

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUĞLA VE GABZETON YAPI MALZEMELERİNİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ
ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI BİR ANALİZ

SİNAN İRİŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

GEBZE
2019

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TUĞLA VE GABZETON YAPI MALZEMELERİNİN
SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI
BİR ANALİZ

SİNAN İRİŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANA BİLİM DALI

DANIŞMANI
DR. ÖĞR. Ü. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

GEBZE

2019

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**A COMPARATIVE ANALYSIS OF FIRED CLAY BRICK
AND AUTOCLAVED AERATED CONCRETE IN
TERMS OF SUSTAINABILITY**

SİNAN İRİŞ
**A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF ARCHITECTURE**

THESIS SUPERVISOR
ASSIST. PROF. DR. SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

GEBZE
2019



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 26/06/2019 tarih ve 2019/26 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 24/07/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Sinan İRİŞ'in tez çalışması Mimarlık Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : DR. ÖĞR. ÜYESİ SANİYE KARAMAN ÖZTAŞ

ÜYE

: PROF. DR. TÜLAY TIKANSAK KARADAYI

ÜYE

: DOÇ. DR. SONAY AYYILDIZ

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Günümüzde hızlı nüfus artışı ve inşaat ihtiyacına talep sonucunda meydana gelen çevre sorunları, dünyada büyük bir etkiye sahip olmaktadır. Bu sorunların önemli bir kısmı, yapıli çevrede kullanılan malzemelerin doğru seçilememesinden kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada öncelikle yeşil bina sertifika sistemleri, yapı malzemesi kategorisi başlığı altında literatür çalışması yapılarak incelenmiştir. Çalışmanın esas amacı; Türkiye’de üretilen ve dış duvarlarda yaygın olarak kullanılan geleneksel yapı malzemesi olarak pişmiş tuğla ile çağdaş yapı malzemesi gazbetonun çevresel etkilerini, belirlenen çevresel etki kategorileri açısından değerlendirmektir. Çalışmanın kapsamı, hammaddenin çıkarılmasından fabrika kapısına kadar olan süreci içeren “beşikten kapiya” olarak tanımlanmıştır. Yapı malzemelerinin çevresel değerlendirilmesinde fonksiyonel birim olarak 1 m³ pişmiş tuğla ve 1 m³ gazbeton blok kullanılmıştır. Alan çalışması kapsamında; pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin Türkiye’deki mevcut durumunu incelemek için Gebze’de bulunan üretim tesislerinde tüketilen hammadde, enerji, su ile atıklar değerlendirilmiştir.

Elde edilen veriler doğrultusunda, gazbeton yapı malzemesinin ana hammaddesi olan çimento, kireç gibi malzemelerin üretim süreçlerinin enerji yoğun işlem gerektirmesi sonucunda, gazbeton hammaddesinin elde edilmesi sürecinin çevresel etkisinin pişmiş tuğlanın hammadde elde edilme sürecine göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır. Pişmiş tuğlanın ise kurutma ve pişirme sürecinde kullanılan kömür yakıtının yüksek oranda olması nedeniyle üretim sürecinin çevresel etkisinin gazbeton üretim sürecine göre daha fazla olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sürdürülebilir Yapı Malzemeleri, Çevresel Ürün Deklarasyonu, Pişmiş Tuğla, Gazbeton.

SUMMARY

Today, environmental problems have a great impact as a result of rapid population growth and construction demand in the world. An important part of these problems are due to incorrectly select the materials used in the built environment.

In this study, the green building certification systems were firstly researched based on literature about building material category. The main aim of the study is to determine the environmental impacts of fired clay brick and aerated concrete building materials produced in Turkey. The scope of the study is limited to "cradle to gate". 1 m³ brick and 1 m³ aerated concrete block were used as a functional unit in the environmental assessment of the building materials. Within the scope of the case study; to examine the current situation of brick and autoclaved aerated concrete in Turkey; raw materials, energy, water and waste consumptions were evaluated considering the production plants in Gebze/Kocaeli.

In the light of the data obtained, as a result of the energy intensive process of the production processes of materials such as cement and lime, which is the main raw material of gas aerated concrete building material, environmental impact is higher in the process of obtaining autoclaved concrete raw materials than fired clay brick, it is concluded that the production process has a negative impact on the environment due to the high rate of coal fuel used in the drying and firing process of the fired brick.

Key Words: Sustainable building materials, Environmental Product Declaration, Fired clay brick, Autoclaved Aerated Concrete.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca, bilgi ve deneyimlerini esirgemeyen, gösterdiği sabır ve hoşgörüsüyle destek olan değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Saniye KARAMAN ÖZTAŞ'a çok teşekkür ederim.

Tez çalışmamın son haline gelmesi için katkı sağlayan değerli jüri üyeleri hocalarım Prof. Dr. Tülay TIKANSAK KARADAYI'ya ve Doç. Dr. Sonay AYYILDIZ'a çok teşekkür ederim.

Bu süreçte beni her zaman destekleyip yanımda olan ve sabrını eksik etmeyen sevgili eşime ve çocuklarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
TABLolar DİZİNİ	xv
1. GİRİŞ	1
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİ	4
2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi	12
2.2. Çevresel Ürün Bildirgesi (Environmental Product Declaration, EPD)	18
2.3. Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Seçim Kriterleri	23
2.3.1. Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinde Yapı Malzemesi Kategorisi	29
2.3.1.1. BREEAM	31
2.3.1.2. LEED	33
2.3.1.3. Green Star	35
2.3.1.4. CASBEE	36
2.3.1.5. Living Building Challenge	37
2.3.1.6. ÇEDBİK Konut Sertifikası	39
2.4. Bölüm Sonucu	42
3. PIŞMIŞ TUĞLA VE GAZBETONUN BEŞİKTEN KAPIYA ÜRETİM SÜRECİ	46
3.1. Pişmiş Tuğla	47
3.2. Gazbeton	51
4. PIŞMIŞ TUĞLA VE GAZBETON YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ	56

4.1. Çevresel Ürün Deklarasyonu ile Karşılaştırma	57
4.2. Alan Çalışması	62
4.2.1. Pişmiş Tuğla Yapı Malzemesi	63
4.2.1.1. Hammadde Elde Edilmesi	63
4.2.1.2. Nakliye	64
4.2.1.3. Üretim	65
4.2.2. Gazbeton Yapı Malzemesi	69
4.2.1.1. Hammadde Elde Edilmesi	69
4.2.1.2. Nakliye	70
4.2.1.3. Üretim	70
4.2.3. Çevresel Etkilerin Alan Çalışmasına Göre Karşılaştırılması	74
5. SONUÇLAR VE YORUMLAR	83
KAYNAKLAR	87
ÖZGEÇMİŞ	94

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u> <u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklamalar</u>
°C	: Derece
atm	: Atmosfer
cm	: Santimetre
CO	: Karbonmonoksit
CO ₂	: Karbondioksit
kg	: Kilogram
Kj	: Kilojoule
Km	: Kilometre
kWh	: Kilowatt
L	: Litre
m ³	: Metreküp
MJ	: Megajoule
NO _x	: Azotoksit
SO ₂	: Kükürtoksit
t	: Saat
ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADP	: Abiotic Depletion (Fosil Olmayan Kaynaklar Abiyotik Tükenme Potansiyeli)
AP	: Acidification Potential (Asidifikasyon Potansiyeli)
BCA	: Building And Construction Authority (Bina ve İnşaat Yetkilisi)
BEAM	: Building Environmental Assessment Method (Bina Çevresel Değerlendirme Yöntemi)
BEES	: Building Environmental and Economical Sustainability (Yapılar için Çevresel ve Ekonomik Sürdürülebilirlik)
BRE	: Building Research Establishment (Yapı Araştırma Kurumu)

BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Building Research Establishment Environmental Assessment)
CML	: The Centre of Environmental Science (Çevre Bilimi Merkezi)
ÇEDBİK	: Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği
ÇÜB	: Çevresel Ürün Bildirgesi
DGNB	: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen eV (Alman Sürdürülebilir Bina Konseyi)
DIN	: Deutsches Institut für Normung (Alman Norm Enstitüsü)
EN	: European Norms (Avrupa Standartları)
EP	: Eutrophication Potential (Ötrifikasyon Potansiyeli)
EPD	: Environmental Product Declaration (Çevresel Ürün Beyanı)
FSC	: Forest Management Council (Orman Yönetim Konseyi)
GBCA	: Green Building Council Australia (Avustralya Yeşil Bina Konseyi)
GREENSPEC	: Green Building Design & Products For Sustainable Construction (Yeşil Bina Tasarımı ve Sürdürülebilir Yapı İçin Ürünler)
GWP	: Global Warming Potential (Küresel Isınma Potansiyeli)
HQE	: High Quality Environment (Yüksek Çevresel Kalite)
ILFI	: International Living Future Institute (Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsü)
ISO	: International Organization For Standardization (Uluslararası Standartlar Kuruluşu)
JaGBC	: Japan Green Building Council (Japonya Yeşil Bina Konseyi)
JSBC	: Japan Sustainable Building Council (Japonya Sürdürülebilir Yapı Konsorsiyumu)
LCA	: Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi)
LCIA	: Life Cycle Impact Assessment (Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi)
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik)
ODP	: Depletion Potential Of The Stratospheric Ozone Layer (Ozon Tüketim Potansiyeli)
PCR	: Product Category Rules (Ürün Kategori Kuralları)

PEFC	: Programme for the Endorsement of Forest Certification (Orman Belgelendirme Onay Programı)
POCP	: Formation Potential Of Tropospheric Ozone Photochemical Oxidants (Troposferik Ozon Oluşum Potansiyeli)
SETAC	: The Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Zehirlenme ve Kimya Derneği)
TSE	: Türk Standartları Enstitüsü
USGBC	: U.S. Green Building Council (Amerikan Yeşil Binalar Konseyi)
VOCs	: Uçucu Organik Bileşikler
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi
YDED	: Yaşam Döngüsü Etki Analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Sürdürülebilirliğin üç ana bileşeni.	5
2.2: Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreci.	14
2.3: Yaşam döngüsü değerlendirmesinin evreleri.	15
2.4: Çevresel ürün beyanı oluşturulması için izlenmesi gereken standartlar.	19
2.5: Yapı malzemeleri için Tip III ÇÜB aşamaları.	21
3.1: Tuğlanın üretim sürecindeki aşamaları.	48
3.2: Gazbeton yapı malzemesinin beşikten kapiya üretim süreci.	52
3.3: Otoklavlama üniteleri.	54
4.1: Pişmiş tuğla ve gazbetonun küresel ısınma potansiyelleri.	59
4.2: Pişmiş tuğla ve gazbetonun asidifikasyon potansiyelleri.	60
4.3: Pişmiş tuğla ve gazbetonun ötrofikasyon potansiyelleri grafiği.	61
4.4: Pişmiş tuğla ve gazbetonun fosil kaynak tüketim potansiyelleri.	61
4.5: a) Hammaddenin çıkarılma aşaması, b) Hammaddenin çıkarıldığı alan.	64
4.6: a) Kil hammaddesinin küçük boyutlara ayrıldığı alan, b) Kil hammaddenin karıştırıldığı alan.	65
4.7: a) Yaş delikli tuğlanın şekillendirildiği vakum pres makinesi, b) Vakum presinden çıkan yaş tuğla.	66
4.8: a) Hoffman fırın dıştan görünüm, b) Hoffman fırın içerisindeki kurutulmuş tuğlalar.	67
4.9: Paketlenmiş tuğlalar.	68
4.10: Kuvarsit taşının öğütüldüğü değirmen alanı.	70
4.11: Gazbeton hammaddesinin kalıplara aktarıldığı alan.	71
4.12: Otaklavlardan çıkan gazbetonu ayırma işlemi.	72
4.13: Gazbeton yapı malzemesinin paketleme ve depolama işlemi.	72
4.14: Yıllık tüketilen hammadde miktarı.	75
4.15: Pişmiş tuğla ve gazbeton üretimi için hammadde elde edilmesi sırasında tüketilen enerji.	75

4.16:	1 m ³ pişmiş tuğla ve gazbeton hammadde eldesi sırasında açığa çıkan CO ₂ miktarı.	76
4.17:	1 m ³ pişmiş tuğla ve gazbeton üretimi sırasında açığa çıkan CO ₂ miktarı.	78
4.18:	1 m ³ pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemesinin üretimi için tüketilen elektrik enerjisi miktarı.	79
4.19:	Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemesinin asitleşme potansiyeli.	79
4.20:	Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin fosil kaynak tüketimi	80
4.21:	Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin depolama alanına taşınması sırasında açığa çıkan CO ₂ .	81
4.22:	Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin paketleme aşamasında kullanılan ahşap palet miktarı.	81
4.23:	Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin paketlenmesi aşamasında tüketilen naylon miktarı.	82

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
1.1: Yapıların çevre kirliliği üzerindeki yüzdesel payları.	1
2.1: Taşıma sırasında açığa çıkan gazlar ve tüketilen enerji miktarı.	8
2.2: Malzemelerin üretimleri için gerekli enerji miktarları.	10
2.3: Kirleticiler ve etkileri.	11
2.4: EN 15804'te tanımlanan farklı yaşam döngüsü aşamaları.	22
2.5: Çevresel ürün bildirelerinde tanımlanan farklı çevresel kategori göstergeleri, etki kategorileri ve eşdeğer birimleri.	23
2.6: Yapı malzemesi değerlendirme sistemleri çevresel etki kategorileri.	28
2.7: BREEAM yeşil bina sertifika sistemi malzeme kategorisi.	32
2.8: LEED yeşil bina sertifika sistemi malzeme kategorisi.	34
2.9: Green Star malzeme kategorisi.	35
2.10: CASBEE malzeme kategorisi.	37
2.11: Living Building Challenge malzeme kategorileri.	38
2.12: ÇEDBİK - Konut sertifikası malzeme kategorisi.	41
2.13: Yeşil bina sertifika sistemlerinde yapı malzemesi kategorileri.	43
4.1: Pişmiş tuğla ve gazbeton'a ait çevresel ürün bildirgesi değerleri.	58
4.2: Alan çalışması sonucunda elde edilen veriler.	73

1. GİRİŞ

Gelişen teknolojiyle birlikte ortaya çıkan çevre sorunları; küresel, bölgesel ve yerel ölçekte birçok etkiye neden olmaktadır. Dünya genelinde tüketilen enerjinin %50'sinin, suyun %42'sinin bina yapım ve kullanım sürecinde harcanmakta olduğu; küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının %50'sinin, içme sularındaki kirlenmenin %40'ının ve hava kirliliğinin %24'ünün yapılarla ilişkili faaliyetlerden kaynaklandığı belirtilmektedir [Köteşli Aydın, 2013].

Dünya üzerinde inşa edilen yapı sayısı her geçen yıl artış göstermektedir. Yapı stokunun artması, doğal kaynaklar ile yenilenemeyen enerji kaynaklarının tüketilmesine ve böylece doğaya salınan zehirli emisyon oranlarının artmasına neden olmaktadır. Küresel enerji tüketiminin yaklaşık % 10'u inşaat malzemeleri üretimi sırasında gerçekleşmektedir [Doan vd., 2017]. Bununla birlikte inşaat sektörü, gelişmiş ülkelerde toplam atığın % 40'ını oluşturan büyük miktarda yıkım atığı üretmektedir [Doan vd., 2017]. Endüstriyel faaliyetler sonucunda her yıl atmosfere yaklaşık 20 milyar ton karbondioksit (CO₂), 100 milyon ton kükürtdioksit (SO₂), 2 milyon ton kurşun ve diğer zehirli kimyasal emisyonlar salınmaktadır [Kumbur vd., 2005].

Tablo 1.1.'de de görüldüğü gibi göre binaların üretimi ve kullanımının doğurduğu olumsuz çevresel sonuçlar sadece atmosfere salınan gazlardan ibaret olmamaktadır [Demirarslan ve Demirarslan, 2017].

Tablo 1.1: Yapıların çevre kirliliği üzerindeki yüzdesel payları.

ÇEVRE KİRLİLİĞİ	YÜZDESEL PAY [%]
Hava Kirliliği	24
İçme Suyu Kirliliği	40
Katı Atıklar	20
Küresel Isınmaya Neden Olan Gazlar	50
CFC/HCFC	50

Yapı üretiminde malzemelerin yüksek miktarlarda üretiliyor olmaları ve dünyada geniş bir alanda kullanılması; yapı malzemelerinin çevresel etkilerini önemli hale getirmektedir [Çamur, 2010]. Yapı malzemelerinin hammaddelerinin doğadan çıkarılması, üretim yerine taşınması, üretimi, stoklanması, yapı alanına taşınması, kullanımı, bakım ve onarımı önemli miktarda enerji tüketimi ile gerçekleşmektedir. Yapı ömrünü tamamladıktan sonra yıkımı, geri dönüştürülmesi, yeniden kullanılması ya da yok olma işlemleri de, bu enerji ihtiyacını büyük boyutta arttırmaktadır [Yılmaz ve Ciravoğlu, 2010]. Gelişmiş ülkelerde binaların yapım ve işletimi sırasında tüketilen enerji, toplam enerji tüketiminin neredeyse yarısına denk gelmektedir [Web 1, 2019].

Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin azaltılmaması sonucunda dünyada olumsuz kalıcı değişimler yaşanacağı ön görülmektedir. Örneğin, küresel ısınmaya bağlı olarak iklim değişikliği nedeniyle 2050 yılına kadar 200 milyona yakın insanın göç etmesi beklenmektedir [Baştanoğlu, 2017].

Yapı sektörü, dünyanın tatlı su kaynaklarının 1/6'sının, kesilen ağaçların 1/4'ünün ve fosil yakıtlar ile üretilen gereçlerin 2/5'inin tüketilmesinden de sorumlu tutulmaktadır [Tuna, 2010]. Yapı sektörü kaynaklı her yıl binlerce hektar tarım arazisi yok edilmekte, su havzaları ve vahşi yaşam alanları bozulmaktadır. Bu olumsuzluklara yapı malzemeleri de çeşitli özellikleriyle katkıda bulunmaktadır. Yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin yaşam döngüleri içerisinde yenilenemeyen hammaddelerden üretilmesi, fosil tabanlı enerji kaynaklarının kullanılması, hava, toprak, su gibi doğal kaynakların verimli kullanılmaması ve üretim sırasında ortaya çıkan atıklar, çevre ve insan sağlığını olumsuz yönde etkilemektedir [Balaras vd., 2005].

Gündeme ilk olarak Brundtland Raporu'yla gelen "sürdürülebilirlik" konusunda uluslararası alanda alınan kararların yürürlüğe konulmasıyla birlikte; küresel ısınma, enerji ve su verimliliği, geri dönüşümlü malzeme kullanımı, çevre sorunları gibi birçok önemli konularda önlemler alınmaya çalışılmıştır [Yanar, 2017]. Günümüzde yapım sektörünün çevresel etkilerini azaltmak amacıyla sürdürülebilir yapı malzemelerinin kullanılması; sürdürülebilir inşaat hedefine ulaşılmasında araştırma ve geliştirmenin ana odağı haline gelmiştir [Ding, 2014]. Bu bağlamda, alternatifleri olabilen yenilenebilir kaynaklara yönelme ve hammadde tüketimini azaltmak için geri dönüştürülebilir ürünlerden kazanılan hammaddenin sisteme yeniden dahil olması önemlidir.

Bu çalışmada, dış duvarlarda yaygın olarak kullanılan ve birbirlerinin alternatifleri olan pişmiş tuğla ve gazbeton duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, öncelikle yeşil bina sertifika sistemlerinde yer alan sürdürülebilir yapı malzemesi kriterleri araştırılmıştır. Belirlenen çevresel etki kategorilerine göre iki malzemenin beşikten kapıya süreci değerlendirilmiştir. Değerlendirmede aynı fonksiyonel birime sahip (1 ton) tuğla ve gaz beton yapı malzemelerine ait Çevresel Ürün Deklarasyonu (EPD) belgelerinden yararlanılmıştır. İkinci değerlendirme yöntemi olarak alan çalışması kullanılmıştır. Türkiye'deki pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzeme üretim tesislerinden üretim süreçleri hakkında çevresel veriler elde edilerek değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilirken fonksiyonel birim olarak 1 m³ pişmiş tuğla ve gazbeton değerleri referans alınmıştır.

Bu çalışmanın mimar ve yapı sektörü paydaşlarına sürdürülebilir duvar yapı malzemesi seçiminde, yapı malzemesi üreticilerine ise ürünlerini çevresel açıdan geliştirmesinde yol gösterici olabileceği düşünülmektedir.

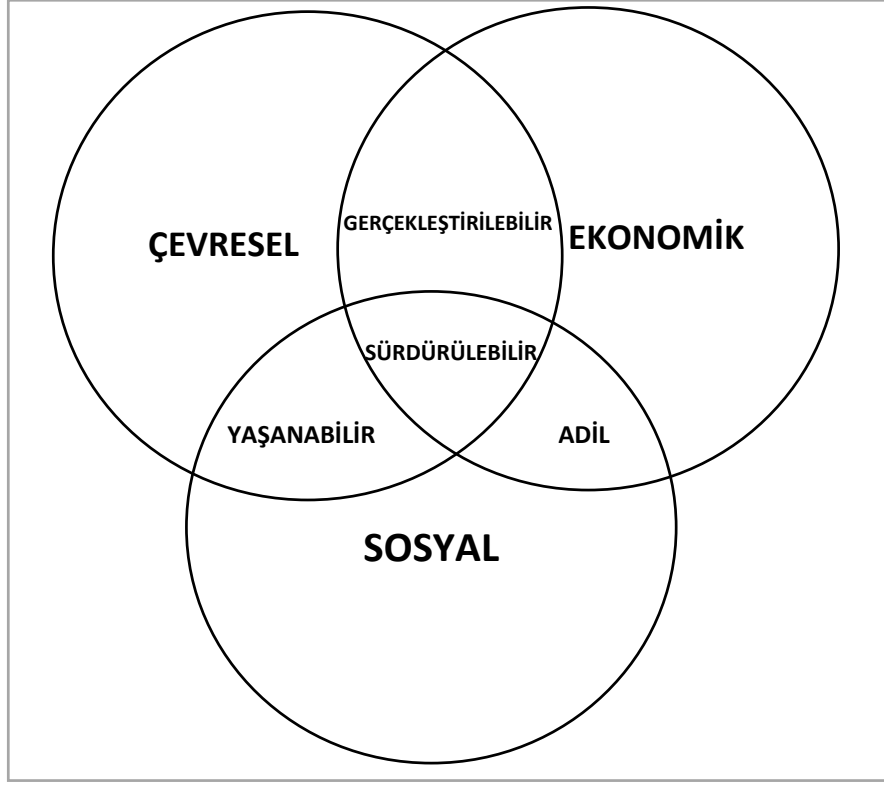
2. SÜRDÜRÜLEBİLİR YAPI MALZEMELERİ

“Sürdürülebilirlik” kavramı 1960’lı yılların başından günümüze kadar, çevrede meydana gelen bozulmalar ve kaynakların kullanımıyla ilgili endişelere cevap olarak kullanılmaktadır. Dünyada nüfusunun hızla artması, sanayileşme, çevre kirliliği, doğal kaynakların sınırlı olması ve azalması, küresel iklim değişikliği, küreselleşmenin getirdiği ekonomik, sosyal ve çevresel sorunlar sürdürülebilirlik kavramının tüm bu sorunlara çözüm olması adına, toplumu yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına yönlendirmekte ve gün geçtikçe daha da önem kazanmasına sebep olmaktadır.

1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu tarafından yayınlanan Brundtland raporunda, gelecek nesillerin kendi ihtiyaçlarını karşılayamama riski olmadan, bugünün ihtiyaçlarını karşılamaları gerektiğini, bunun ise ancak sürdürülebilir gelişim ile mümkün olacağı belirtilmiştir. 1992 yılında Rio de Janeiro’da Birleşmiş Milletler Çevre ve Kalkınma Konferansı’nda 170’ten fazla ülke sürdürülebilir kalkınma konusunda fikir birliğine varmıştır. Sürdürülebilir kalkınma modeli ekolojik, ekonomik ve sosyal kalkınma, ekonomi, çevre ve sosyal konular arasındaki gerilim ile aynı derecede önemlidir. Dünya Doğa Şartı belgesinde 1982 yılında yer alan ve Dünya Doğayı Koruma Birliği tarafından kabul gören sürdürülebilirlik; ekosistem, organizmalar, kara, deniz ve atmosfer kaynaklarının en az seviyede tüketilmesini başarabilecek şekilde yönetilmesi olarak tanımlanmıştır [Tonguç ve Özbayraktar, 2017].

Gölemen’e [2014] göre sürdürülebilirlik, bir şeyin, kendi kaynaklarını bozmadan, kesintiye uğramadan, gelecekte de aynı şekilde devam edeceği ön görülerek dengeli bir biçimde var olması ve devam etmesidir [Gölemen, 2014]. Civan’a göre sürdürülebilirlik esas olarak doğal sistemlerin üretkenliğini ve sağlığını azaltmadan insanların ihtiyaçlarını sağlamaya yönelik bir dengeyi temsil etmektedir [Civan, 2006]. Sürdürülebilirliğin amacı; ekosistemi oluşturan insan ve diğer canlıların varlığını devam ettirmesini garanti altına almak ve doğal kaynakların gelecek kuşaklara aktarılmasını sağlamaktır [İnanç, 2010].

Sürdürülebilirlik, çevresel, ekonomik ve sosyal açıdan istikrarlı bir duruma ulaşmak için sürekli bir sürdürülebilir kalkınma süreci olarak kabul edilmektedir (Şekil 2.1), [Geçim, 2018].



Şekil 2.1: Sürdürülebilirliğin üç ana bileşeni.

Çevresel sürdürülebilirlik; sürdürülebilirliğin çevre üzerindeki etkileri ile ilgili ana bileşendir. Çevresel sürdürülebilirliğin amacı ekosistemin mevcutta bulunan kaynakların korunması değişkenlik gösterecek koşullara göre uyumlu olması ve dengede kalmasıdır.

Ekonomik sürdürülebilirlik; ekonomi açısından kalkınmanın sürdürülebilirliği esasına dayanmaktadır. Üretilen ürünlerde ve hizmetlerde devamlılığın sağlanması ve ekonomik dengenin korunması amaçlanmaktadır.

Sosyal sürdürülebilirlik ise; sosyal olarak insanlara sağlanan hizmetlerin sürdürülebilir bir sistemde adil ve eşit bir düzen sağlanmasını ve yeterli olmasını amaçlamaktadır [Geçim, 2018].

Sürdürülebilir yapının temel amaçlarından biri, kaynakların uzun vadeli bir perspektifte uygun bir şekilde kullanılmasıdır. Bu kaynaklar malzeme, enerji, su ve

topraktır. Binalar kaynak, hava, su ve toprak kirliliği tüketimini büyük ölçüde etkilemektedir. Örneğin ABD'de binalarda, toplam enerjinin üçte biri, elektriğin üçte ikisi, suyun sekizde biri kullanılmaktadır [Kohler ve Chini, 2005], [Canarlan, 2007].

Sürdürülebilir bina, yerinde toplanan doğal sürdürülebilir malzemelerden inşa edilmeli, kendi enerjisini güneş veya rüzgâr gibi yenilenebilir kaynaklardan üretmeli ve kendi enerjisini yönetmelidir. Godfaurd, Derek ve Jeroimidis [2004], yapı malzemelerinin kurulumdan sonra uygun bir süre için planlanan işlevlerini yerine getirmeleri gerektiğine dikkat çekmektedir. Ayrıca, doğal kaynakların rasyonel kullanımının ve yapı stokunun doğru yönetiminin yenilenemeyen kaynakların korunmasına, enerji tüketiminin azaltılmasına ve çevresel kalitenin iyileştirilmesine katkıda bulunacağına dikkat çekilmektedir [John vd., 2005].

Yapı malzemelerinin çevresel etkileri, yapı yaşam döngüsü için de önemlidir. Yapı malzemelerinin üretim sürecinde ortaya çıkan emisyonlar çevreyi ve insanların sağlığını önemli derecede etkilemektedir. Bunun nedeni; hammadde elde edilmesi, üretim alanına taşınması ve üretim sırasında zehirli gazların açığa çıkması, enerji tüketilmesi ve katı atık üretmesidir [Esin, 2007]. Belirgin iklim değişikliğine yanıt olarak, emisyonların azaltılması, yapı malzemelerinin oluşum enerjisinin azaltılması ve verimli kullanılması esastır [López-Aguilara vd., 2016]. Yapı malzemeleri optimum miktarda doğal kaynak kullanılmalı, üretimde en az atık çıkarmalı, çevre ve insan için risk oluşturmamalıdır. Hızlı kentleşme, yapı malzemesi için hammadde ve enerji üretimi, üretim kaynaklı atıklar, küresel çevre problemlerine sebep olmaktadır. Örneğin, sadece Portland çimentosu üretimi ele alındığında üretim sırasında küresel sera gazı üretiminin %8'i gerçekleşmektedir. Yapılarda kullanılan ahşap üretimi ormanlık alanların kaybolmasına neden olmakta, ormanlık alanların kaybı ise; toprak kaybına, içtiğimiz suların kalitesinin bozulmasına, uzun zaman diliminde sürdürülebilir ve ekonomik değerlerin kaybolmasına neden olmaktadır [Yüksek ve Mıhlayanlar, 2015].

Mimarlar için, mimari tasarımın nesnel girdileri olan yapı malzemelerinin özellikleri, türleri, uygulama koşulları, performansları kadar çevresel etkilerinin de bilinmesi zorunluluktur. Yapı malzemelerinin tasarımından yok edimine kadar olan süreçte alınan kararlar, nakliye aracı, kullanılan teknoloji, işçilik, yasal düzenlemeler, kullanım alışkanlıkları, sektör rekabeti, toplumsal eğilimler gibi çok yönlü etkenler

yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin oluşumunda ve kontrolünde belirleyici olabilmektedir [Çamur, 2010].

Yapı malzemelerinin seçimi, yapı sektöründe sürdürülebilir kalkınma hedefine ulaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır [Franzoni, 2011]. Sürdürülebilir yapı malzemelerinin erken bir aşamada göz önünde bulundurulması gerekmekte ve maliyet odaklı malzeme seçiminden daha çok -binanın genel performansını etkilemesinden dolayı- yapı malzemesinin yaşam döngüsü açısından değerlendirilmesi gerekmektedir [Esin, 2007]. Yüksek oluşum enerji içeriğine sahip malzemelerin seçilmesi, yüksek sera gazı emisyonları salınımına sebep olmakla birlikte, üretim sürecinde de yüksek bir enerji tüketimi gerektirmektedir [Bribián vd., 2011]. Sürdürülebilir yapı malzemelerinin seçimi zor olmakla birlikte zorunlu bir görevdir [Saghafi ve Teshnizi, 2011]. Tasarım aşamasında, tüketilen enerjiyi en aza indirmek ve yapı malzemelerinin nakliyesi sırasında salınan CO₂ miktarını azaltmak için yerel olarak üretilen doğal, geri dönüştürülebilir veya geri dönüştürülmüş malzemelerin seçilmesi çevresel etki açısından büyük bir öneme sahiptir [Bisegna vd., 2016].

Yapı malzemelerinin üretimi sırasında kullanılan fosil yakıtlarının yanmasıyla oluşan asit gazlarının hava, su ve toprağa salımı asitleşmeye neden olmaktadır. Asit yağmurları toprağın biyolojik koşullarını ve kimyasal yