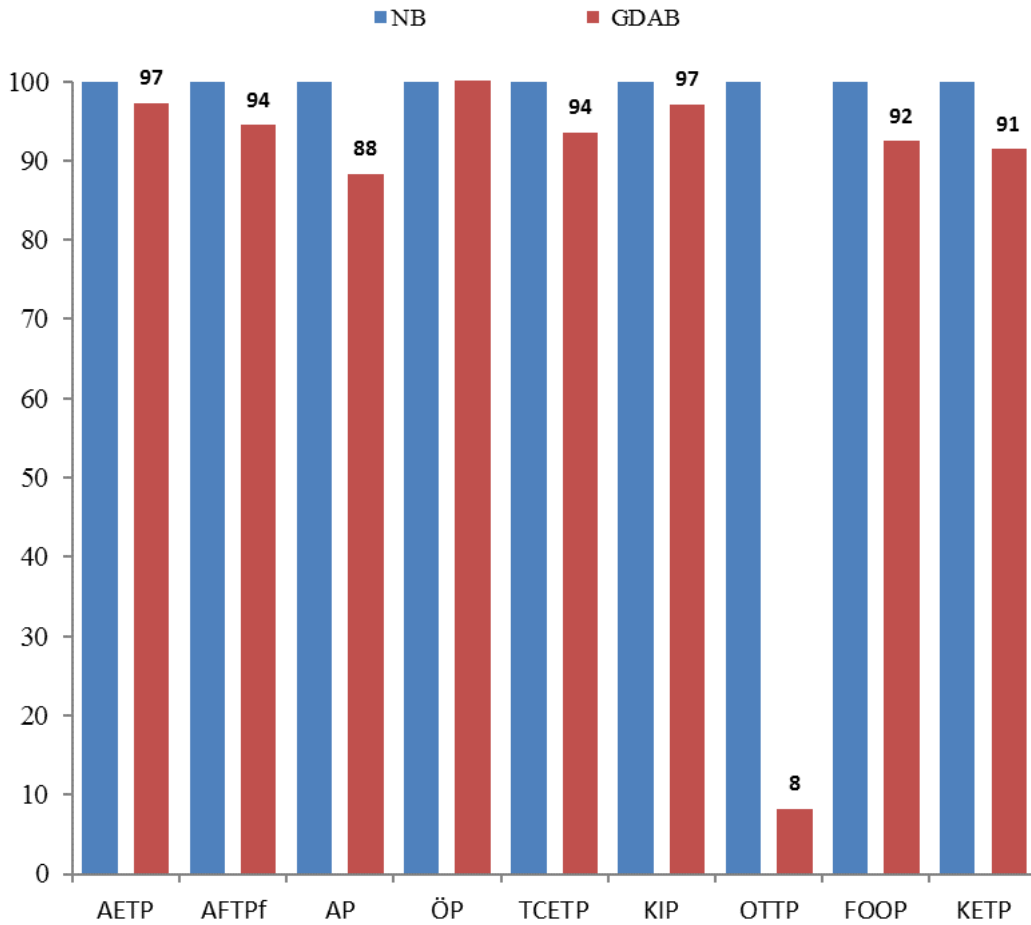
4.1 Normal Beton ve Geri Dönüştürülmüş Agregalı Beton Üretiminin Çevresel Etkileri

YDD çalışmaları sonucu, 1 m³ NB ve GDAB üretimi için hesaplanan çevresel etki değerlendirme sonuçları Çizelge 4.5’te verilmektedir. Çizelge 4.5’e bakıldığında, GDAB’nin AETP değeri 0,000415 kg Sb eşd., ATPf değeri 1440 MJ, AP değeri 0,516 kg SO₂ eşd., ÖP değeri 0,29 kg PO₄ eşd., TCETP değeri 0,472 kg DCB eşd., KIP değeri 292 kg CO₂ eşd., OTTP değeri 0,0000000217 kg CFC₁₁ eşd., FOOP değeri 0,0526 kg C₂H₄ eşd., KETP değeri ise 0,643 kg DCB eşd. olduğu görülmektedir. NB’nin AETP değeri 0,000427 kg Sb eşd., ATPf değeri 520 MJ, AP değeri 0,584 kg SO₂ eşd., ÖP değeri 0,289 kg PO₄ eşd., TCETP değeri 0,505 kg DCB eşd., KIP değeri 300 kg CO₂ eşd., OTTP değeri 0,0000000263 kg CFC₁₁ eşd., FOOP değeri 0,0569 kg C₂H₄ eşd., KETP değeri ise 0,703 kg DCB eşd. olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.5 : 1 m³ GDAB ve NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları.

Etki Kategorisi	NB	GDAB
AETP (kg Sb eşd.)	4,27E-04	4,15E-04
AFTP(MJ)	1,52E+03	1,44E+03
AP(kg SO ₂ eşd.)	5,84E-01	5,16E-01
ÖP(kg PO ₄ ⁻³ eşd.)	2,89E-01	2,90E-01
TCETP(kg DCB eşd.)	5,05E-01	4,72E-01
KIP(kg CO ₂ eşd.)	3,00E+02	2,92E+02
OTTP(kg CFC ₁₁ eşd.)	2,63E-07	2,17E-08
FOOP(kg C ₂ H ₄ eşd.)	5,69E-02	5,26E-02
KETP(kg DCB eşd.)	7,03E-01	6,43E-01

Çizelge 4.5 incelendiğinde 1 m³ GDAB üretiminin ÖP etki kategorisi dışında çevresel etkileri, 1 m³ NB üretiminin çevresel etkilerine göre daha az olduğu tespit edilmektedir. Şekil 4.3'te 1 m³ NB üretiminin sonuçları referans kabul edilmiş ve bu sonuçlara göre 1 m³ GDAB üretiminin sonuçları yüzde olarak karşılaştırılmaları verilmektedir.



Şekil 4.3 : 1 m³ GDAB ve NB çevresel etkilerinin karşılaştırılması, (%).

AETP değerleri incelendiğinde, GDAB üretiminin AETP değeri, 1 m³ NB üretiminin AETP değerine göre %3 az olduğu saptanmaktadır. NB üretiminde AETP değerinin fazla çıkmasının nedeni, NB üretiminde kullanılan patlayıcıdan kaynaklanmaktadır. Patlayıcı kullanımı, yenilenemeyen kaynak kullanımından dolayı NB üretiminde AETP değerinin fazla çıkmasına neden olmaktadır.

GDAB üretiminin ATPf değeri, NB üretiminin ATPf değerinden %6 daha az olduğu görölmektedir. Bunun nedeni, GDAB üretiminde NB üretime kıyasla, DA üretimi için kullanılan enerjinin tüketilmemesidir.

AP değerlerine bakıldığında GDAB üretiminin NB üretime göre %12 daha az etki oluşturduğu görölmektedir. NB üretiminde çimento üretiminden sonra AP'ni en çok etkileyen proses elektrik kullanımıdır. İki beton arasındaki elektrik kullanımı değerlerine bakıldığında NB üretiminde daha fazla tüketimin söz konusu olduğu görölmektedir.

İki betonun ÖP değeri karşılaştırıldığında ise GDAB'nin en yüksek ÖP değerine (%1) sahip olduğu görölmektedir. Bunun sebebi, GDAB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcı miktarının, NB üretiminde kullanılan miktardan fazla olmasıdır.

GDAB üretiminde, NB üretime göre TCETP değerinin %6 az olduğu görölmektedir. NB üretiminin daha yüksek bir TCETP değerine sahip olmasının nedeni, NB üretiminde DA miktarının daha fazla olmasıdır.

İki betonun KIP etki kategorisini en çok etkileyen prosesler sırasıyla çimento, kırma kum ve taşımadır. Bilindiği üzere iki betonda da çimento miktarları aynı ve kırma kum miktarı ise yakın tutulmuştur ama taşıma mesafesi GDAB üretiminde daha az olması, GDAB üretiminin KIP değerinde %3'lük azalma tespit edilmiştir.

OTTP etki kategorisi incelendiğinde, iki beton için hesaplanan değerler arasında %92 fark görölmektedir. NB üretiminde patlayıcı kullanımı sonucu oluşan emisyonların ozon tabakası tüketimi üzerinde bir etkisi vardır. GDAB'de OTTP yi en çok etkileyen parametre taşımadır. Fakat patlayıcının yarattığı etki taşımadan fazla olduğundan, GDAB üretiminin OTTP değeri, NB üretime göre %92 daha az olduğu görölmektedir.

NB üretiminde FOOP etki kategorisini en çok etkileyen prosesler sırasıyla çimento üretimi, DA üretimi ve taşımadır. NB'de kullanılan DA miktarı ve taşıma mesafesi fazla olduğundan GDAB üretiminin FOOP değeri NB üretime göre %8 azdır.

GDAB üretiminin KETP değeri ise NB üretimine göre %9 azdır. Bunun nedeni NB üretiminde DA miktarının fazla olmasıdır.

NB üretiminin çevresel etki sonuçları GDAB üretiminin çevresel etki sonuçlarına göre karşılaştırılması Çizelge 4.6’da gösterilmektedir.

Çizelge 4.6 : 1 m³ GDAB ve NB üretiminin çevresel etkilerinde gözlemlenen değişimler.

Etki Kategorisi	GDAB	NB	Gözlemlenen değişim
AETP	4,15E-04	4,27E-04	-% 3
AFTPf	1,44E+03	1,52E+03	-% 6
AP	5,16E-01	5,84E-01	-% 12
ÖP	2,90E-01	2,89E-01	+% 1
TCETP	4,72E-01	5,05E-01	-% 6
KIP	2,92E+02	3,00E+02	-% 3
OTTP	2,17E-08	2,63E-07	-% 92
FOOP	5,26E-02	5,69E-02	-% 8
KETP	6,43E-01	7,03E-01	-% 9

4.1.1 Abiyotik element tüketme potansiyeli (AETP)

4.1.1.1 Normal beton abiyotik element tüketim potansiyeli

Çizelge 4.1’de görüldüğü üzere, 1 m³ NB üretimi için hesaplanan toplam AETP değeri 0,000427 kg Sb eşd. olarak belirlenmiştir.

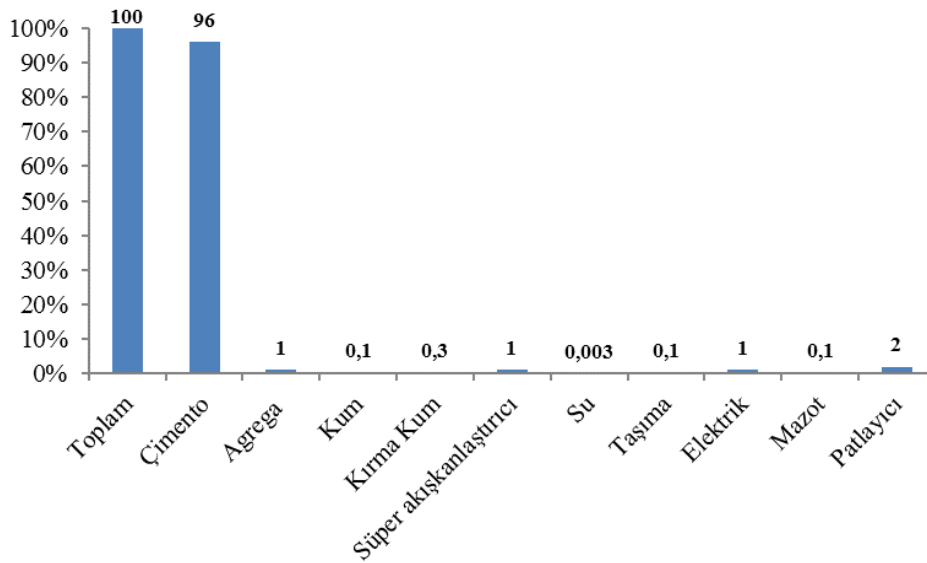
Literatür araştırmasında seçilen çalışmalarda AETP değerleri analiz edilmemiştir. Bu nedenle bu değerlerle ilgili literatür verileri ile karşılaştırma yapılamamıştır.

AETP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, patlayıcı ve elektrik kullanımıdır. Hesaplanan AETP değerleri sırasıyla çimento üretimi için 0,000408 kg Sb eşd., patlayıcı için 0,00000916 kg Sb eşd. ve elektrik tüketimi için 0,00000268 kg Sb eşd. olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.4’te NB üretiminin toplam AETP üzerinde çimento üretiminin %96, patlayıcı %2 ve elektrik tüketiminin % 1 paylarının olduğu görülmektedir. Çimento üretimi AETP değerinin tamamı yenilenemeyen kaynak kullanımı nedeniyle oluşmaktadır. Çimento üretiminden kaynaklanan değer yaklaşık %99’u alçı taşından (jips) kaynaklanmaktadır. Diğer kaynaklar ise fosfat cevheri ve kaya tuzu olarak sıralanmaktadır. Patlayıcı ile ilgili olarak literatür araştırması yapılarak EPD

değerleri kabul edildiğinden oluşan etkinin spesifik olarak hangi emisyonlardan kaynaklandığı bilgisi mevcut değildir. Elektrik kaynaklı AETP değerinin nedeni elektrik üretiminde yenilenemeyen elementlerin kullanımudur. Bu elementlerin katkı değerleri sırası ile bakır için %36, gümüş için %19 ve kurşun için %16'dır.

NB üretiminde elektrikten sonra AETP kategorisine etki eden proseslerin sırasıyla agrega üretimi (%1), süper akışkanlaştırıcı (%1), kırma kum (%0,3), taşıma (%0,1), kum üretimi (%0,1), mazot (%0,1)ve su (%0,003) olduğu görülmektedir.



Şekil 4.4 : 1 m³ NB abiyotik element tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).

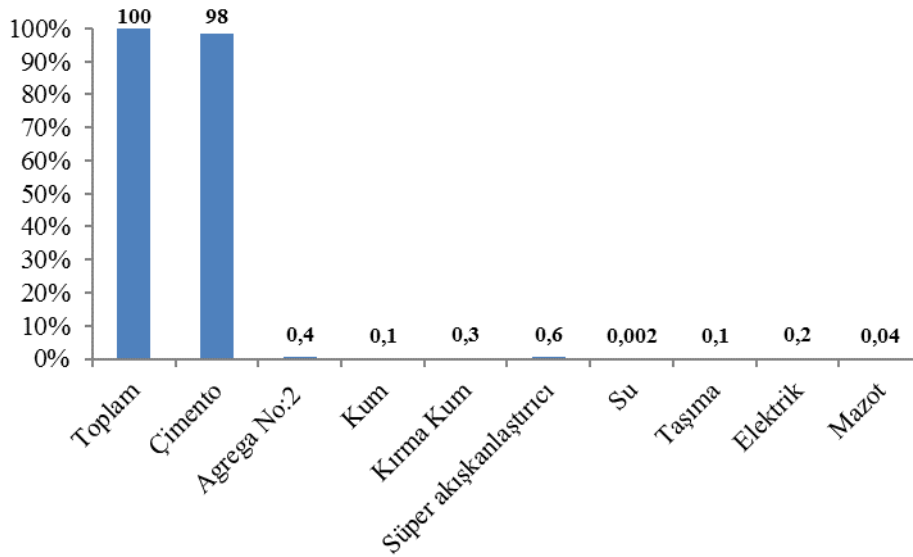
4.1.1.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun abiyotik element tüketim potansiyeli

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere, 1 m³ GDAB üretiminde AETP değeri 0,000415 kg Sb eşd. görülmektedir.

Literatür araştırmasında seçilen çalışmalarda AETP değerleri analiz edilmemiş olup, bu nedenle bir karşılaştırma yapılamamıştır.

GDAB üretimi için hesaplanan AETP değerini en çok etki eden proseslerin sırasıyla çimento üretimi ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı olduğu belirlenmiştir. Çimento üretimi için hesaplanan AETP değeri 0,000408 kg Sb eşd., süper akışkanlaştırıcı için hesaplanan AETP değeri ise 0,00000231 kg Sb eşd.'dir.

Bu değerlerin hesaplanan toplam değere olan katkıları Şekil 4.5'te verilmiştir. Görüldüğü gibi GDAB üretiminin toplam AETP üzerinde çimento üretiminin %98, süper akışkanlaştırıcının %0,6'lık payı mevcuttur.



Şekil 4.5 : 1 m³ GDAB abiyotik element tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).

Çimento üretimi, daha ayrıntılı olarak incelendiğinde, çimento kaynaklı AETP değerinin % 98'inin yenilenemeyen kaynak kullanımından (yüksek oranda alçıtaşı (jips), fosfat cevheri ve kaya tuzu) oluşmaktadır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcıdan kaynaklanan çevresel etkiler bir EPD belgesinden alındığından, daha ayrıntılı bilgi mevcut değildir.

GDAB üretimi için süper akışkanlaştırıcıdan sonra AETP kategorisine etki eden prosesler sırasıyla agregat no:2 üretimi (%0,4), kırma kum (%0,3), elektrik (%0,2), taşıma (%0,1), kum üretimi (%0,1), mazot (%0,04) ve su (%0,02)'dur.

4.1.2 Abiyotik fosil tükenme potansiyeli (ATPf)

4.1.2.1 Normal betonun abiyotik fosil tüketim potansiyeli

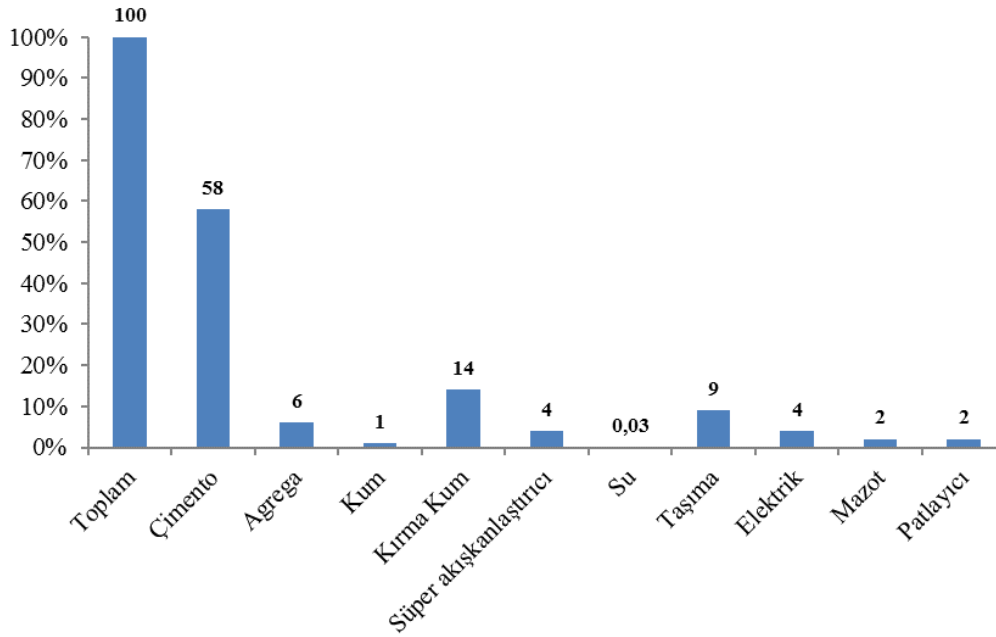
Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, 1 m³ NB üretiminde hesaplanan ATPf değeri 1520 MJ'dür.

Literatürde NB üretim için hesaplanan ATPf değerleri, Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ NB için 1950 MJ ve Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ NB için 1570,42 MJ'dür. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen ATPf değeri görüldüğü üzere literatür ile uyumlu ve literatür değerlerinden Marinković ve diğ. (2010) çalışmasına en yakındır.

Hesaplanan ATPf değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, kırma kum, taşıma ve agregat üretimidir. Çimento üretimi 885 MJ, kırma kum 219

MJ, taşıma 140 MJ ve agrega üretimi 93,8 MJ ile ATPf değerine etkisi görülmektedir.

Bu değerler, Şekil 4.6'da ayrıca, NB üretimi için hesaplanan toplam ATPf değerine katkıları oransal olarak verilmiş olup, çimento üretiminin %58, kırma kumun %14, taşımanın %9 ve agrega üretiminin % 6 payları vardır.



Şekil 4.6 : 1 m³ NB abiyotik fosil tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).

Çimento üretiminden kaynaklanan ATPf değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Çimento üretiminde kullanılan enerjinin %52'si petrol yakımı, %25'i kömür, %14'ü doğal gaz ve %10'u linyit ile elde edilmektedir. Kırma kum kaynaklı ATPf değerinin tamamı da enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Kırma kum üretiminde tüketilen enerjinin %61'i doğalgaz, %32'si kömür ve %7'si petrol ile oluşmaktadır. Taşımanın ATPf değerinin tamamı da enerji girdisinden kaynaklanmakta olup, taşımada kullanılan enerjinin %93'ü petrol, %7'si ise doğal gaz tüketiminden kaynaklanmaktadır. Agrega kaynaklı ATPf değerinin tamamı da agrega üretimi sırasındaki enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Agrega üretiminde ise tüketilen enerjinin %54'ü petrol, %17'si doğal gaz, %16'sı linyit ve %13'ü kömürden karşılanmaktadır. Burada üretimde kullanılan enerji karışımlarının farklı olmasının nedeni arka plan verisi olarak seçilen GaBi Profesyonel veri tabanındaki proseslerde kullanılan elektrik karışımlarının farklı olmasıdır. Ayrıca, üretim prosesleri de farklı enerji kaynaklarının kullanımını gerekli kılabilir.

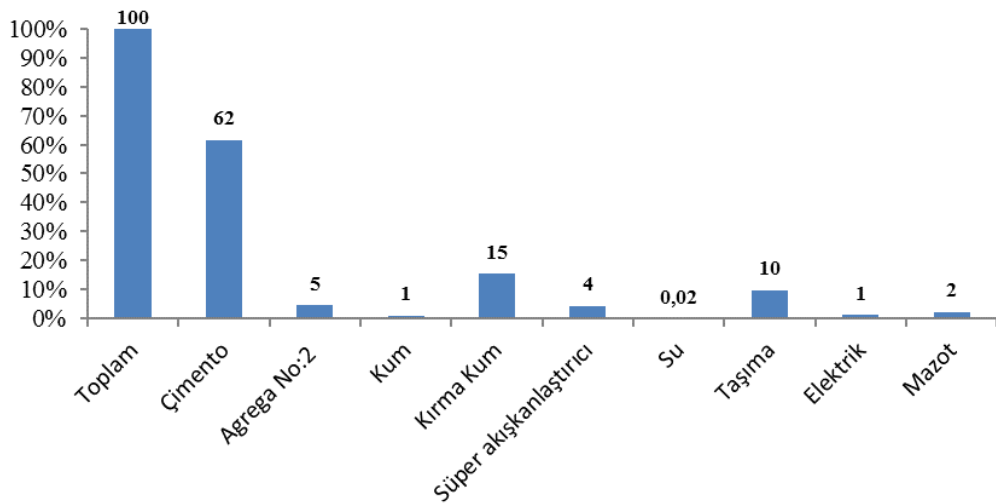
NB üretiminde süper akışkanlaştırıcı ve elektriğin ATPf etki kategorisine katkısı %4 tespit edilmektedir. Diğer proseslerin etki yüzdeleri sırasıyla mazot ve patlayıcı için %2, kum üretimi için %1 ve su için %0,03'tür.

4.1.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun abiyotik fosil tüketim potansiyeli

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere, 1 m³ GDAB üretimi için hesaplanan ATPf değeri 1440 MJ'dür. Marinković ve diğ. (2014)'nin çalışmasında 1 m³ GDAB için 1700 MJ ve Marinković ve diğ. (2010)'un çalışmasında 1 m³ GDAB için 1613,02 MJ ATPf hesaplanmıştır. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen ATPf değeri Marinković ve diğ. (2010) çalışmasındaki ATPf değerine yakındır.

Hesaplanan ATPf değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, kırma kum, taşıma ve agrega no:2 üretimidir. Çimento üretimi 885 MJ, kırma kum 221 MJ, taşıma 135 MJ ve agrega No:2 üretimi 64,9 MJ ile ATPf değerine etki göstermektedir.

Şekil 4.7'de görüldüğü üzere, GDAB üretimi için hesaplanan toplam ATPf değeri üzerinde çimento üretiminin %62, kırma kumun %15, taşımanın %10 ve agrega no:2 üretiminin % 5 payları vardır.



Şekil 4.7 : 1 m³ GDAB abiyotik fosil tüketim potansiyeli yüzdeleri (%).

Çimento üretimi ATPf değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Çimento üretiminde kullanılan enerjinin %52'si petrol, %25'i kömür, %14'ü doğal gaz ve %10'u linyitten elde edilmektedir. Kırma kum kaynaklı ATPf değerinin tamamı da enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Kırma kum imalatında tüketilen enerjinin %61'i doğalgaz, %32'si kömür ve %7'si petrolden karşılanmaktadır.

Taşıma ATPf değerinin tamamı enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Taşımada kullanılan enerjinin %93'ü petrol, %7'si ise doğal gazdan karşılanmaktadır. Agregada no:2 üretiminde kaynaklı ATPf değerinin tamamı da benzer şekilde agregada üretimi sırasındaki enerji girdisinden kaynaklanmaktadır. Agregada no:2 üretiminde ise tüketilen enerjinin %29'u petrol, %27'si kömür, %25'i doğal gaz ve %19'u linyitten karşılanmaktadır.

Diğer proseslerin katkıları sırasıyla, süper akışkanlaştırıcı için %4, mazot için %2, elektrik ve kum üretimi için %1, su için %0,02'dir.

4.1.3 Asidifikasyon potansiyeli (AP)

4.1.3.1 Normal betonun asidifikasyon potansiyeli

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, 1 m³ NB üretiminde oluşan AP 0,584 kg SO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır.

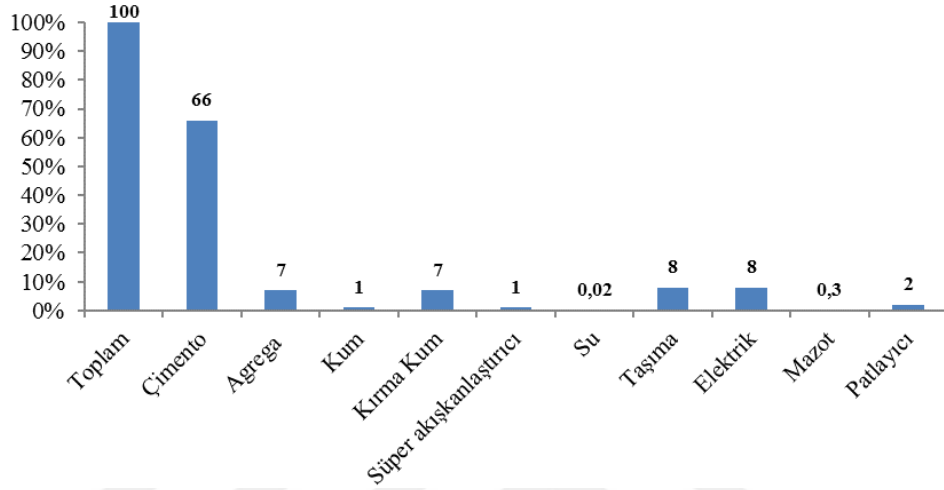
Literatürde yer alan YDD çalışmalarında, NB üretimi için AP değerleri Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ NB için 2,45 kg SO₂ eşd., Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ NB için 2,009 kg SO₂ eşd. ve İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ beton için 1,02 kg SO₂ eşd. olarak belirlenmiştir. Bu çalışmadaki NB üretiminde AP değerinin düşük olmasının nedeni, çimentonun diğer çalışmalara oranla daha az miktarda kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

AP değerine etki eden girdilere bakıldığında, sırasıyla çimento üretimi 0,383 kg SO₂ eşd., taşıma 0,0450 kg SO₂ eşd., agregada üretimi 0,0424 kg SO₂ eşd. ve kırma kum 0,0418 kg SO₂ eşd. ile AP sonuçlarına en büyük katkıyı yaptıkları görülmektedir.

Şekil 4.8'de söz konusu değerlerin toplam hesaplanan AP değerine katkısı yüzde olarak verilmiş olup, çimento üretimi %64, taşıma %8, agregada üretimi ve kırma kum %7 ile AP değerini etki etmektedir. AP üzerinde en çok pay sahibi olan bu proseslerin etkileri, atmosfere verilen inorganik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Azot monoksit, sülfür dioksit ve azot oksit bu etki kategorisinde en çok etkiye neden olan bileşiklerdir.

Çimento üretiminde gerçekleşen inorganik emisyonların ise %50'si azot oksit, %46'sı kükürt dioksit, %2'si ise azot monoksittir. Taşıma esnasında gerçekleşen inorganik emisyonların %88'ini ise azot oksit, %12'ini kükürt dioksit ve %4'ü azot monoksit oluşturmaktadır. Agregada üretiminden kaynaklanan inorganik emisyonların

%84'ü azot oksit, %11'i ise kükürt dioksittir. Kırma kum prosesinde %61 kükürt dioksit, %36 azot oksit ve % 1'de azot monoksit etkisi mevcuttur. Elektrik kullanımında %62 hidrojen sülfür, %28 kükürt dioksit ve %10 azot oksit emisyonları hesaplanan etkiye neden olmaktadır. AP değerine etki eden diğer girdiler ise patlayıcı (%2), kum üretimi (%1), süper akışkanlaştırıcı (%1), mazot (%0,3) ve su (%0,02)'dur.



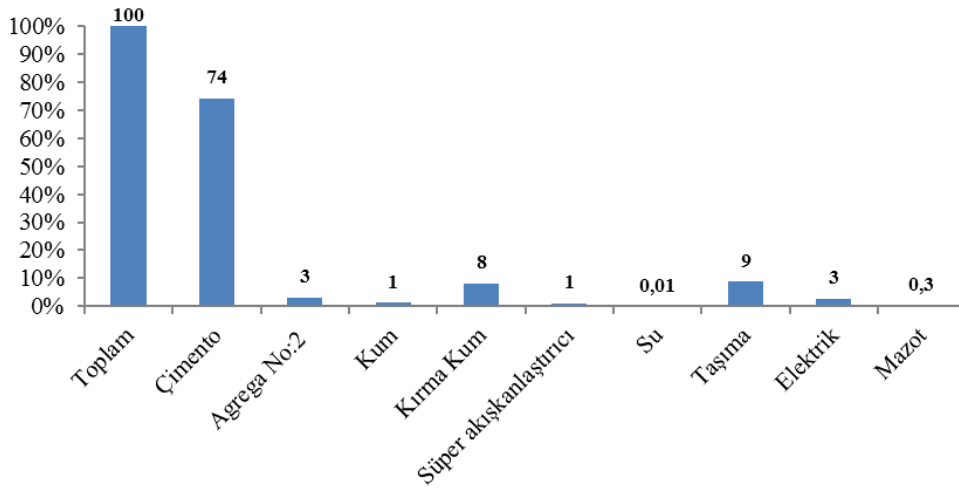
Şekil 4.8 : 1 m³ NB asidifikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).

4.1.3.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun asidifikasyon potansiyeli

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere, 1 m³ GDAB üretiminden kaynaklanan AP değeri 0,516 kg SO₂ eşd. olarak hesaplanmıştır.

Literatürde GDAB için hesaplanan AP değerleri, Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ GDAB için 2,24 kg SO₂ eşd., Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ GDAB için 2,071 kg SO₂ eşd., Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ GDAB için 1,01 kg SO₂ eşd.'dir. Görüldüğü üzere, bu çalışmada elde edilen AP değeri literatür değerine göre düşüktür.

Model girdileri bazında incelendiğinde, AP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, taşıma, kırma kum ve agrega no:2 üretimidir. Çimento üretimi 0,383 kg SO₂ eşd., taşıma 0,0453 kg SO₂ eşd., kırma kum 0,0421 kg SO₂ eşd. ve agrega no:2 0,0166 kg SO₂ eşd. ile AP değerine etki etmektedir.



Şekil 4.9 : 1 m³ GDAB asidifikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).

Verilen değerler katkı yüzdesi olarak incelendiğinde (Şekil 4.9), çimento üretiminin %74, taşımanın %9, kırma kumun %8 ve agregat no:2 üretiminin %3 ile AP değerine etki ettiği görülmektedir. AP üzerinde en çok pay sahibi olan bu proseslerin etkileri, atmosfere verilen inorganik emisyonlardan kaynaklanmaktadır.

Çimento üretiminde gerçekleşen inorganik emisyonların %50'sini azot oksit, %46'sını kükürt dioksit, %2'sini ise azot monoksit oluşturmaktadır. Taşıma esnasında gerçekleşen inorganik emisyonlar ise azot oksit (88%) ve kükürt dioksittir (%12). Kırma kum prosesinde çıkan inorganik emisyonların %61'inin kükürt dioksit, %36'nın ise azot oksit olduğu belirlenmiştir. Agregat no:2 üretiminden kaynaklanan inorganik emisyonlar ise kükürt dioksit (%55) ve azot oksittir (%31). Bu modelde AP etki kategorisine en çok etki eden beşinci proses ise elektriktir. Elektrik tüketiminde oluşan emisyonların %62'sini hidrojen sülfür, % 28'ini kükürt dioksit ve %10'unu azot oksit oluşturmaktadır. Diğer proseslerin katkı sıralaması ise kum üretimi (%1), süper akışkanlaştırıcı (%1), mazot (%0,3) ve su tüketimi (% 0,01) şeklindedir.

4.1.4 Ötrofikasyon potansiyeli (ÖP)

4.1.4.1 Normal betonun ötrofikasyon potansiyeli

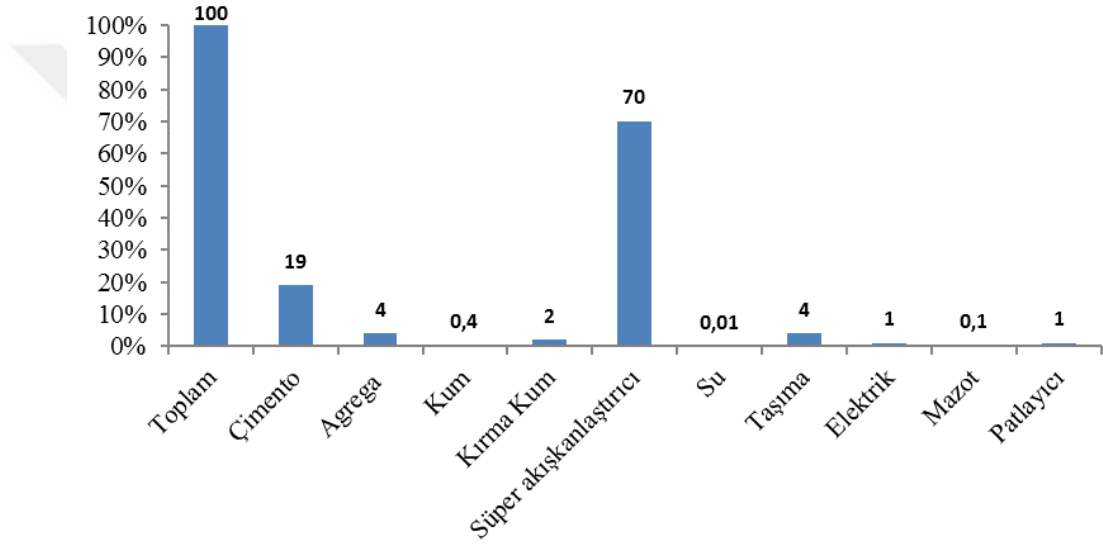
Çizelge 4.1'de, 1 m³ NB üretiminde oluşan toplam ÖP değerinin 0,289 kg PO₄⁻³ eşd. olduğu görülmektedir.

Literatürde Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ NB için 0,15 kg PO₄⁻³ eşd., Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ NB için 0,121 kg PO₄⁻³ eşd. ve İmtiaz

ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m^3 NB için $0,0792 \text{ kg PO}_4^{-3}$ eşd. ÖP değerlerine sahiptir. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen ÖP değeri literatür çalışmalarına göre daha yüksek çıkmaktadır.

Modelin bu aşamasında oluşan ÖP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla süper akışkanlaştırıcı, çimento üretimi ve agrega üretimidir. Süper akışkanlaştırıcı $0,201 \text{ kg PO}_4^{-3}$ eşd., çimento üretimi $0,0547 \text{ kg PO}_4^{-3}$ eşd. ve agrega üretimi $0,0112 \text{ kg PO}_4^{-3}$ eşd. ile ÖP değerine etki etmektedir.

Şekil 4.10'da grafiğe göre, NB üretiminde toplam ÖP üzerinde süper akışkanlaştırıcı %70, çimento üretiminin %19 ve agrega üretimi %4'lük etkileri görülmektedir.



Şekil 4.10 : 1 m^3 NB ötrofikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).

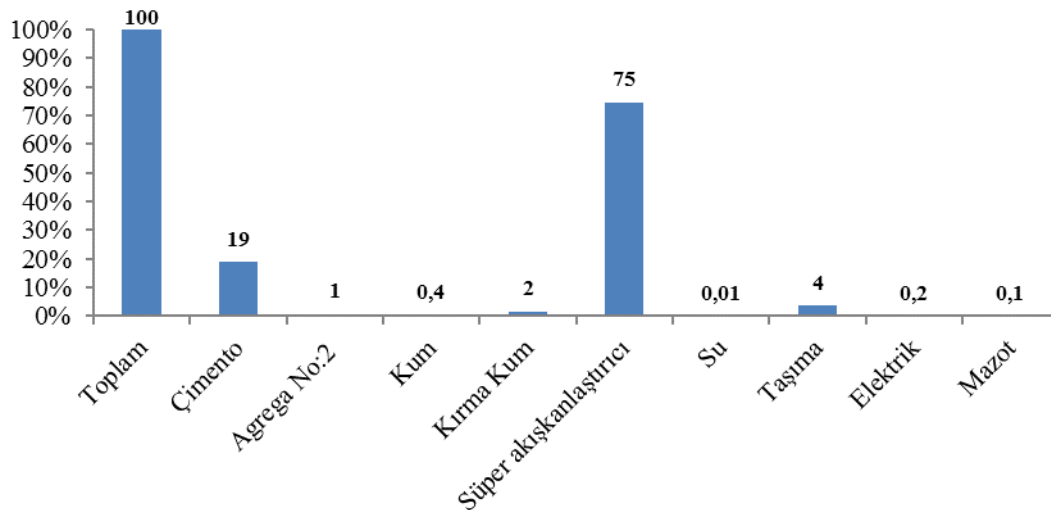
ÖP kategorisinin proseslerdeki etkisi, esas olarak havaya verilen inorganik emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada görülen inorganik emisyonlar azot oksit, azot monoksit, amonyak, amonyum nitrat, nitrat gibi inorganik maddelerdir. Süper akışkanlaştırıcı prosesi, literatür araştırması sonucu bulunan bir EPD belgesinden alındığından inorganik emisyon içerikleri analiz edilememektedir. Çimento üretiminde havaya verilen inorganik emisyonların %95'ini azot oksit, %3'ünü ise azot monoksit oluşturmaktadır. Agrega üretiminin %91'ini azot oksit ve %4'ünü ise amonyak oluşturmaktadır. ÖP kategorisini etkileyen dördüncü proses ise taşımadır. Taşıma prosesinin ÖP'sinin yaklaşık olarak %99'unu azot oksit oluşturmaktadır. Diğer prosesler sırasıyla kırma kum (%2), patlayıcı (%1), elektrik (%1), kum (%0,4), mazot (%0,1) ve su (%0,01)'dur.

4.1.4.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun ötrofikasyon potansiyeli

Çizelge 4.3'te, 1 m³ GDAB üretiminde hesaplanan toplam ÖP değerinin 0,29 kg PO₄⁻³ eşd. olduğu görülmektedir.

Literatürde Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,137 kg PO₄⁻³ eşd., Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,123 kg PO₄⁻³ eşd. ve Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,0788 kg PO₄⁻³ eşd. ÖP değerlerine sahiptir. Bu çalışmada hesaplanan ÖP değeri literatür çalışmalarına göre yüksek çıkmaktadır.

Hesaplanan ÖP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla süper akışkanlaştırıcı, çimento üretimi ve taşımadır. Süper akışkanlaştırıcı 0,2163 kg PO₄⁻³ eşd, çimento üretimi 0,0547 kg PO₄⁻³ eşd. ve taşıma 0,0106 kg PO₄⁻³ eşd. ile ÖP değerine etki etmektedir.



Şekil 4.11 : 1 m³ GDAB ötrofikasyon potansiyeli yüzdeleri (%).

Şekil 4.11'de verilen grafiğe göre, GDAB üretiminde toplam ÖP üzerinde süper akışkanlaştırıcının %75, çimento üretiminin %19, taşımanın %4 ve kırma kum üretiminin %2 payları vardır. ÖP kategorisinin proseslerdeki etkisi, esas olarak havaya verilen inorganik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada ÖP kategorisini etkileyen inorganik emisyonlar azot oksit, azot monoksit, amonyak ve nitrojen dioksit bileşiklerdir. Süper akışkanlaştırıcı üretiminin çevrese etkileri model kullanılarak hesaplama yerine, literatür araştırılması sonucu elde edilerek sonuçlara eklendiğinden inorganik emisyon yüzdeleri analiz edilememektedir. Çimento üretiminde havaya verilen inorganik emisyonların %95'ini azot oksit, %3'ünü azot

monoksit ve %1'ini, nitrojen dioksit oluşturmaktadır. Taşıma prosesinin ÖP değerinin %99'u azot oksitten kaynaklanmaktadır. Kırma üretiminden kaynaklanan inorganik emisyon değerleri sırasıyla %91'i azot oksit, %4'i azot monoksit, %2'si amonyak ve %1'i nitrojen dioksitten oluşmaktadır. Diğer proseslerin katkıları sırasıyla agrega no:2 üretimi için %1, kum üretimi için %0,4, elektrik tüketimi için %0,2, mazot kullanımı için %0,1 ve su tüketimi için %0,01'dir.

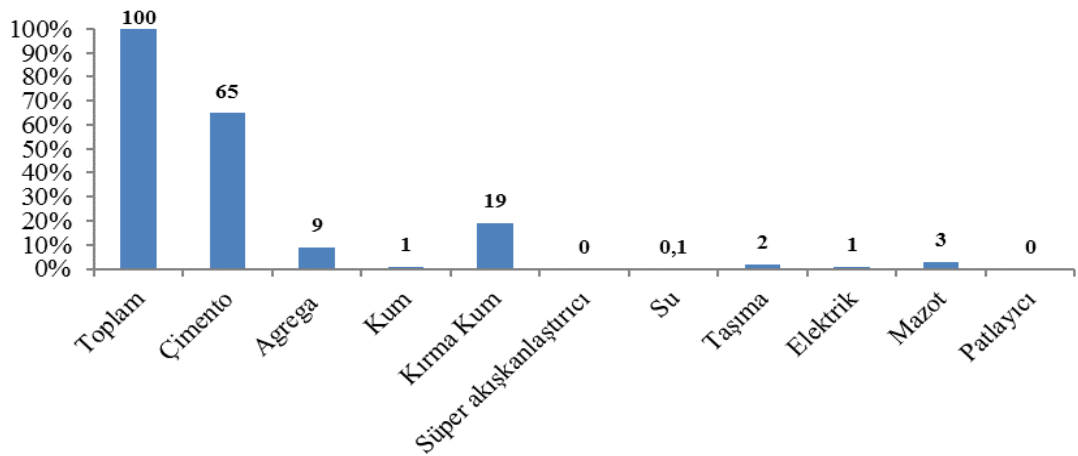
4.1.5 Tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli (TCETP)

4.1.5.1 Normal betonun tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli

Çizelge 4.1'de görülen, 1 m³ NB üretiminde oluşan TCETP 0,66 kg DCB eşd.'dir. Literatürde yer alan NB verilerine bakıldığında, İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ NB için 0,000000178 kg DCB eşd. TCETP değerine sahip olduğu görülmektedir. İki veri kıyaslandığında bu çalışmada TCETP değerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun nedeni çalışmalarda kullanılan çimento, agrega, kum gibi ham maddelerinin türü ve miktarları önemli rol oynamaktadır.

Bu çalışmada NB üretiminde TCETP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, kırma kum ve agrega üretimidir. Çimento üretimi 0,329 kg DCB eşd., kırma kum üretimi 0,096 kg DCB eşd. ve agrega üretimi 0,0447 kg DCB eşd. ile toplam TCETP değerine etki etmektedir.

Şekil 4.12'de görüldüğü gibi, NB betonun TCETP üzerinde çimento üretiminin %65, kırma kumun %19 ve agreganın ise % 9 katkısı bulunmaktadır.



Şekil 4.12 : 1 m³ NB tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).

Bu çalışmada TCETP üzerinde en çok payı olan, tatlı suya ve havaya verilen ağır metal emisyonlarıdır. Oluşması en çok öngörülen ağır metaller kobalt, nikel, bakır, vanadyum ve kadmiyum maddeleridir. Çimento üretimini nedeniyle tatlı suya verilen ağır metallerin yüzdelik sıralaması ise %51 nikel, %15 kadmiyum, %12 vanadyum ve %11 bakır şeklindedir. Kırma kum üretiminde de en çok havaya verilen ağır metallerin etkisi görülmektedir. Bu ağır metallerin yüzdelik sıralaması ise %65 vanadyum, %23 nikel ve %5 kobalt şeklindedir. Agregada üretiminde tatlı suya verilen ağır metallerin yüzdelik değerleri ise %68 nikel, %10 kadmiyum % 9 bakır ve %5 vanadyum şeklinde sıralanmaktadır. Diğer proseslerin katkısı ise, mazot için %3, taşıma için %2, kum üretimi için %1, elektrik tüketimi için %1, su tüketimi için ise % 0,1'dir. Kabul edilen süper akışkanlaştırıcı ve patlayıcı proseslerinin TCETP etkisi, ilgili EPD belgeleri kullanılarak direkt olarak sonuçları bu çalışmaya dahil edildiğinden analiz edilememektedir.

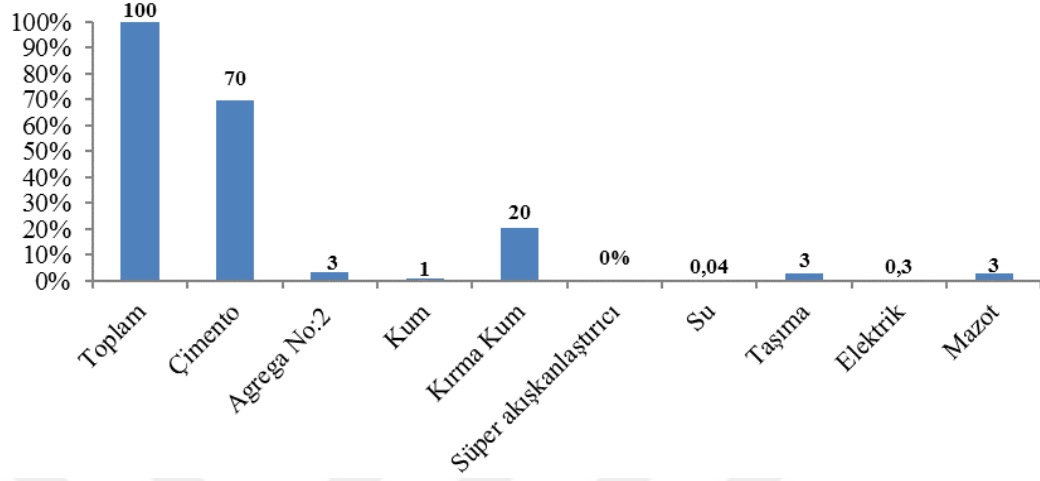
4.1.5.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli

Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi, 1 m³ GDAB üretimi için hesaplanan TCETP 0,472 kg DCB eşd.'dir. Literatürde GDAB verilerine bakıldığında, Imtiaz ve diğ., (2021)'nin çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,000000167 kg DCB eşd. TCETP değeri hesaplanmıştır. İki veri kıyaslandığında bu çalışmada TCETP değeri daha yüksektir. Bunun nedeni bu çalışmada TCETP nin değerini artıracak çimento prosesin dışında kırma kum prosesine sahip olmasıdır. Bu çalışmadaki GDAB içeriğindeki kum miktarının Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında incelenen GDAB üretiminde kullanılan kum miktarından fazla olması TCETP değerlerindeki farklılığın nedeni olarak açıklanabilir.

Ayrıca bu çalışmada agregada no:2 prosesinin de TCETP değerini etkilediği ve Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında incelenen %100 GDA kullanılarak üretilen GDAB'de doğal agreganın bulunmaması nedeniyle değerlerde farklılık görülmektedir.

Bu çalışmada GDAB üretimi için hesaplanan TCETP değerini en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, kırma kum ve agregada no:2 üretimidir. Çimento üretimi 0,329 kg DCB eşd., kırma kum 0,0968 kg DCB eşd ve agregada no:2 0,0156 kg DCB eşd. TCETP değerine sahiptir.

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi, GDAB üretimi için hesaplanan TCETP değerinde çimento üretiminin katkısı %70, kırma kumun katkısı %20 ve agrega no:2'nin ve taşımanın katkıları ise %3'tür.



Şekil 4.13 : 1 m³ GDAB tatlı su canlılarına ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).

Bu çalışmada TCETP üzerinde en çok payı olan bileşikler, tatlı suya ve havaya verilen ağır metal emisyonlarından kaynaklanmaktadır. Ağır metaller arasından en çok görülen maddeler kobalt, nikel, bakır, vanadyum ve kadmiyumdur. Çimento üretimi nedeniyle tatlı suya verilen ağır metallerin yüzdeler sıralaması %51 nikel, %15 kadmiyum, %12 vanadyum ve %11 bakırdır. Kırma kum üretiminde de en çok havaya verilen ağır metallerin etkisi vardır. Bu ağır metallerin yüzdeler sıralaması %65 vanadyum, %23 nikel ve %5 kobalt şeklindedir. Agrega no:2 üretiminde tatlı suya verilen ağır metallerin yüzdeler değerleri ise %41, nikel %7 kadmiyum ve %7 bakır şeklindedir. Taşımadan gelen TCETP etkisini oluşturan havaya verilen ağır metallerin yüzdeler sıralaması, %94 vanadyum ve %5 nikel şeklindedir. Diğer proseslerin TCETP değerine katkıları sırasıyla, kum üretimi (%1), elektrik tüketimi (%0,3), su tüketimi (%0,04) şeklindedir. Kabul edilen süper akışkanlaştırıcı prosesinin TCETP etkisi, ilgili EPD belgesi kullanılarak direkt olarak sonuçları bu çalışmaya dahil edildiğinden analiz edilememektedir.

4.1.6 Küresel ısınma potansiyeli (KIP)

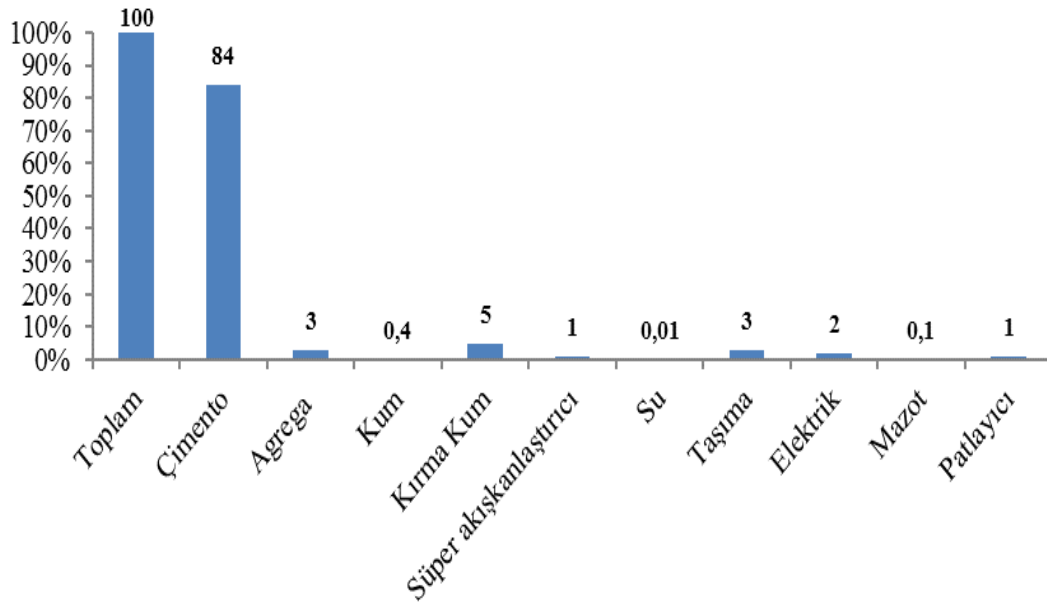
4.1.6.1 Normal betonun küresel ısınma potansiyeli

Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, 1 m³ NB üretiminde KIP değeri 300 kg CO₂ eşd. göstermektedir.

Literatür verilerine bakıldığında, Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ NB için 378 kg CO₂ eşd. Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ NB için 307,6 CO₂ eşd. ve İmtiaz ve diğ. (2021) 1 m³ NB için 264,1 kg CO₂ eşd. KIP değerlerine sahiptir. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen KIP değeri literatür Marinković ve diğ. (2010) değerine en yakındır.

NB üretiminde KIP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, kırma kum ve agrega üretimidir. Çimento üretimi 252 kg CO₂ eşd., kırma kum 16,4 kg CO₂ eşd. ve agrega üretimi 8,6 kg CO₂ eşd. ile etki etmektedir.

Şekil 4.14'te NB üretiminde KIP üzerinde çimento üretiminin %84, kırma kum %5, ve agrega üretiminin %3 payları vardır. KIP üzerinde en çok pay sahibi olan bu proseslerin etkileri, havaya verilen inorganik ve organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Çimento üretimi esnasında gerçekleşen inorganik emisyonların %99'unu karbondioksit, organik emisyonların %99'unu metan oluşturmaktadır. Kırma kum ve agrega üretiminde de benzer değerler görülmektedir.



Şekil 4.14 : 1 m³ NB küresel ısınma potansiyeli yüzdeleri (%).

NB üretiminde taşımanın KIP değeri 10 kg CO₂ eşd. ile KIP değerinin %3'ünü oluşturmaktadır. Taşımanın organik emisyonlarının %99'u karbondioksit, inorganik emisyonlarının %99'u metan olduğu tespit edilmektedir. Diğer proseslerin etki sırası elektrik tüketimi (%2), patlayıcı (%1), süper akışkanlaştırıcı (%1), mazot (%0,1) ve su tüketimi (%0,01) yer almaktadır.

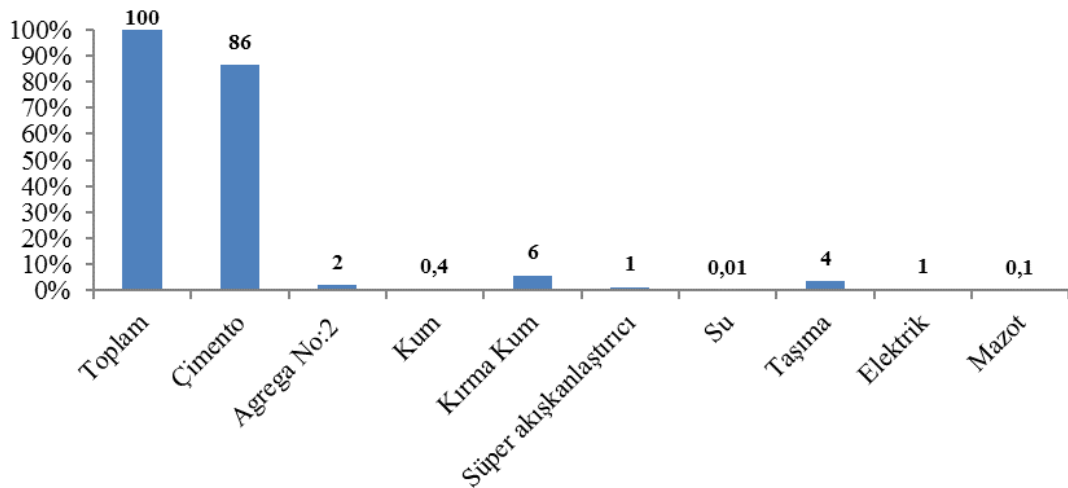
4.1.6.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun küresel ısınma potansiyeli

Çizelge 4.3'te görüldüğü üzere, 1 m³ GDAB üretiminde KIP değeri 292 kg CO₂ eşd. göstermektedir.

Literatür verilerine bakıldığında, Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ GDAB için 340 kg CO₂ eşd. Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ GDAB için 320 CO₂ eşd. ve Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ GDAB için 261 kg CO₂ eşd. KIP değerlerine sahiptir. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen KIP değeri literatür Marinković ve diğ. (2010) değerine en yakındır.

Çalışmada KIP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, kırma kum, taşıma ve agrega no:2 üretimidir. Çimento üretimi 252 kg CO₂ eşd., kırma kum 16,5 kg CO₂ eşd. ve taşıma 10,1 kg CO₂ eşd., ile etki etmektedir.

Şekil 4.15'te GDAB üretiminde KIP üzerinde çimento üretiminin %86, kırma kum üretimi %6, taşımanın %4 ve agrega no:2 üretiminin %2 payı vardır.



Şekil 4.15 : 1 m³ GDAB küresel ısınma potansiyeli yüzdeleri (%).

KIP üzerinde en çok pay sahibi olan bu proseslerin etkileri, havaya verilen inorganik ve organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Çimento üretimi esnasında gerçekleşen inorganik emisyonların %99'u karbondioksit, KIP etkisini etkileyen organik emisyonu %99'u metan bileşiğini karşılamaktadır. Kırma kum taşıma ve agrega no:2 üretiminde de inorganik emisyonlarının %99 payı karbon dioksit emisyonu ile oluşmaktadır. Diğer proseslerin yüzdelik sıralaması %1'e sahip süper akışkanlaştırıcı ve elektrik tüketimi, %0,4 Kum üretimi, %0,1 mazot kullanımı ve %0,01 ile su tüketimi göstermektedir.

4.1.7 Ozon tabakası incilme potansiyeli (OTTP)

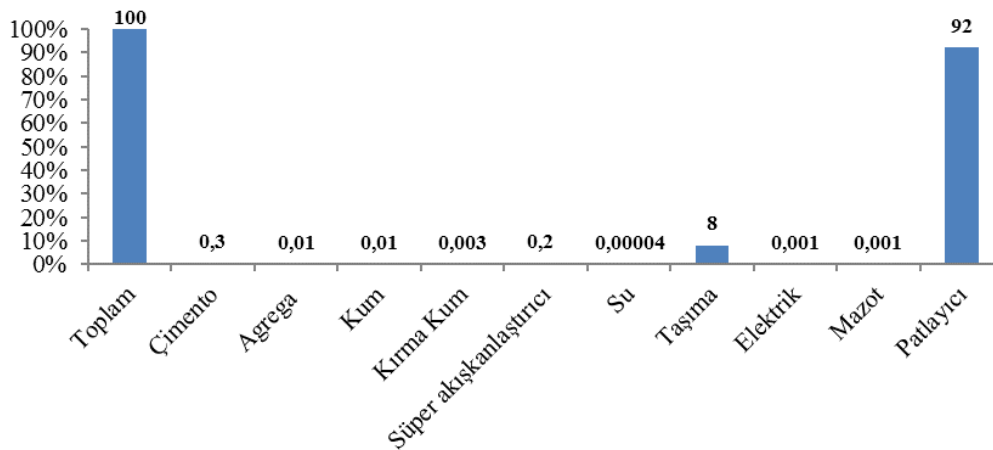
4.1.7.1 Normal betonun ozon tabakası incelme potansiyeli

Çizelge 4.1’de, 1 m³ NB üretiminde OTTP değeri 0,000000263 kg CFC₁₁ eşd.’dir. Literatür araştırmasında seçilen çalışmalarda OTTP değerleri analiz edilmemiştir. Bu nedenle bu değerlerle ilgili literatür verileri ile karşılaştırma yapılamamıştır.

NB üretiminde OTTP değerini en çok etki eden proses taş ocağında kullanılan patlayıcı prosesidir.

Şekil 4.16’da görüldüğü gibi, NB üretiminde oluşan toplam OTTP üzerinde patlayıcı %92, taşımanın %8’lik payı vardır. OTTP değeri organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada gözlenen organik emisyonlar halojenli organik bileşiklerdir. Patlayıcıdan kaynaklanan OTTP değeri 0,000000242 kg CFC₁₁ eşd’dir. Taşımanın değeri 0,00000002 kg CFC₁₁ eşd’dir. Patlayıcı, literatür araştırması yapılarak kabul edildiği için OTTP değerini etkileyen organik bileşiklerin değerleri analiz edilememektedir. Taşımada OTTP değeri etkileyen organik emisyonların yüzdeleri sırasıyla %46 ile R 11, %44 R 114 ve %10 ile R 12’dir.

Diğer proseslerin etki sıralaması, çimento üretimi (%0,3), süper akışkanlaştırıcı (%0,2), agrega (%0,01), kum (%0,01), kırma kum (%0,003), elektrik (0,001), mazot (0,001) ve su (%0,00004) yer almaktadır.



Şekil 4.16 : 1 m³ NB ozon tabakası incelme potansiyeli yüzdeleri (%).

4.1.7.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun ozon tabakası incelme potansiyeli

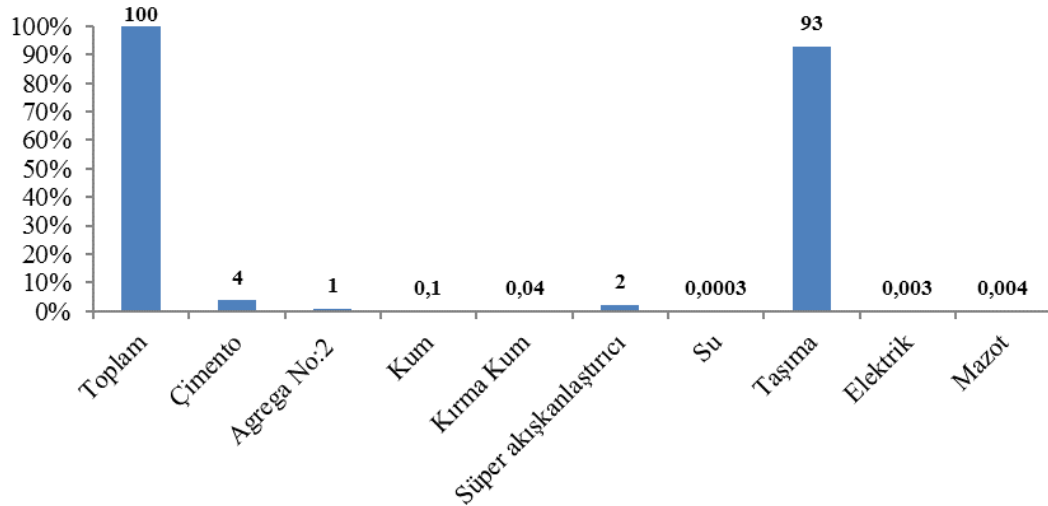
Çizelge 4.3’te, 1 m³ GDAB üretiminin OTTP değeri 0,0000000217 kg CFC₁₁ eşd.’dir. Literatür araştırmasında seçilen çalışmalarda OTTP değerleri analiz

edilmemiştir. Bu nedenle bu değerlerle ilgili literatür verileri ile karşılaştırma yapılamamıştır.

GDAB üretiminde OTTP değerini en çok etki eden proses taşımadır. Taşımadan sonra en çok etkileyen proses çimento üretimidir. Taşımanın OTTP değeri 0,0000000202 kg CFC₁₁ eşd., çimento üretiminin ise 0,00000000827 kg CFC₁₁ eşd'dir.

Şekil 4.17'de görüldüğü gibi, GDAB üretiminde oluşan toplam OTTP üzerinde taşıma %93, çimento üretimi %4'lük payı vardır. OTTP değeri organik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada OTTP değerini etkileyen organik emisyonlar, halojenli organik bileşiklerdir. Taşımanın OTTP değeri etkileyen organik emisyonların yüzdeleri sırasıyla % 46'sı R 11, % 44'ü R 114, %10'u R 12 ve %1'i R 22 bileşikleridir. Çimento üretiminin OTTP değerini etkileyen halojenli organik bileşiklerin yüzdeleri sırasıyla %91 ile R 114 ve %9 R 12'dir.

Diğer proseslerin etki sıralaması, süper akışkanlaştırıcı (%2) agrega no:2 üretimi (%1), kum üretimi (%0,1), mazot kullanımı (%0,004), elektrik tüketimi (%0,003) ve su tüketimi (%0,0003) yer almaktadır.



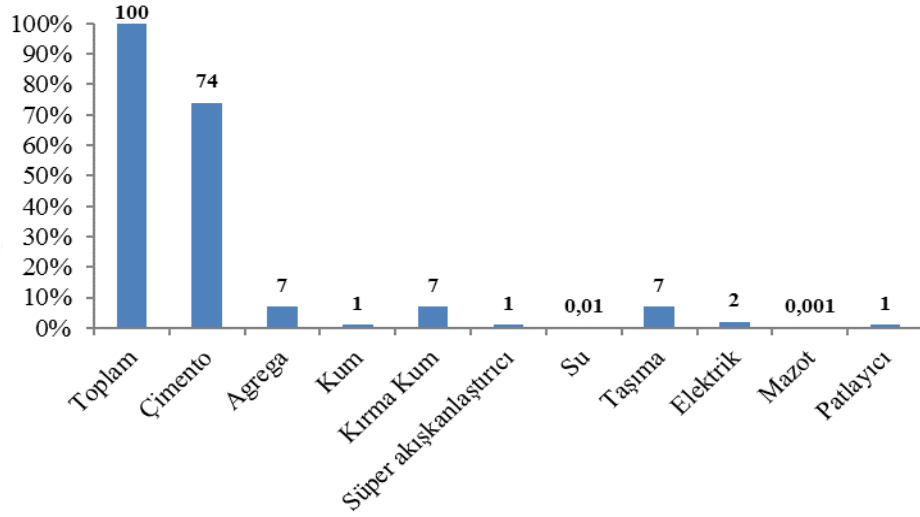
Şekil 4.17 : 1 m³ GDAB ozon tabakası incelme potansiyeli yüzdeleri (%).

4.1.8 Fotokimyasal oksidan oluşumu potansiyeli (FOOP)

4.1.8.1 Normal betonun fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli

Çizelge 4.1'de, 1 m³ NB üretiminin FOOP değeri 0,0569 kg C₂H₄ eşd. görülmektedir.

Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ NB için 0,075 kg C₂H₄ eşd. Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ NB için 0,065 kg C₂H₄ eşd. ve İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ NB için 0,0963 kg C₂H₄ eşd. FOOP değerlerine sahiptir. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen FOOP değeri Marinković ve diğ. (2010) ile en yakındır. NB üretiminin FOOP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, taşıma, agrega ve kırma kum üretimidir.



Şekil 4.18 : 1 m³ NB fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli yüzdeleri (%).

Şekil 4.18’de görüldüğü gibi, NB üretiminde oluşan toplam FOOP üzerinde çimento üretiminin %74, taşıma, kırma kum ve agrega üretiminin %7 payları vardır. FOOP kategorisini etkileyen organik ve inorganik bileşik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada gözlenen inorganik emisyonlar karbon monoksit, kükürdioksit, azot oksit ve nitrojen dioksit, organik emisyonlarda uçucu organik bileşenler (VOC) FOOP değerini etkilemektedir.

Çimento üretiminden kaynaklanan FOOP değerinin inorganik emisyonlarının %62’i karbonmonoksit, %28 azot oksit, %19’u ise kükürtdioksit, organik emisyonlarının %10’luk kısmını VOC oluşturmaktadır. Taşımadaki FOOP değerinin inorganik emisyonlarının %75’i azot oksit, %17’si karbonmonoksit, %7’si kükürt dioksit ve %4’ü nitrojen dioksit, organik emisyonlarının %28’lik kısmını VOC oluşturmaktadır.

Kırma kumdan kaynaklanan FOOP değerinin inorganik emisyonlarının %51 kükürt dioksit, %43 azot oksit, %25 karbon monoksit, organik emisyonlarının %50’lik kısmını VOC oluşturmaktadır. Agregası üretiminden kaynaklanan FOOP değerinin inorganik emisyonlarının %73 azot oksit, %23 karbon monoksit, %7 kükürt dioksit, organik emisyonlarının %34’lük kısmını VOC oluşturmaktadır.

Elektrik %2, Kum üretimi, süper akışkanlaştırıcı ve patlayıcı kullanımı %1 Su %0,01 ve mazot %0,001 ile FOOP değerini etkilemektedir.

4.1.8.2 Geri dönüştürülmüş agegalı betonun fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli

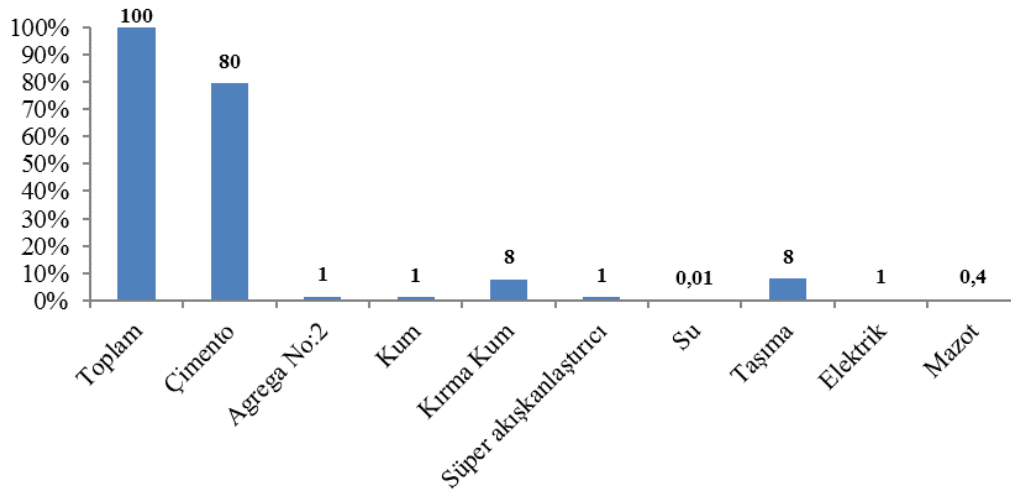
Çizelge 4.3'te, 1 m³ GDAB üretiminin FOOP değeri 0,0526 kg C₂H₄ eşd. görülmektedir.

Marinković ve diğ. (2014) çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,0655 kg C₂H₄ eşd. Marinković ve diğ. (2010) çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,066 kg C₂H₄ eşd. ve Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ GDAB için 0,0411 kg C₂H₄ eşd. FOOP değerlerine sahiptir. Bu çalışmanın yapım aşamasında elde edilen FOOP değeri literatür Marinković ve diğ.(2014) değerine en yakındır. GDAB üretiminin FOOP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, taşıma ve kırma kum üretimidir.

Şekil 4.19'da görüldüğü gibi, GDAB üretiminde oluşan toplam FOOP üzerinde çimento üretiminin %80, taşıma ve kırma kum üretimi %8 payları vardır. FOOP kategorisini etkileyen organik ve inorganik bileşik emisyonlardan kaynaklanmaktadır. Bu çalışmada gözlenen inorganik emisyonlar karbon monoksit, kükürdioksit, azot oksit ve nitrojen dioksit, organik emisyonlarda VOC FOOP değerini etkilemektedir.

Çimento üretiminden kaynaklanan FOOP'un inorganik emisyonlarının %62'i karbonmonoksit, %28 azot oksit, %19'u ise kükürtdioksit, organik emisyonlarının %10'luk kısmını VOC oluşturmaktadır. Taşıma prosesinde FOOP'un %76'ı azot oksit, %17 karbonmonoksit, %7 kükürt dioksit, organik emisyonlarının %29'luk kısmını VOC oluşturmaktadır. Kırma kum prosesinin FOOP'un inorganik emisyonlarının %44 kükürt dioksit, %37 azot oksit, %21 karbon monoksit, organik emisyonlarının %50'lik kısmını VOC oluşturmaktadır.

Agrega no:2 üretimi, Kum üretimi ve elektrik kullanımı %1, mazot %0,4 ve su %0,01 kullanımı FOOP değerini etkilemektedir.



Şekil 4.19 : 1 m³ GDAB fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli yüzdeleri (%).

4.1.9 Karasal ekotoksosite potansiyeli (KETP)

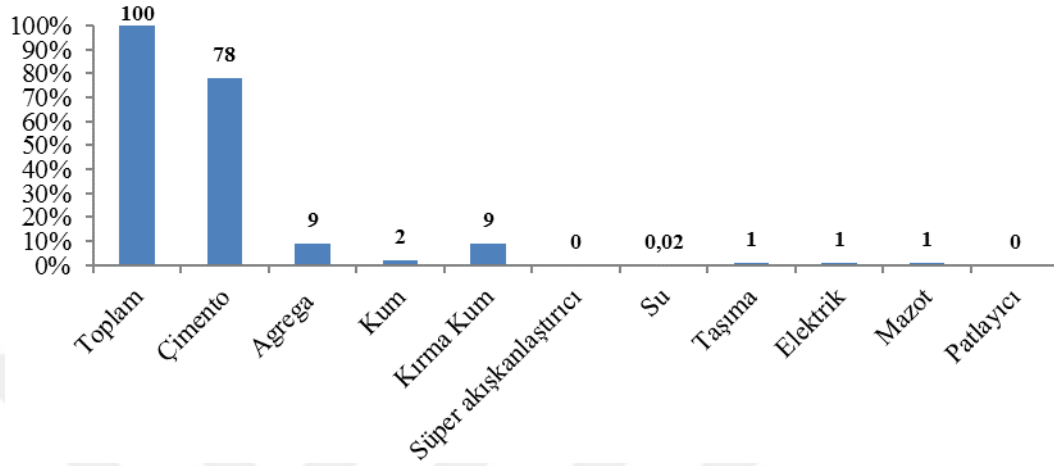
4.1.9.1 Normal betonun karasal ekotoksosite potansiyeli

Çizelge 4.1’de görülen, 1 m³ NB üretiminde oluşan KETP değeri 0,66 kg DCB eşd.’dir. Literatür çalışmalarından İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ NB için KETP değeri $6,32 \times 10^{-31}$ kg DCB eşd. gösterilmektedir. Bu çalışmada KETP değeri, İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasının değerine göre yüksek çıkmaktadır.

Bu çalışmada NB üretiminde KETP değerine en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento üretimi, agrega ve kırma kum üretimidir. Çimento üretimi 0,547 kg DCB eşd., agrega üretiminin 0,0655 kg DCB eşd. ve kırma kum üretimi 0,0641 kg DCB eşd ile KETP değerine etki etmektedir.

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi, NB üretiminin KETP değerinde çimento üretimi %65, agregan üretimi ve kırma kum üretimi ise %9 etkilemektedir. Bu çalışmada KETP üzerinde en çok payı olan bileşikler, havaya verilen ağır metallerden kaynaklanmaktadır. Bu modellemede en çok görülen ağır metaller arasında arsenik, krom, cıva ve vanadyum maddeleridir. Çimento üretimini nedeniyle havaya verilen ağır metallerin yüzdelik sıralması %92 cıva, %5 krom, %2 arsenik ve %1 vanadyumdur. Agregat üretiminde KETP değerini etkileyen ağır metallerin yüzdelik değerleri %89 cıva, %5 krom % 3 vanadyum ve %2 arsenik oluşturmaktadır. Kırma kum üretiminde en çok havaya verilen ağır metallerin etkisi sırası ile %55 krom, %21 vanadyum, %8 arsenik ve cıvadır.

Diğer proseslerin yüzdelik etki sırası, kum üretimi %2, taşıma, elektrik ve mazot kullanımı %1, su kullanımı %0,02'dir. Kabul edilen süper akışkanlaştırıcı ve patlayıcı proseslerinin KETP etkisi, ilgili EPD belgeleri kullanılarak direkt olarak sonuçları bu çalışmaya dahil edildiğinden analiz edilememektedir.



Şekil 4.20 : 1 m³ NB karasal ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).

4.1.9.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun karasal ekotoksitite potansiyeli (KETP)

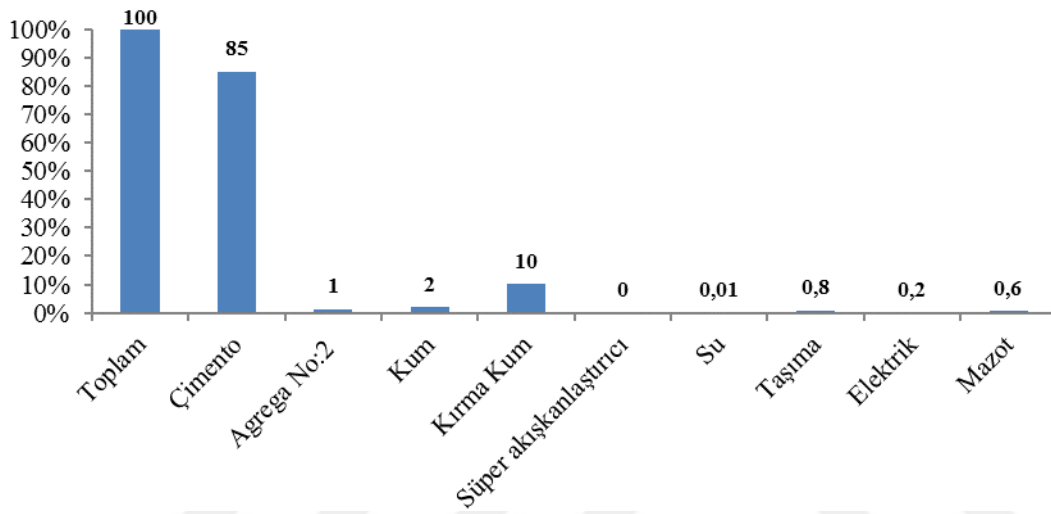
Çizelge 4.3'te görüldüğü gibi, 1 m³ GDAB üretimi için hesaplanan KETP değeri 0,643 kg DCB eşd.'dir. Literatür çalışmalarından Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında 1 m³ GDAB için KETP değeri ise $6,3 \times 10^{-31}$ kg DCB eşd.'dir. Bu çalışmada KETP değeri, Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasının değerine göre oldukça yüksek çıkmaktadır.

Bu çalışmada GDAB üretiminde KETP değerini en çok etki eden prosesler sırasıyla çimento, kırma kum ve kum üretimidir. Çimento üretimi için hesaplanan KETP değeri 0,547 kg DCB eşd., kırma kum üretimi için hesaplanan KETP değeri 0,0645 kg DCB eşd ve kum üretimi için hesaplanan KETP değeri 0,0125 kg DCB eşd.'dir.

Şekil 4.21'de görüldüğü gibi, GDAB üretiminin KETP değerinin çimento üretimi %85, kırma kum üretimi %10 ve kum üretimi ise %2 katkısı mevcuttur . Bu çalışmada KETP üzerinde en çok payı olan bileşikler, havaya verilen ağır metallerdir. En çok oluşabileceği öngörülen ağır metaller arsenik, krom, cıva ve vanadyumdur. Çimento üretimini nedeniyle havaya verilen ağır metallerin katkı sıralaması ise %92 cıva, %5 krom, %2 arsenik ve %1 vanadyumdur. Kırma kum üretiminde en çok havaya verilen ağır metallerin etkisi ise sırası ile %55 krom, %21

vanadyum, %8 arsenik ve cıvadır. Kum üretiminde KETP değerini etkileyen ağır metallerin yüzdelik değerleri ise %93 cıva ve %1 kromdan oluşmaktadır.

Diğer proseslerin yüzdelik katkı sırası, agrega no:2 üretimi (%1), taşıma (%0,8), mazot kullanımı (%0,6), elektrik kullanımı (%0,2) ve su kullanımı (%0,01) şeklindedir. Kabul edilen süper akışkanlaştırıcı proseslerinin KETP etkisi, ilgili EPD belgesi kullanılarak direkt olarak sonuçları bu çalışmaya dahil edildiğinden analiz edilememektedir.



Şekil 4.21 : GDAB karasal ekotoksitite potansiyeli yüzdeleri (%).

4.2 Çevresel Etki Değerlendirme Sonuçlarının Literatür ile Karşılaştırması

Bu çalışmada modelin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının karşılaştırılması amacıyla seçilen literatür çalışmalarının özellikleri Bölüm 2’de ayrıntılı olarak verilmiştir. Tüm çalışmalarda değerlendirmeye alınan çevresel etki kategorileri aynı olmadığından, karşılaştırma için tüm yayınlarda ortak olan çevresel etki kategorileri seçilmiştir. Seçilen çevresel etki kategorileri AFTPf, AP, ÖP, TCETP, KIP ve FOOP’tur.

4.2.1 Normal betonun üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

Çizelge 4.7’de bu çalışmada 1 m³ NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının seçilen literatür çalışmaları ile karşılaştırılması verilmektedir.

Bu çalışmanın NB’nin üretimi boyunca ortaya çıkan çevresel etkileri literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında AP, ÖP, TCETP ve KETP değerlerinin farklı,

AFTPf, KIP ve FOOP çevresel etki kategorilerindeki sonuçların ise birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.7 : 1 m³ NB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması.

Kaynak	Marinković ve diğ. (2014)	Marinković ve diğ. (2010)	İmtiaz ve diğ. (2021)	Bu Çalışma
Metot	CML	CML	CML	CML
Sistem Sınırı	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	1 m ³ NB	1 m ³ NB	1 m ³ NB	1 m ³ NB
AETP,(kg Sb Eşd.)	-	-	-	4,27E-04
AFTPf (MJ)	1,95E+03	1,57E+03	-	1,52E+03
AP (kg SO ₂ Eşd)	2,45E+00	2,01E+00	1,02E+00	5,84E-01
ÖP (kg PO ₄ ³⁻ Eşd)	1,50E-01	1,21E-01	7,92E-02	2,89E-01
TCETP, (kg DCB Eşd.)	-	-	1,78E-07	5,05E-01
KIP (kg CO ₂ Eşd)	3,78E+02	3,08E+02	2,64E+02	3,00E+02
OTTP (kg CFC _{1 1} Eşd)	-	-	-	2,63E-07
FOOP (kg C ₂ H ₄ Eşd)	7,50E-02	6,50E-02	9,63E-02	5,69E-02
KETP, (kg DCB Eşd.)	-	-	6,32E-31	7,03E-01

Bu çalışmadaki NB üretiminde AP değeri, Marinković ve diğ. (2014) çalışması değerinin yaklaşık %22'si, Marinković ve diğ. (2010) çalışması değerinin %28'i, İmtiaz ve diğ. (2021) çalışması değerinin % 57'si kadardır. AP etki kategorisini etkileyen proseslerin başında çimento üretimi gelmektedir. Literatürden seçilen çalışmalardaki üç betonunda çimento miktarının bu çalışmadaki kullanılan çimento miktarından fazla olduğu görülmektedir. Çimento üretimi kaynaklı emisyonların, literatür çalışmalarında AP değerini arttırdığı düşünülmektedir.

Marinković ve diğ. (2014) çalışması ÖP değeri bu çalışmadaki ÖP değerinin %53'ü kadardır. Diğer literatür çalışması olan Marinković ve diğ. (2010) çalışması ÖP değeri bu çalışmanın %42 ve İmtiaz ve diğ. (2021) çalışması ÖP değeri bu çalışmanın ÖP değerinin %25'i kadardır. ÖP değerini en çok etkileyen proses süper akışkanlaştırıcıdır. Marinković ve diğ. (2014) ve Marinković ve diğ. (2010) çalışmalarında süper akışkanlaştırıcı kullanılmamaktadır. İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan süper akışkanlaştırıcı içeriğinin farklı olmasının ÖP değerinde bu farklılığı gösterdiği düşünülmektedir. Ancak, söz konusu çalışmadaki

süper akışkanlaştırıcının tam olarak formulasyonu ve spesifik olarak çevresel etkileri ile bilgi mevcut olmadığından daha ayrıntılı bir yorum yapılması mümkün değildir.

Bu çalışmadaki TCETP değeri ile Imtiaz ve diğ. (2021) çalışması değeri arasında oldukça büyük bir fark vardır (Çizelge 4.5). TCETP'yi en fazla etkileyen proses çimento üretimidir. İki NB'da farklı çimento kullanılmıştır. Bu çalışmadaki NB üretiminde kullanılan çimento, Portland çimento CEM I 42,5 R, Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan çimento, Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R'dir. Portland çimento CEM I 42,5 R içeriğinde % 95'ten fazla klinker, %5 minör ilave bileşenler içermektedir. Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R içeriğinde %80-94 klinker, %6-20 kalker içermektedir. Bu iki çimento içerik ve üretiminden gelecek emisyonların TCETP değerinde farklılık gösterdiği düşünülmektedir.

TCETP'de görülen büyük farklılık KETP değerinde de görülmüştür (Çizelge 5.5). KETP'yi en fazla etkileyen proses çimento üretimidir. NB üretiminde kullanılan çimento Portland cement CEM I 42.5 R'dir. Imtiaz ve diğ. (2021) çalışması kullanılan çimento Portland cement CEM II/A-LL 42,5'dir. Portland çimento CEM I 42,5 R içeriğinde % 95'ten fazla klinker, %5 minör ilave bileşenler içermektedir. Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R içeriğinde %80-94 klinker, %6-20 kalker içermektedir. Bu iki çimento içerik ve üretiminden gelecek emisyonların KETP değerinde farklılık gösterdiği düşünülmektedir.

4.2.2 Geri dönüştürülmüş aggregalı betonun üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırılması

Çizelge 4.8'de bu çalışmada 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının seçilen literatür çalışmaları ile karşılaştırılması verilmektedir. Bu çalışmadaki GDAB üretiminde bina yıkım aşaması da sistem sınırları içerisinde yer almaktadır. Fakat seçilen literatür çalışmalarında bina yıkım prosesi sistem sınırı içinde olmadığından, karşılaştırma yapabilmek için bina yıkımından gelen çevresel etkiler toplam değerden çıkarılmıştır.

Bu çalışmanın GDAB üretimi boyunca ortaya çıkan çevresel etkileri literatür çalışmaları ile karşılaştırıldığında AP, ÖP, TCETP ve KETP değerlerinin farklı, AFTPf, KIP ve FOOP çevresel etki kategorilerindeki sonuçların ise birbirlerine yakın olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.8 : 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki değerlendirme sonuçlarının literatür ile karşılaştırması.

Kaynak	Marinković ve diğ. (2014)	Marinković ve diğ. (2010)	İmtiaz ve diğ. (2021)	Bu Çalışma
Metot	CML	CML	CML	CML
Sistem Sınırı	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya	beşikten-kapıya
Fonksiyonel Birim/ Etki Kategorileri	50% geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m ³ GDAB	100% geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m ³ GDAB	100% geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m ³ GDAB	50% geri dönüştürülmüş agrega içeren 1 m ³ GDAB
AETP,(kg Sb Eşd.)	-	-	-	4,15E-04
AFTPf (MJ)	1,70E+03	1,61E+03	-	1,44E+03
AP (kg SO₂ Eşd)	2,24E+00	2,07E+00	1,01E+00	5,16E-01
ÖP (kg PO₄-P Eşd)	1,37E-01	1,23E-01	7,88E-02	2,90E-01
TCETP, (kg DCB Eşd.)	-	-	1,67E-07	4,72E-01
KIP (kg CO₂ Eşd)	3,40E+02	3,20E+02	2,61E+02	2,92E+02
OTTP (kg CFC_{1 1} Eşd)	-	-	-	2,17E-08
FOOP (kg C₂ H₄ Eşd)	6,55E-02	6,60E-02	4,11E-02	5,26E-02
KETP, (kg DCB Eşd.)	-	-	6,30E-31	6,43E-01

Bu çalışmadaki GDAB üretiminde AP değeri, Marinković ve diğ. (2014) çalışması değerinin yaklaşık %22'i, Marinković ve diğ. (2010) çalışması değerinin %24'i, İmtiaz ve diğ. (2021) çalışması değerinin % 49'si kadardır. AP etki kategorisini etkileyen proseslerin başında çimento üretimi gelmektedir. Literatürden seçilen çalışmalardaki üç betonunda çimento miktarının bu çalışmadaki kullanılan çimento miktarından fazladır. Çimento üretimi kaynaklı emisyonların, literatür çalışmalarında AP değerini arttırdığı düşünülmektedir.

Marinković ve diğ. (2014) çalışmasının ÖP değeri bu çalışmadaki ÖP değerinin %45'i kadardır. Diğer literatür çalışması olan Marinković ve diğ. (2010) ÖP değeri bu çalışmanın %42 ve İmtiaz ve diğ. (2021) ÖP değeri bu çalışmanın ÖP değerinin %24'ü kadardır. ÖP değerini en çok etkileyen proses süper akışkanlaştırıcıdır. Marinković ve diğ. (2014) ve Marinković ve diğ. (2010) çalışmalarında süper akışkanlaştırıcı kullanılmamaktadır. İmtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan süper akışkanlaştırıcı içeriğinin farklı olması ÖP değerinde bu farklılığa neden olduğu düşünülmektedir. Ancak, söz konusu çalışmadaki süper akışkanlaştırıcının tam olarak formülasyonu ve spesifik olarak çevresel etkileri ile bilgi mevcut olmadığından daha ayrıntılı bir yorum yapılması mümkün değildir.

Bu çalışmadaki TCETP değeri ile Imtiaz ve diğ. (2021) değeri arasında oldukça büyük bir fark vardır (Çizelge 4.8). TCETP'yi en fazla etkileyen proses çimento üretimidir. İki GDAB'de farklı çimento kullanılmıştır. GDAB üretiminde kullanılan çimento, Portland çimento CEM I 42,5 R'dir. Imtiaz ve diğ. (2021) kullanılan çimento, Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R'dir. Portland çimento CEM I 42,5 R içeriğinde % 95'ten fazla klinker, %5 minör ilave bileşenler içermektedir. Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R içeriğinde %80-94 klinker, %6-20 kalker içermektedir. Bu iki çimento içerik ve üretiminden gelecek emisyonların TCETP değerinde farklılık gösterdiği düşünülmektedir.

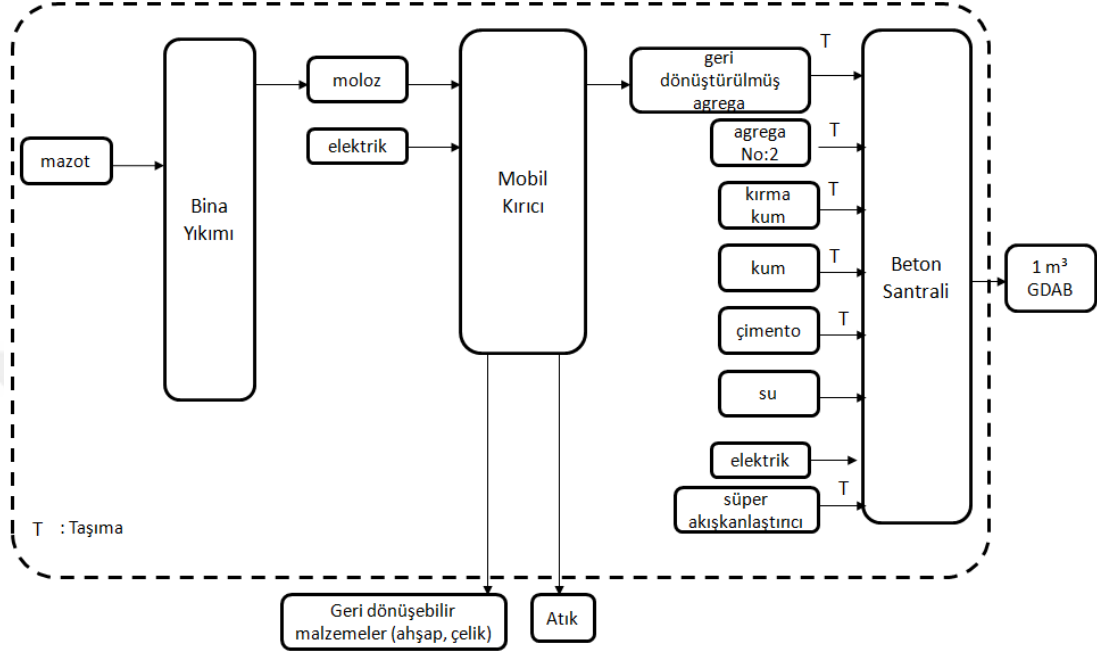
TCETP'de görülen büyük farklılık KETP değerinde de görülmektedir (Çizelge 4.8). KETP'yi en fazla etkileyen proses çimento üretimidir. GDAB üretiminde kullanılan çimento, Portland çimento CEM I 42,5 R'dir. Imtiaz ve diğ. (2021) kullanılan çimento Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R'dir. Portland çimento CEM I 42,5 R içeriğinde % 95'ten fazla klinker, %5 minör ilave bileşenler içermektedir. Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R içeriğinde %80-94 klinker, %6-20 kalker içermektedir. Bu iki çimento içerik ve üretiminden gelecek emisyonların KETP değerinde farklılık gösterdiği düşünülmektedir.

4.3 Senaryo Analizi

Bu çalışmada 1 m³ GDAB üretiminin olası çevresel etkileri belirlendikten sonra, mevcut etkilerin azaltılma potansiyelini değerlendirebilmek için elde edilen sonuçlarda etkili olan parametrelerin alternatifleri değerlendirilmiştir. Belirlenen alternatiflerin GDAB üretiminde kullanılması durumunda oluşacak çevresel etkilerin hesaplanması ve elde edilen sonuçlara göre çevresel etkileri azaltmak üzere çeşitli öneriler geliştirilmesi amacıyla aşağıda açıklandığı şekilde senaryo analizi çalışması yürütülmüştür.

Konu ile ilgili literatür çalışmalarından Marinković ve diğ. (2010) ve Marinković ve diğ. (2014) çalışmasına bakıldığında taşıma mesafelerinin beton üretiminin çevresel etkisi üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Bu çalışmada ise 1 m³ GDAB üretiminde taşıma, AETP'ini %1, ATPf'ini %10, AP'ini %9, ÖP'ini %4, TCETP ve KIP'ini %3, OTTP'ini %93, FOOP'ini %8 ve KETP'inde ise %1'in altında düşük bir etki göstermektedir.

Taşımanın sonuçlar üzerindeki etkisini gözlemlemek amacıyla, GDAB üretiminde, bina yıkımından kaynaklanan molozların geri dönüşüm tesisine taşınması yerine, yıkım yerinde mobil kırıcı kullanılması durumunu ele alan senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryonun sistem sınırları Şekil 4.22’de gösterilmektedir.



Şekil 4.22 : 1 m³ GDAB üretiminin sistem sınırları (mobil kırıcı kullanımı).

Söz konusu senaryoda kullanılacak mobil kırıcı, Kleemann markalı geri dönüşümde kullanılabilen bir kırıcıdır (Url-5,2022). Seçilen ekipman 310 ton/sa kırım işlemi için 364 kWh elektrik tüketim değerine sahiptir. Buna göre, bu çalışmanın fonksiyonel birimi olan 1 m³ GDAB üretimi için gerekli elektrik enerjisi tüketimi 0,728 KWh olarak hesaplanmıştır. Sonrasında, daha önce oluşturulan GDAB üretim modelinde elektrik girdisi ve taşıma bilgisi ile değişiklik yapılarak yaşam döngüsü etkisi değerlendirmesi hesaplamaları aynı şekilde gerçekleştirilmiştir (Çizelge 4.9).

Temel GDAB üretiminde toplam taşıma 237 km hesaplanmaktadır. Bu senaryoda mobil kırıcı kullanılması durumunda GDAB üretiminin toplam mesafesi 30 km azalma sağlanmıştır (Çizelge 4.10).

Bu çalışmada, NB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcının, AETP, ATPf, AP, ÖP, KIP, OTTP, FOOP çevresel etkileri üzerinde sırasıyla %1, %4, %1, %70, %1, %0,2 ve %1 katkısının olduğu görülmektedir. Süper akışkanlaştırıcının GDAB üretiminde ise AETP, ATPf, AP, ÖP, KIP, OTTP, FOOP kategorilerindeki çevresel etki katkısı sırasıyla %1, %4, %1, %75, %1, %2 ve %1 olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.9 : 1 m³ GDAB üretiminin (mobil kırıcı kullanımı) girdi ve çıktı miktarları.

	Girdi/Çıktı Türü		Miktar	Birim
Bina Yıkımı	Girdi	Mazot	0,52	l
	Çıktı	Moloz	653	kg
Mobil Kırıcı	Girdi	Moloz	653	kg
		Elektrik	0,728	kWh
		GDA (5-12mm)	522	kg
	Çıktı	Geri dönüşebilir malzemeler (ahşap, çelik)	13	kg
		Atık	118	kg
Beton Santrali		GDA (5-12mm)	522	kg
		Agrega No:2 (10-20mm)	493	kg
		Kırma kum	410	kg
		Kum	518	kg
	Girdi	Çimento	300	kg
		Süper akışkanlaştırıcı	2,1	kg
		Su	110	kg
		Elektrik	3,5	kWh
	Çıktı	Beton	1	m ³

Çizelge 4.10 : 1 m³ GDAB üretiminin (mobil kırıcı kullanımı) taşıma envanter tablosu.

	Çıkış Varies Noktası	km
Moloz-GDA (5-12 mm)	Fikirtepe-Gebze	40
Agrega No:2 (10-20mm)	Kemerburgaz-Gebze	61
Kırma kum	Kemerburgaz-Gebze	61
Kum	Kemerburgaz-Gebze	61
Çimento	Büyükçekmece-Gebze	106
Süper akışkanlaştırıcı	Ümraniye-Gebze	50
Toplam		207

Süper akışkanlaştırıcının betondaki çevresel etkilerini analiz edebilmek için ise NB ve GDAB betonun üretiminde aynı özelliklerde fakat farklı bir süper akışkanlaştırıcı kullanılması şeklinde bir senaryo hazırlanmıştır. Bu amaçla seçilen süper akışkanlaştırıcının çevresel etkileri ile bilgiler Avrupa Beton Katkı Maddeleri Federasyonu'nun (EFCA) yayımladığı bir çevresel ürün beyanından (EPD) alınmıştır (Url-6,2021). Bu çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı ile senaryo için kabul edilen süper akışkanlaştırıcının içerik ve özellikle ilgili bilgiler Çizelge 4.11'de gösterilmektedir. Bu iki süper akışkanlaştırıcı kullanım bakımından aynı özelliğe sahip olsalar da kimyasal içerikleri farklıdır.

Çizelge 4.11 : Bu çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı ile senaryo 2 için seçilen süper akışkanlaştırıcının içerik ve özellikleri.

	Bu çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcı	Senaryo 2 için seçilen süper akışkanlaştırıcı
Malzem içeriği	Lignosülfonat	Lignosülfonat
	Naftalin sülfonat	Naftalin sülfonat
	Melamin sülfonat	Melamin sülfonat
	Polikarboksilat	Polikarboksilat
		Poliaril eter
		Sodyum glukonat
Yoğunluk (kg/L)	1,-1,1	1 -1,6
Özelliği	Yüksek oranda su azaltıcı	Yüksek oranda su azaltıcı

Buna göre, bu çalışmanın fonksiyonel birimi olan 1 m³ GDAB üretimi için gerekli süper akışkanlaştırıcı miktarı temel alınarak, söz konusu EPD belgesindeki çevresel etkiler bu çalışmaya uyarlanmış ve daha önce elde edilen modelleme sonuçları da buna göre değiştirilerek elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir.

Aşağıda sırasıyla her senaryo analizinden elde edilen sonuçlar sunulmuş ve değerlendirilmiştir.

4.3.1 Senaryo 1: Geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretiminde mobil kırıcı kullanımı

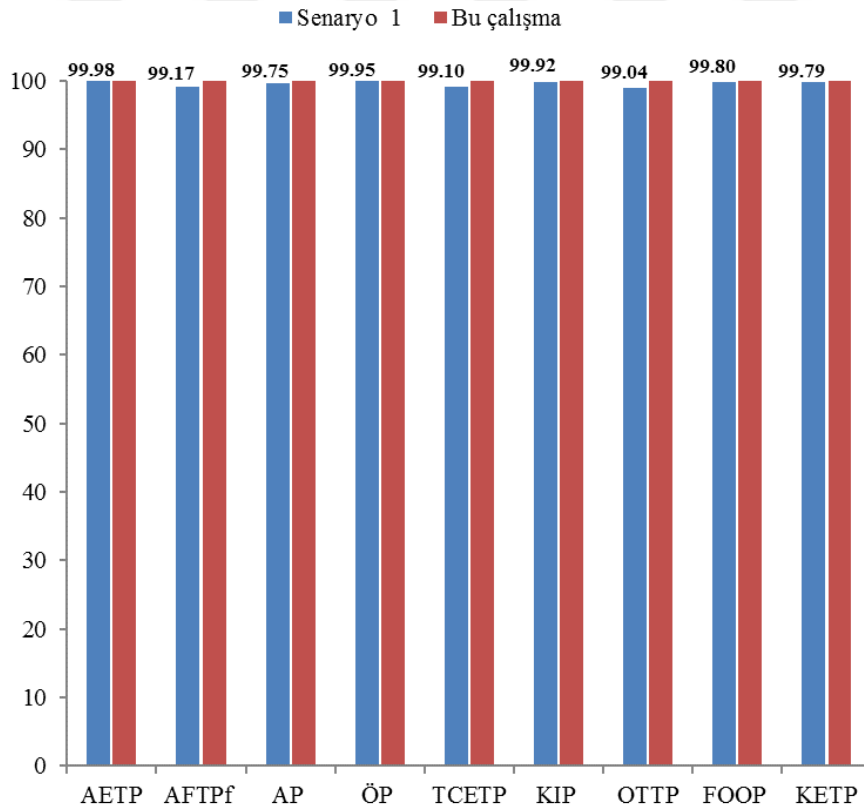
Bu senaryoda geri dönüşüm tesisi yerine bina yıkımı alanında mobil kırıcı kullanarak 1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki değerleri sonuçları analiz edilmektedir.

Çizelge 4.12’de mobil kırıcı kullanım senaryosunun çevresel etki değerlendirme sonuçları verilmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında, AETP’nin 0,000415 kg Sb eşd., ATP’nin 1420 MJ, AP’nin 0,515 kg SO₂ eşd., ÖP’nin 0,29 kg PO₄⁻³ eşd., TCETP’in 0,468 kg DCB eşd., KIP’in 2910 kg CO₂ eşd., OTTP’nin 0,0000000215 kg CFC₁₁ eşd., FOOP’un 0,0525 kg C₂H₄ eşd., KETP’in ise 0,641 kg DCB eşd. olduğu görülmektedir.

Şekil 4.23’te mobil kırıcı senaryosunda elde edilen çevresel etki değerlendirme sonuçlarının, bu çalışmada elde edilen sonuçlara göre yüzde değişimleri grafiklenmektedir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar referans kabul edilmiş ve bu sonuçlara göre senaryo sonuçlarının yüzde olarak karşılaştırılmaları verilmektedir.

Çizelge 4.12 : 1 m³ GDAB üretiminde mobil kırıcı kullanımının çevresel etki değerlendirme sonuçları (Senaryo 1).

Etki Kategorisi	Toplam
AETP,(kg Sb Eşd.)	4,15E-04
AFTPf (MJ)	1,42E+03
AP (kg SO ₂ Eşd)	5,15E-01
ÖP (kg PO ₄ ³⁻ Eşd)	2,90E-01
TCETP, (kg DCB Eşd.)	4,68E-01
KIP (kg CO ₂ Eşd)	2,91E+02
OTTP (kg CFC _{1 1} Eşd)	2,15E-08
FOOP (kg C ₂ H ₄ Eşd)	5,25E-02
KETP, (kg DCB Eşd.)	6,41E-01



Şekil 4.23 : 1 m³ GDAB üretiminin ve senaryo 1'in çevresel etkilerin karşılaştırılması (%).

Senaryonun AETP'nin % 0,02, AFTPf'nin %0,083, AP'nin %0,25 , ÖP'nin %0,05, TCETP'in %0,9, KIP'ın %0,08, OTTP'nin %1, FOOP'un %0,2 ve KETP'in %0,2 azaldığı saptanmaktadır. Şekil 4.23'e bakıldığında bu çalışma ve senaryoda en büyük fark değerinin %1 olduğu ve OTTP etki kategorisinde meydana geldiği

görülmektedir. Bu çalışmanın GDAB modeli ile mobil kırıcı kullanım senaryosu uygulanması durumunda çevresel etki değerlendirme sonuçlarında gözlemlenen değişimler ayrıca Çizelge 4.13'te sunulmuştur.

Çizelge 4.13 : 1 m³ GDAB üretiminin ve senaryo 1'in sonuçlarında gözlemlenen değişiklikler.

Etki Kategorisi	Senaryo 1	1 m ³ GDAB	Gözlenen değişim
AETP,(kg Sb eşd.)	4,15E-04	4,15E-04	- % 0,02
AFTPf (MJ)	1,42E+03	1,44E+03	-% 0,83
AP (kg SO ₂ eşd.)	5,15E-01	5,16E-01	-% 0,25
ÖP (kg PO ₄ ⁻³ eşd.)	2,90E-01	2,90E-01	-% 0,05
TCETP, (kg DCB eşd.)	4,68E-01	4,72E-01	-% 0,9
KIP (kg CO ₂ eşd.)	2,91E+02	2,92E+02	-% 0,08
OTTP (kg CFC ₁₁ eşd.)	2,15E-08	2,17E-08	-% 1
FOOP (kg C ₂ H ₄ eşd.)	5,25E-02	5,26E-02	-% 0,2
KETP (kg DCB eşd.)	6,41E-01	6,43E-01	-% 0,2

Bu çalışmada çevresel etki kategorilerini en çok etkileyen prosesler sırasıyla çimento üretimi ve kırma kum üretimidir. Bu nedenle, mobil kırıcı ile taşıma mesafesi azaldığı halde bu çalışmada taşımanın çevresel etkisi çimento ve kırma kum üretimi etkisinden az olduğu görülmektedir.

4.3.2 Senaryo 2: Süper akışkanlaştırıcı değişimi

Bu çalışmada üretilen iki betonda kullanılan süper akışkanlaştırıcı yerine farklı süper akışkanlaştırıcı kullanılırsa NB ve GDAB üretiminde oluşacak çevresel etki değerleri analiz edilmektedir.

4.3.2.1 Normal beton üretiminde süper akışkanlaştırıcı değişimi

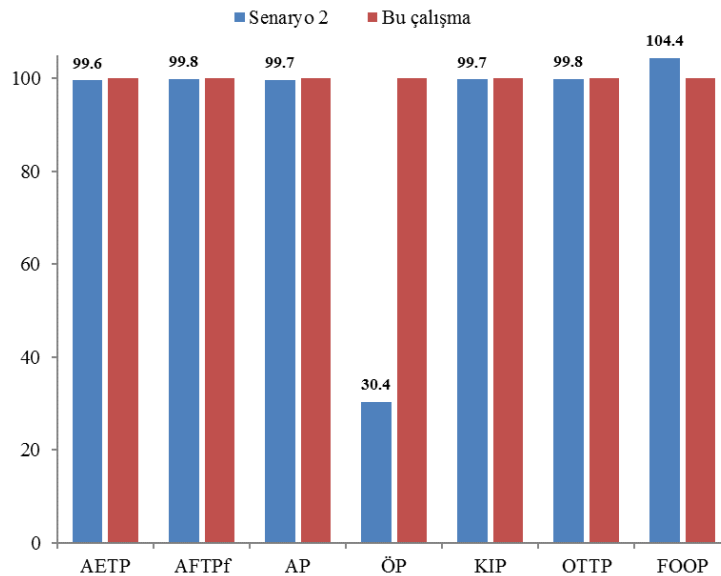
Çizelge 4.14'te 1 m³ NB üretiminde süper akışkanlaştırıcı değişim senaryosunun (Senaryo 2) çevresel etki değerlendirme sonuçları verilmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında, AETP'nin 0,000425 kg Sb eşd., ATPf'nin 1520 MJ, AP'nin 0,582 kg SO₂ eşd., ÖP'nin 0,0878 kg PO₄⁻³ eşd., KIP'ın 300 kg CO₂ eşd., OTTP'nin 0,000000263 kg CFC₁₁ eşd., FOOP'un 0,0594 kg C₂H₄ eşd., olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.14 : 1 m³ NB üretiminde süper akışkanlaştırıcının değişiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları (Senaryo 2).

Etki Kategorisi	Toplam
AETP(kg Sb eşd.)	4,25E-04
AFTPf (MJ)	1,52E+03
AP (kg SO ₂ eşd.)	5,82E-01
ÖP (kg PO ₄ ⁻³ eşd.)	8,78E-02
KIP (kg CO ₂ eşd.)	3,00E+02
OTTP (kg CFC ₁₁ eşd.)	2,63E-07
FOOP (kg C ₂ H ₄ eşd.)	5,94E-02

Şekil 4.24'te bu çalışmada elde edilen sonuçlar referans kabul edilmiş ve bu sonuçlara göre senaryo sonuçlarının yüzde olarak karşılaştırılmaları verilmektedir.

Senaryonun AETP'nin % 0,4, ATPf'nin %0,2, AP'nin %0,3 , ÖP'nin %69,6, KIP'in %0,3 ve OTTP'nin %0,2 azaldığı , FOOP'un ise %0,2 arttığı saptanmaktadır. Şekil 4.24'e bakıldığında bu çalışma ve senaryodaki en büyük fark değeri %69,6 olan etki kategorisi ÖP'dir. Zaten bu senaryo analizinin oluşturulmasının nedeni, özellikle ÖP değerine süper akışkanlaştırıcının katkısının yüksek olduğunun belirlenmesi ve alternatiflerin oluşacak çevresel etkinin azaltılması amacıyla değerlendirilmesidir. Özet olarak, farklı bir süper akışkanlaştırıcı kullanıldığında, ÖP'nin önemli ölçüde azaldığı, diğer bazı etki kategorilerinde ise daha küçük miktarlarda azalma ve FOOP'nde ise düşük bir oranda bir artışın meydana geldiği tespit edilmiştir. FOOP'taki artış nedeni senaryoda kabul edilen süper akışkanlaştırıcının üretimi sırasında havaya verilen inorganik emisyonunun artmasıdır. Aynı sonuçlar, Çizelge 4.15'te özetlenmektedir.



Şekil 4.24 : 1 m³ NB üretiminin ve senaryo 2'nin çevresel etkilerinin oranları (%).

Çizelge 4.15 : 1 m³ NB üretiminin ve senaryo 2'nin sonuçlarında gözlemlenen değişiklikler.

Etki Kategorisi	Senaryo 2	1 m ³ NB	Gözlemlenen değişim
AETP	4,25E-04	4,27E-04	-% 0,4
AFTPf	1,52E+03	1,52E+03	-% 0,2
AP	5,82E-01	5,84E-01	-% 0,3
ÖP	8,78E-02	2,89E-01	-% 69,6
KIP	3,00E+02	3,00E+02	-% 0,3
OTTP	2,63E-07	2,63E-07	-% 0,2
FOOP	5,94E-02	5,69E-02	+% 4,4

4.3.2.2 Geri dönüştürülmüş agregalı betonun üretiminde süper akışkanlaştırıcı değişimi

Çizelge 4.16'da GDAB üretiminde süper akışkanlaştırıcı değişim senaryosunun (Senaryo 2) çevresel etki değerlendirme sonuçları verilmektedir. Bu sonuçlara bakıldığında, AETP'nin 0,000413 kg, Sb eşd., ATPf'nin 1430 MJ, AP'nin 0,514 kg SO₂ eşd., ÖP'nin 0,074 kg PO₄⁻³ eşd., KIP'in 291 kg CO₂ eşd., OTTP'nin 0,000000212 kg CFC₁₁ eşd., FOOP'un 0,0554 kg C₂H₄ eşd., olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.16 : 1 m³ GDAB üretiminde süper akışkanlaştırıcının değişiminin çevresel etki değerlendirme sonuçları (Senaryo 2).

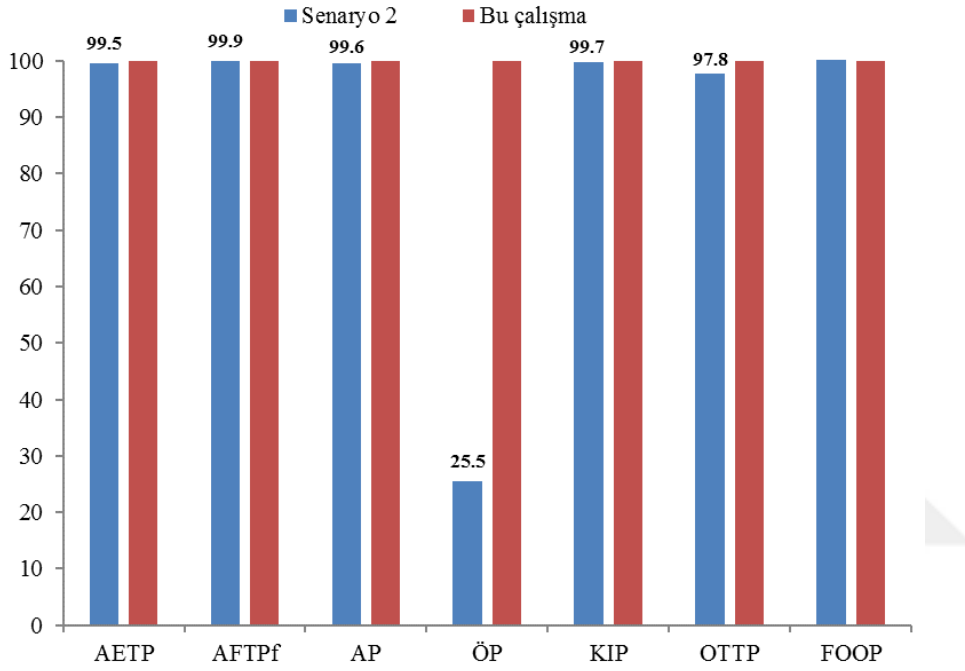
Etki Kategorisi	Toplam
AETP(kg Sb eşd.)	4,13E-04
AFTPf (MJ)	1,43E+03
AP (kg SO ₂ eşd.)	5,14E-01
ÖP (kg PO ₄ ⁻³ eşd.)	7,40E-02
KIP (kg CO ₂ eşd.)	2,91E+02
OTTP (kg CFC ₁₁ eşd.)	2,12E-08
FOOP (kg C ₂ H ₄ eşd.)	5,54E-02

Şekil 4.25'te bu çalışmada elde edilen sonuçlar referans kabul edilmiş olup, bu sonuçlara göre senaryo sonuçları yüzde olarak karşılaştırılmaktadır.

Senaryoda AETP'nin % 0,5 ATPf'nin %0,1, AP'nin %0,4 , ÖP'nin %74,5, KIP'in %0,3 ve OTTP'nin %2,2 azaldığı , FOOP'un ise %5,3 arttığı saptanmaktadır. Şekil 4.25'e bakıldığında en büyük fark değeri %74,5 olan etki kategorisi ÖP'dir. ÖP'deki

bu farkın nedeni, bu çalışmada ÖP'yi en çok etkileyen süper akışkanlaştırıcı içeriği ile senaryoda kabul edilen süper akışkanlaştırıcının içerik bakımından farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

FOOP'taki artış nedeni senaryo koşulundaki süper akışkanlaştırıcının üretimi sırasında havaya verilen inorganik emisyonun artmasıdır. Bu çalışmada, senaryo 2'nin uygulanması durumunda çevresel etki değerlendirme sonuçlarında gözlemlenen değişimler Çizelge 4.17'de özetlenmektedir.



Şekil 4.25 : 1 m³ GDAB üretiminin ve senaryo 2'nin çevresel etkilerinin oranları (%).

Çizelge 4.17 : 1 m³ GDAB üretiminin ve senaryo 2'nin sonuçlarında gözlemlenen değişiklikler.

Etki Kategorisi	Senaryo 2	1 m ³ GDAB	Gözlemlenen değişim
AETP	4,13E-04	4,15E-04	-% 0,5
AFTPf	1,43E+03	1,44E+03	-% 0,1
AP	5,14E-01	5,16E-01	-% 0,4
ÖP	7,40E-02	2,90E-01	-% 74,5
KIP	2,91E+02	2,92E+02	-% 0,3
OTTP	2,12E-08	2,17E-08	-% 2,2
FOOP	5,54E-02	5,26E-02	+% 5,3

5. MALİYET ANALİZİ SONUÇLARI

Çalışmanın bu aşamasında çevresel etkilerin belirlenmesine ek olarak, 1 m³ NB ve GDAB üretiminin ekonomik değerlendirilmesine yer verilmiştir.

5.1 Normal Betonun Maliyet Analizi

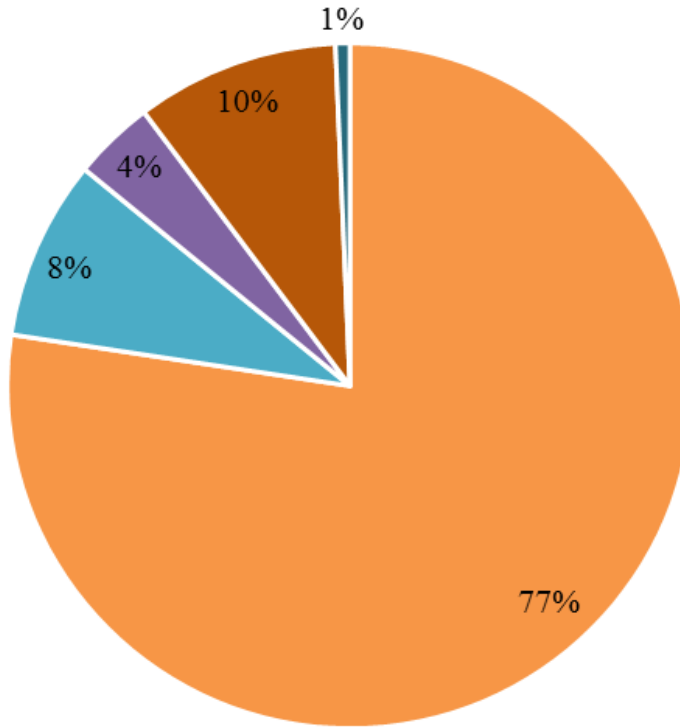
Çizelge 5.1’de 1 m³ NB üretiminde kullanılan her girdi için, hesaplanan toplam maliyet değerleri ve bu değerlerin toplam maliyete olan katkısı verilmiştir. Görüldüğü üzere, maliyete en yüksek katkısı olan parametreler, beton üretimi için kullanılan çimento (%62,9), süper akışkanlaştırıcı (%4,1), kırma kum (%4) ve ekskavatör için kullanılan yakıttır (%3,8).

Çizelge 5.1 : 1 m³ NB üretiminin maliyet analizi.

Proses	Parametre	Fiyat (TL)	Toplam Maliyet Katkısı(%)
Taş Ocağı	ANFO	1,5	0,3
	Dinamit	14,5	3,1
	Kapsül	4	0,9
	Mazot (ekskavatör)	17,77	3,8
	Mazot (taşıma)	1,06	0,2
Kırma Eleme Tesisi	elektrik (kırıcı)	29,46	6,4
	su (iş yeri)	1,92	0,4
	Mazot (taşıma-Agrega No:1)	9,81	2,1
	Mazot (taşıma-Agrega No:2)	9,5	2,1
Beton Santrali	Kırma kum	18,54	4,0
	Kum	9,6	2,1
	Çimento	291	62,9
	Süper akışkanlaştırıcı	19,11	4,1
	Su	1,23	0,3
	Elektrik	9,73	2,1
	Mazot (taşıma - Kırma kum)	8	1,7
	Mazot (taşıma - Kum)	9,8	2,1
	Mazot (taşıma - Süper akışkanlaştırıcı)	0,11	0,02
	Mazot (taşıma -Çimento)	6,1	1,3
		462,74	100,0

1 m³ NB üretiminin maliyeti, kullanılan malzeme, mazot ve elektrik olarak harcanan enerji, taşıma ve su miktarları yüzdelik olarak Şekil 5.1’de gösterilmektedir. Tedarik edilen kum, kırma kum, çimento ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı ve taş ocağından kullanılan ANFO, dinamit ve kapsül maliyetleri, toplam maliyetin %77’ini oluşturmaktadır. Taşımaya harcanan mazot miktarı toplam maliyetin %10’nuna, kullanılan makinelerin elektrik maliyeti toplam maliyetin %8’ini, makinelerin mazot maliyeti toplam maliyetin %4’ünü ve toplam maliyetin %1’lik kısmı kullanılan suyu oluşturmaktadır.

■ Malzeme ■ Enerji (Elektrik) ■ Enerji (Yakıt) ■ Taşıma ■ Su



Şekil 5.1 : 1 m³ NB üretiminin malzeme, enerji, taşıma ve su olarak maliyet analizi yüzdeleri (%).

5.2 Geri Dönüştürülmüş Agregalı Betonun Maliyet Analizi

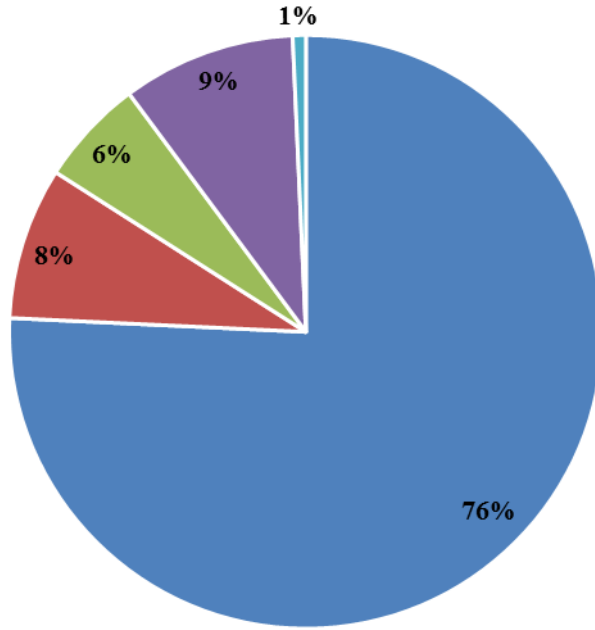
Çizelge 5.2’de 1 m³ GDAB üretiminde kullanılan her girdi için, hesaplanan toplam maliyet değerleri ve bu değerlerin toplam maliyete olan katkısı verilmiştir. Görüldüğü üzere, maliyete en yüksek katkısı olan parametreler, beton üretimi için kullanılan çimento (%61,3), geri dönüşüm tesisinde kullanılan elektrik (%6,2), agrega no:2 (%4,6), ve süper akışkanlaştırıcı (%4) malzemesidir.

Çizelge 5.2 : 1 m³ GDAB üretiminin maliyet analizi.

Proses	Parametre	Fiyat (TL)	Toplam Maliyet Katkısı(%)
Bina Yıkımı	Mazot (ekskavatör)	17,77	3,7
	Mazot (taşıma)	1,06	0,2
Geri Dönüşüm Tesisi	elektrik (kırıcı)	29,46	6,2
	su (iş yeri)	1,92	0,4
	Mazot (makineler)	9,81	2,1
	Mazot (taşıma-GDA)	9,5	2,0
	Agrega No:2	21,9	4,6
	Kırma kum	18,54	3,9
Beton Santrali	Kum	9,6	2,0
	Çimento	291	61,3
	Süper akışkanlaştırıcı	19,11	4,0
	Su	1,23	0,3
	Elektrik	9,73	2,1
	Mazot(Agrega No:2)	9,78	2,1
	Mazot (taşıma - Kırma kum)	8	1,7
	Mazot (taşıma - Kum)	9,8	2,1
	Mazot (taşıma - Süper akışkanlaştırıcı)	0,117	0,02
	Mazot (taşıma -Çimento)	6,1	1,3
	Toplam	474,427	100

1 m³ GDAB üretiminin maliyeti, kullanılan malzeme, mazot ve elektrik olarak harcanan enerji, taşıma ve su miktarları yüzdelik olarak analiz edilmektedir(Şekil 5.2). Tedarik edilen agrega no:2, kum, kırma kum, çimento ve süper akışkanlaştırıcı kullanımı, toplam maliyetin %76'sini oluşturmaktadır. Taşımaya harcanan mazot miktarı toplam maliyetin %9'nuna, kullanılan makinelerin elektrik maliyeti toplam maliyetin %8'i, makinelerin mazot maliyeti toplam maliyetin %6'sı ve toplam maliyetin %1'lik kısmı kullanılan suyu oluşturmaktadır.

■ Malzeme ■ Enerji (Elektrik) ■ Enerji (Yakıt) ■ Taşıma ■ Su



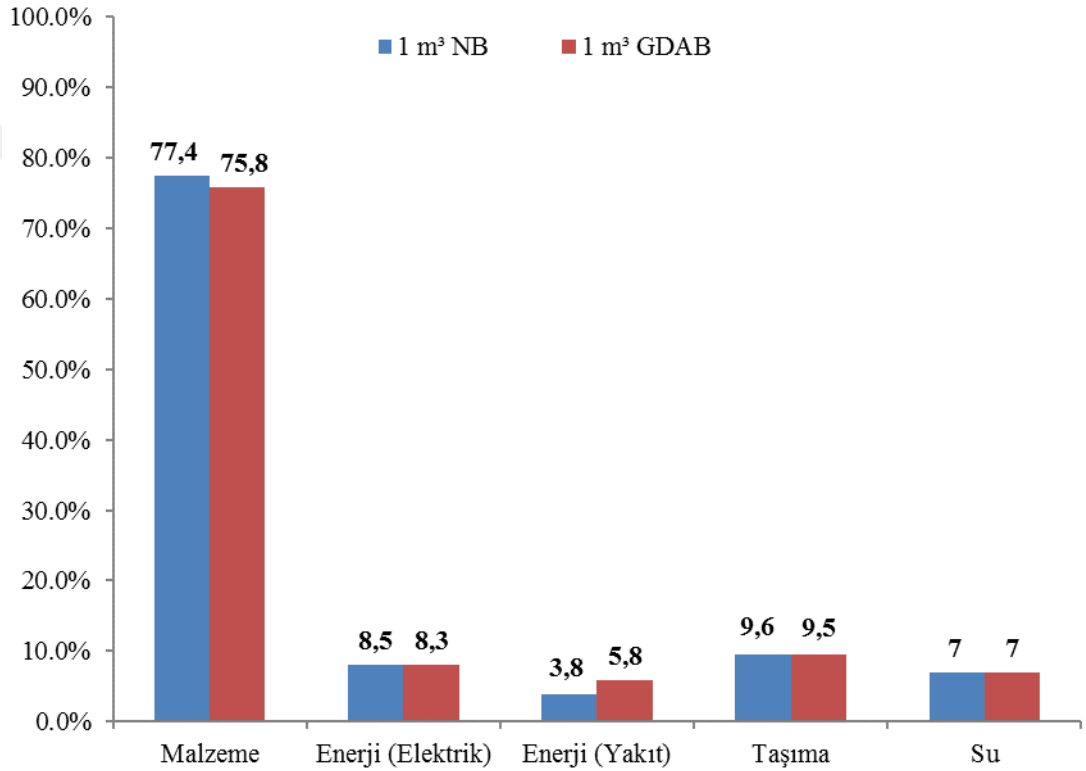
Şekil 5.2 : 1 m³ GDAB üretiminin malzeme, enerji, taşıma ve su olarak maliyet analizi yüzdeleri (%).

5.3 NB ve GDAB Üretiminin Karşılaştırmalı Maliyet Analizi

1 m³ GDAB ve NB üretiminin toplam maliyet miktarına bakıldığında GDAB'nun 11,68 TL fark ile daha maliyetli olduğu tespit edilmektedir. Bunun nedeni GDAB üretiminde kullanılan doğal agreganın (agrega no:2) üretim ve taşıma maliyetidir.

Şekil 5.3'te 1 m³ NB ve GDAB üretiminin, kullanılan malzeme, mazot ve elektrik olarak harcanan enerji, taşıma ve su miktarlarının maliyeti yüzdelik olarak karşılaştırılmaktadır. İki betonun malzeme maliyetine bakıldığında, malzeme maliyetinin toplam maliyete katkısının NB üretimi için %77,4, GDAB üretimi için ise %75,8 olduğu görülmektedir. Bu fark NB üretiminin malzeme maliyetinde kum, kırma kum, çimento ve süper akışkanlaştırıcı dışında taş ocağında kullanılan ANFO, dinamit ve kapsül maliyetlerinin yer almasından kaynaklanmaktadır. NB ve GDAB'nin elektrik maliyetleri aynı olsa da elektrik enerjisinin toplam maliyete katkısı NB için %8,5, GDAB için ise %8,3'tür. Makineler için harcanan mazot maliyetine bakıldığında ise toplam maliyete katkısının GDAB ve NB için sırasıyla %5,8 ve %3,8 olduğu görülmektedir. Bu farklılık GDAB üretiminde bina yıkımında kullanılan ekskavatör ve geri dönüşüm tesisinde kullanılan makineler için harcanan mazottan kaynaklanmaktadır. İki betonun taşıma maliyetine bakıldığında ise NB

üretimindeki taşıma proseslerinin toplam maliyete katkısının %9,6, GDAB üretimindeki taşıma proseslerinin toplam maliyete katkısının ise %9,5 olduğu görülmektedir. Aradaki bu fark NB üretiminde yapı malzemelerinin maliyeti dışında taş ocağında kullanılan ANFO, dinamit ve kapsül taşınım maliyetlerinin eklenmesinden kaynaklanmaktadır. İki betonun su kullanımına bakıldığında, NB üretiminde kırma eleme tesisinde ve beton üretiminde, GDAB üretiminde ise geri dönüşüm tesisi ve beton üretiminde kullanıldığı görülmektedir. ve maliyet açısından incelendiğinde toplam maliyetlere etkisinin aynı olduğu görülmektedir.



Şekil 5.3 : 1 m³ NB ve GDAB üretiminin malzeme, enerji, taşıma ve su olarak maliyet analizi yüzdelerinin karşılaştırılması.



6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Türkiye’de sahadan toplanan gerçek ve kabul edilen veriler üzerine yürütülen bu araştırmada, %50 GDA ve %50 DA içeriğine sahip GDAB üretiminin çevresel etkileri YDD metodu ile değerlendirilmiştir.

Aşağıda, 1 m³ GDAB üretiminin yaşam döngüsündeki çevresel etkileri, 1 m³ NB üretiminin ve seçilen literatür çalışmalarının çevresel etkileri ile karşılaştırıp analizleri özetlenmiştir.

AETP değeri 0,000415 kg Sb eşd’dir. AETP etki kategorinin %98’i çimento üretiminden, %1 süper akışkanlaştırıcı kullanımından kaynaklanmaktadır. Diğer proseslerin katkı yüzde değerleri %1’in altındadır. GDAB üretiminin AETP değeri, NB üretiminin AETP değerinden %3 azdır. Bu fark, NB üretiminde kullanılan patlayıcının, yenilenemeyen kaynak tüketiminden dolayı kaynaklanmaktadır. Seçilen literatür çalışmalarında AETP etki kategorisi analiz edilmemiştir. Bu nedenle AETP değeri bir literatür verisi ile karşılaştırma yapılamamıştır.

AFTPf değeri 1440 MJ’dür. AFTPf etki kategorinin %62’si çimento üretiminden, %15’i kırma kum üretiminden %10 ise taşımadan kaynaklanmaktadır. GDAB üretiminde doğal agrega miktarı ve taşıma mesafesi, NB üretimine göre az olması, ATPf değerinde %6’lık az etki gösterir. Seçilen literatür çalışmalarının ve GDAB üretiminin çevresel etki sonuçları incelendiğinde, GDAB üretiminden elde edilen AFTPf değeri, Marinković ve diğ. (2010) çalışmasındaki ATPf değerine en yakındır.

AP değeri 0,516 kg SO₂ eşd’dir. AP etki kategorisini en çok etkileyen prosesler sırasıyla çimento üretimi (%74), taşıma (%9), kırma kum üretimi (%8) ve agrega no:2 üretimi (%3) olarak sıralanmaktadır. GDAB ve NB üretiminde elektrik tüketimine bakıldığında, GDAB tüketiminin az miktarda olması AP değerinde %12 daha az etki göstermesini sağlamaktadır.

1 m³ GDAB üretiminden elde edilen AP değerinin literatürde incelenen GDAB üretim çalışmalarına göre düşük seviyede olduğu görülmüştür. Bunun sebebi Marinković ve diğ. (2010), Marinković ve diğ. (2014) ve Imtiaz ve diğ. (2021)

alışmasında kullanılan imento miktarının, bu çalışmadaki GDAB üretimine göre daha fazla kullanılması neden gösterilmektedir.

ÖP değeri 0,29 kg PO₄⁻³ eşd'dir. ÖP etki kategorisinin %75'i süper akışkanlaştırıcı kullanımından, %19'u imento üretiminden, %4'ü taşımadan kaynaklanmaktadır. GDAB üretiminde kullanılan süper akışkanlaştırıcının miktarı NB üretimindeki miktardan fazla olması, GDAB üretiminin ÖP değerini %1 oranda arttırmıştır.

1 m³ GDAB üretiminin ÖP değeri, literatürde incelenen Marinković ve diğ. (2010) ve Marinković ve diğ. (2014) alışmasındaki 1 m³ GDAB üretiminin ÖP değerine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görölmüştür. Bunun sebebi, Marinković ve diğ. (2010), Marinković ve diğ. (2014) alışmalarında süper akışkanlaştırıcı kullanılmamaktadır. Imtiaz ve diğ. (2021) alışmasında ise ÖP değerinin daha düşük olduğu görölmektedir. Bunun sebebi ise, Imtiaz ve diğ. (2021) alışmasında kullanılan süper akışkanlaştırıcı içeriğinin farklı olma durumu ÖP değerinde bu farklılığı görmemize neden olmuştur.

TCETP değeri 0,427 kg DCB eşd'dir. TCETP etki kategorisinin %70'i imento üretimi, %20'si ise kırma kum üretimi, %3'ü agrega no:2 üretimini oluşturmaktadır. GDAB ve NB üretiminin TCETP değerleri kıyaslandığında, GDAB üretiminde kullanılan doğal agreganın az miktarda olması, GDAB'nin TCETP değerinde %6'lık daha az çevresel etki sağlamaktadır.

1 m³ GDAB üretiminin TCETP değeri literatürde incelenen Imtiaz ve diğ. (2021) alışmasının 1 m³ GDAB üretiminin TCETP değerine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görölmektedir. Bunun sebebi ise, Imtiaz ve diğ. (2021) alışmasında kullanılan imento türünün farklı olmasıdır. Bu alışmadaki GDAB üretiminde kullanılan imento, Portland imento CEM I 42,5 R'dir. Imtiaz ve diğ. (2021) alışmasında kullanılan imento, Portland imento CEM II/A-LL 42,5 R'dir. Portland imento CEM I 42,5 R içeriğinde % 95'ten fazla klinker, %5 minör ilave bileşenler içermektedir. Portland imento CEM II/A-LL 42,5 R içeriğinde %80-94 klinker, %6-20 kalker içermektedir. Bu iki imento içerik ve üretiminden gelecek emisyonların TCETP değerinde farklılık gösterdiği düşünölmektedir.

KIP değeri 292 kg CO₂ eşd'dir. KIP etki kategorisinin %86'sı imento üretiminden, %6'sı kırma kum üretiminden, %4'ü taşımadan kaynaklanmaktadır. GDAB ve NB üretiminin KIP değerleri incelendiğinde, toplam taşıma GDAB üretiminde az olması,

KIP değerinde %3'lük azalma göstermetedir. Seçilen literatür çalışmalarının ve GDAB üretiminin çevresel etki sonuçları incelendiğinde, 1 m³ GDAB üretiminden elde edilen KIP değeri Marinković ve dię. (2010) çalışmasının KIP değerine en yakındır.

OTTP değeri 0,0000000217 kg CFC₁₁ eşd'dir. OTTP etki kategorisinin %93'ü taşımadan, %4'ü çimento üretiminden, %2'si süper akışkanlaştırıcı kullanımından kaynaklanmaktadır. GDAB ve NB üretiminin çevresel etkilerine bakıldığında en büyük fark (%92) OTTP etki kategorisinde görölmektedir. Bu farkın en büyük nedeni NB üretiminde kullanılan patlayıcıdır. Seçilen literatür çalışmalarında OTTP etki kategorisi analiz edilmemiştir. Bu nedenle OTTP değeri bir literatür verisi ile karşılaştırma yapılamamıştır.

FOOP değeri 0,0526 kg C₂H₄ eşd.'dir FOOP etki kategorisinin %80'i çimento üretiminden, %8'i taşımadan ve kırma kum üretiminden kaynaklanmaktadır. üretiminin FOOP değerleri kıyaslandığında, GDAB üretiminde kullanılan doğal agreganın miktarı ve taşımanın az olması, GDAB'nin FOOP değerinde %8'lik daha az çevresel etki sağlamaktadır. Seçilen literatür çalışmalarının ve GDAB üretiminin çevresel etki sonuçları incelendiğinde, 1 m³ GDAB üretiminden elde edilen FOOP değeri Marinković ve dię. (2014) çalışmasının FOOP değerine en yakındır.

KETP değeri 0,643 kg DCB eşd.'dir. KETP etki kategorisinin %85'i çimento üretiminden, %10'u kırma kum üretiminden, %2'isi ise kum üretiminden kaynaklanmaktadır. GDAB ve NB üretiminin KETP değerlerine bakıldığında, GDAB üretiminde kullanılan doğal agreganın az miktarda olması, GDAB'nin KETP değerinde %9'luk daha az çevresel etki sağlamaktadır.

TCETP değerinde görölen değer farkı sebebi KETP'de de görölmüştür. 1 m³ GDAB üretiminin KETP değeri literatürde incelenen Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasının 1 m³ GDAB üretiminin KETP değerine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görölmektedir. Bunun sebebi ise, Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan çimento türünün farklı olma durumu KETP değerinde bu farklılığı görmemize neden olmaktadır.

1 m³ GDAB üretiminin çevresel etki sonuçlarında önemli katkısı olan prosesleri daha ayrıntılı incelemek adına, mevcut duruma alternatifleri belirlenerek çevresel etkilerin azaltılması için öneriler getirilmesi amacıyla iki senaryo oluşturulmuştur.

Birinci senaryoda geri dönüşüm tesisi yerine bina yıkımı yerinde mobil kırıcı kullanılarak 1 m³ GDAB üretiminde taşımanın çevresel incelenmektedir.

Bu senaryonun çevresel etki sonuçlarına bakıldığında AETP'nin % 0,02 ATPf'nin %0,083, AP'nin %0,25 , ÖP'nin %0,05, TCETP'in %0,9, KIP'in %0,08, OTTP'nin %1, FOOP'un %0,2 ve KETP'in %0,2 azaldığı gözlemlendi. Sözü edilen senaryoda, mobil kırıcı kullanımı, geri dönüşüm tesisine nazaran daha az emisyon gerçekleştirdiği saptanmaktadır. Mobil kırıcı ile taşıma mesafesinin azaltılması, en çok etkilenen OTTP etki kategorinde %1'lik fark oluşturmaktadır. Tüm etki kategorilerindeki farkın küçük olması bu çalışmadaki taşımanın çevresel etkisinin, çimento ve kırma kum üretiminin oluşturduğu etkiden az olduğu belirlenmiştir.

Bir diğer senaryoda farklı bir süper akışkanlaştırıcı kullanılarak GDAB üretiminin çevresel etkileri incelenmektedir.

Bu senaryoda elde edilen çevresel etkilere bakıldığında AETP'nin % 0,5 ATPf'nin %0,1, AP'nin %0,4 , ÖP'nin %74,5, KIP'in %0,3 ve OTTP'nin %2,2 azaldığı, FOOP'un ise %5,3 arttığı saptanmaktadır. Senaryoda kullanılan süper akışkanlaştırıcı kullanımı, bu çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcıya nazaran daha az emisyon gerçekleştirdiği saptanmaktadır. En büyük fark %74,5 ile ÖP etki kategorisinde görüldü. ÖP'deki bu farkın nedeni, bu çalışmadaki ÖP'yi en çok etkileyen süper akışkanlaştırıcı içeriği ile senaryoda kabul edilen süper akışkanlaştırıcının içerik bakımından farklı olması düşünülmektedir. FOOP'taki artış nedeni senaryoda kabul edilen süper akışkanlaştırıcının üretimi sırasında havaya verilen inorganik emisyonun artmasıdır.

1 m³ NB üretimin çevresel etkileri incelendiğinde, AETP, ATPf, AP, TCETP, KIP, FOOP ve KETP çevresel etki kategorilerinde çimento üretimi en büyük etkiye sahip olduğu görülmektedir. NB üretiminde yaşam döngüsündeki çevresel etkileri özetlenecek olursa;

AETP değeri 0,000427 kg Sb eşd'dir. AETP etki kategorisinin %96'sı çimento üretiminden, %2'si patlayıcı kullanımından oluşmaktadır. Diğer proseslerin yüzdelik değerleri %1'in altındadır. Seçilen literatür çalışmalarında AETP etki kategorisi analiz edilmemiştir. Bu nedenle AETP değeri bir literatür verisi ile karşılaştırma yapılamamıştır.

AFTPf değeri 1520 MJ'dir. AFTPf etki kategorisinin %58'si çimento üretiminden, %14'ü kırma kum üretiminden %9'u taşımadan kaynaklanmaktadır. NB üretiminden elde edilen AETP değeri, Marinković ve diğ. (2010) çalışmasının 1 m³ NB üretiminin ATPf değerine yakındır.

AP değeri 0,548 kg SO₂ eşd'dir. AP etki kategorisini en çok etkileyen proseslerin katkı yüzdeleri sırasıyla, çimento üretimi (%66), elektrik ve taşıma(%8)'dir. Bu çalışmada elde edilen 1 m³ NB üretiminin AP değeri literatürde incelenen 1 m³ NB üretimi çalışmalarına göre düşük seviyede olduğu görülmektedir. Bunun sebebi Marinković ve diğ. (2010), Marinković ve diğ. (2014) ve Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan çimento miktarının, bu çalışmadaki NB üretimine göre daha fazla kullanılmasıdır.

ÖP değeri 0,28 kg PO₄⁻³ eşd'dir. ÖP etki kategorisinin %70'i süper akışkanlaştırıcı kullanımından, %19'u çimento üretiminden, %4'ü taşımadan oluşmaktadır. Bu çalışmanın 1 m³ NB üretiminin ÖP değeri literatürde incelenen Marinković ve diğ. (2010) ve Marinković ve diğ. (2014) çalışmasından incelenen 1 m³ NB üretiminin ÖP değerinden daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, Marinković ve diğ. (2010) ve Marinković ve diğ. (2014) çalışmalarında süper akışkanlaştırıcı kullanılmamaktadır. Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında ise ÖP değerinin daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise, Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan süper akışkanlaştırıcı içeriğinin farklı olma durumu ÖP değerinde bu farklılığı görmemize neden olmaktadır.

TCETP değeri 0,4505 kg DCB eşd'dir. TCETP etki kategorisinin %65'i çimento üretiminden, %19'si ise kırma kum üretiminden, %9'u agrega üretiminden kaynaklanmaktadır. 1 m³ NB üretiminin TCETP değeri literatürde incelenen Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasının 1 m³ NB üretiminin TCETP değerine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise, Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan çimento türünün farklı olmasıdır. Bu çalışmadaki NB üretiminde kullanılan çimento, Portland çimento CEM I 42,5 R'dir. Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan çimento, Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R'dir. Portland çimento CEM I 42,5 R içeriğinde % 95'ten fazla klinker, %5 minör ilave bileşenler içermektedir. Portland çimento CEM II/A-LL 42,5 R içeriğinde %80-94 klinker, %6-20 kalker içermektedir. Bu iki çimento içerik ve üretiminden gelecek emisyonların TCETP değerinde farklılık gösterdiği düşünülmektedir.

KIP değeri 300 kg CO₂ eşd'dir. KIP etki kategorisinin %84'ü çimento üretiminden, %3'ü agrega üretiminden ve taşımadan kaynaklanmaktadır. 1 m³ NB üretiminden elde edilen KIP değeri Marinković ve diğ. (2010) çalışmasının KIP değerine yakındır.

OTTP değeri 0,0000000263 kg CFC₁₁ eşd'dir. OTTP etki kategorisinin %92'si patlayıcı kullanımından, %8'i taşımadan oluşmaktadır. Diğer proseslerin yüzdelik değerleri %1'in altındadır. Seçilen literatür çalışmalarında OTTP etki kategorisi analiz edilmemiştir. Bu nedenle OTTP değeri bir literatür verisi ile karşılaştırma yapılamamıştır.

FOOP değeri 0,0569 kg C₂H₄ eşd.'dir FOOP etki kategorisinde çimento üretiminin %74'lük, kırma kumun, taşıma ve agrega üretiminin %7'lik katkıları vardır. 1 m³ NB üretiminden elde edilen FOOP değeri Marinković ve diğ. (2010) çalışmasının FOOP değerine yakındır.

KETP değeri 0,703 kg DCB eşd.'dir. KETP etki kategorisinin %78'i çimento üretiminden, %9'u agrega ve kırma kum üretiminden kaynaklanmaktadır. TCETP değerinde görülen değer farkı sebebi KETP'de de görülmüştür. 1 m³ NB üretiminin KETP değeri literatürde incelenen Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasının 1 m³ NB üretiminin KETP değerine göre daha yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir. Bunun sebebi ise, Imtiaz ve diğ. (2021) çalışmasında kullanılan çimento türünün farklı olma durumu KETP değerinde bu farklılığı görmemize neden olmaktadır.

1 m³ GDAB için hazırlanan süper akışkanlaştırıcı senaryosu 1 m³ NB üretimi içinde modellenerek, NB üretiminin çevresel etkileri incelenmektedir.

Bu senaryo sonucunda elde edilen çevresel etkilere bakıldığında AETP'nin % 0,4 ATP'nin %0,2, AP'nin %0,3 , ÖP'nin %69,6, KIP'nin %0,3 ve OTTP'nin %0,2 azaldığı , FOOP'nin ise %0,2 arttığı saptanmıştır. Sözü edilen senaryoda kullanılan süper akışkanlaştırıcı kullanımı, bu çalışmada kullanılan süper akışkanlaştırıcıya nazaran daha az emisyon gerçekleştirdiği saptanmaktadır. En büyük fark değeri %69,6 ile ÖP etki kategorisindedir. ÖP değerindeki bu farkın nedeni, bu çalışmadaki ÖP etki kategorisini en çok etkileyen süper akışkanlaştırıcı ile senaryoda kabul edilen süper akışkanlaştırıcının içerik bakımından farklı olması düşünülmektedir. FOOP'deki artış nedeni ise senaryoda kabul edilen süper akışkanlaştırıcının üretimi sırasında havaya verilen inorganik emisyonun artmasıdır.

1 m³ GDAB ve NB üretiminin çevresel etkileri değerlendirilip karşılaştırılmasına ek olarak, NB ve GDAB'nin sadece çevresel etkilerinin hesaplanmasında dikkate alınan madde ve enerji girdileri dikkate alınarak basit bir maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Yapılan analiz sonucunda 1 m³ GDAB ve NB toplam maliyet hesabına bakıldığında GDAB'nin 11,68 TL fark ile daha maliyetli olduğu tespit edilmektedir. Bunun nedeni GDAB üretiminde kullanılan doğal agreganın (agrega no:2) üretim ve taşıma maliyetidir.

İYA'nın GDAB üretiminde kullanılması durumunda oluşacak çevresel etkiler bir örnek olay çalışması oluşturularak YDD yöntemi ile hesaplanmış ve NB üretimi için gerekli hesaplamalar da yapılarak karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. GDAB üretiminde taşıma mesafelerinin ve kullanılan süper akışkanlaştırıcı malzemenin değiştirilmesiyle çevresel etkilerin azaltılabileceği belirlenmiştir. Bunun yanı sıra, çalışmada NB ve GDAB üretiminin çevresel etkisini en çok etkileyen prosesin çimento üretimi olduğu görülmektedir. Bu nedenle çimento üretiminden gelecek çevresel etkileri azaltmak amacıyla kullanılan çimento alternatifi malzemelerle yapılan GDAB'nin çevresel etkilerinin de ayrıca sonraki çalışmalarda incelenmesi önerilmektedir.

Ayrıca, ekonomik sürdürülebilirlik açısından bir çıkarsama yapabilmek için, gerçekleştirilen maliyet çalışmasında ele alınmayan tüm maliyetleri (işçilik, ekipman, vb.) ve tüm yaşam döngüsü aşamalarındaki maliyetleri de içerecek şekilde gerçekleştirilmesi ile ilgili çalışmaların da yapılması önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akça, K. R.** (2014). *Kentsel Dönüşüm Sürecinde İnşaat Atık Molozlarının Geri Kazanılması*. (Yüksek lisans tezi). Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Avrupa Çevre Ajansı.** (2008). Effectiveness of environmental taxes and charges for managing sand, gravel and rock extraction in selected EU countries
- Aygenç, M.** (2019). *LEED yeşil bina sertifikasyonlu bina için iki farklı yazılım ile yaşam döngüsü analizi*. (Yüksek lisans tezi). Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, ANKARA.
- Demirer, G.** (2011). *Yaşam Döngüsü Analizi (LCA) ve Uygulama Örnekleri*. Çevre Alanında Kapasite Geliştirme Projesi Entegre Ürün Politikaları ve Sürdürülebilir Kaynak Yönetimi, Bölgesel Çevre Merkezi, REC Türkiye, İstanbul.
- Dias, A., Nezami, S., Silvestre, J., Kurda, R., Silva, R., Martins, I., & de Brito, J.** (2022). *Environmental and economic comparison of natural and recycled aggregates using LCA*. Recycling, 7(4), 43.
- European Commission (EC).** (2018). *A Clean Planet for all A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy*.
- Göksu, C., Akkaya, Y., Sarıbaş, I., İlki, A.,** (2018). *Geri Dönüştürülmüş Agregalar İle Elde Edilen Betonun Mekanik Özellikleri*. Actual Problems in Manufacturing Building Materials and Ways of Their Solution, October 26, Baku.
- Gümüşsoy, M.** (2019). *Geri Dönüştürülmüş Agregaların Harç Özelliklerine Etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, BARTIN.
- Imtiaz, L., Rehman, S., Alaloul, W., Nazir, K., Javed, M., Aslam, F., Musarat, M.,** (2021). *Life Cycle Impact Assessment of Recycled Aggregate Concrete, Geopolymer Concrete, and Recycled Aggregate-Based Geopolymer Concrete*. Sustainability, 13, (1-19).
- ISO 14040.** (2006). Environmental management – life cycle assessment – principles and framework, International Organization for Standardization.
- Karadayı, T., Coşgun, N.,** (2021). *Betonun Yaşam Döngüsü Sürecinde Çevresel Etkilerini Azaltan Yaklaşımlar*. Sürdürülebilir Çevre Dergisi, 1(1),1–6.
- Marinković, S.** (2013). *Life cycle assessment (LCA) aspects of concrete*. Woodhead Publishing Limited, 45–80.

- Marinković, S., Malešev, M., Ignjatović, I.** (2014). *Life cycle assessment (LCA) of concrete made using recycled concrete or natural aggregates*. Woodhead Publishing Limited, 239–266.
- Marinković, S., Radonjanin V., Malešev, M., Ignjatović, I.** (2010). *Comparative environmental assessment of natural and recycled aggregate concrete*, Waste Man, 30(11),2255–2264.
- Rosado, L., Vitale, P., Penteado, C.** (2017). Life cycle assessment of natural and mixed recycled aggregate production in Brazil, *Journal of Cleaner Production*, 151,634-642.
- Ryden, M.** (2015). Impact of different concrete types on the LCA of NCC Composite bridge.
- Sefidehkhan, H. P.** (2017). *Geri Dönüşüm Agregası İle Üretilmiş Betonun Mühendislik Özelliklerinin İncelenmesi*. (Yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ANKARA.
- Sönmez, C.** (2019). *Ahşap Kaplama Betonarme Bir Yapının Yapım Ve Yaşam Sonu Aşamalarının Çevresel Etkileri*. (Yüksek lisans tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İstanbul.
- TS 500** (2000). *Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları*. Türk standardı,(1),11.
- Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ).** (2021). Türkiye Elektrik Üretim – İletim 2020 Yılı İstatistikleri.
- Türkiye Hazır Beton Birliği (THBB).** (2022). *Hazır Beton Sektör Raporu 2021*.
- Url-1**<<https://www.thbb.org/media/563130/2021-haz%C4%B1r-beton-sekt%C3%B6r-raporu-28-subat-2022.pdf>>, Erişim tarihi 13.10.2022.
- Url-2**<<https://fibointercon.com/business-cases/recycled-concrete-buildings/>>, Erişim tarihi 15.10.2022.
- Url-3**<[file:///C:/Users/%C3%96ZGE/Downloads/EFCA-model-EPD_plasticisers_superplasticisers_final_2021-09-13%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/%C3%96ZGE/Downloads/EFCA-model-EPD_plasticisers_superplasticisers_final_2021-09-13%20(1).pdf)>, Erişim tarihi 10.09.2022
- Url-4**<https://www.epd-norge.no/getfile.php/139246-1534156839/EPDer/Byggevarer/NEPD-1591-615_Bulk-emulsion-explosives--Civec-Control-Centra-Gold-100S-Fortis-Advantage-100S-and-Subtek-Velcro.pdf>, Erişim tarihi 10.09.2022
- Url-5**<https://www.wirtgen-group.com/binary/full/o17775v101_Datasheet_kleemann_MR_122Z_tr.pdf>, Erişim tarihi 12.10.2022
- Url-6**<https://finnsementti.fi/wp-content/uploads/EFCA-model-EPD_plasticisers_superplasticisers_final_2026-12-15.pdf>, Erişim tarihi 7.10.2022
- Url-7**<<https://www.turkcimento.org.tr/index.php?page=icerikgoster&menuID=54>>, Erişim tarihi 18.10.2022
- Url-8**<<https://webdosya.csb.gov.tr/db/yfk/icerikler/bf-2022-3-turkce-20220907143000.pdf>>, Erişim tarihi 23.11.2022
- Url-9**<<https://www.iski.istanbul/web/tr-TR/musteri-hizmetleri/su-birim-fiyatlari1>>, Erişim tarihi 23.11.2022

Xing, W., Tam, V., Le, K., Hao, Jian., Wang. Jun (2022). *Life cycle assessment of recycled aggregate concrete on its environmental impacts: A critical review*. Construction and Building Materials, 317, (1-14).

Zhao M., Gong X., Shi F., Fang M. (2013). Life Cycle Assessment of Ready-mixed Concrete.





ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Özge BABALIK

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü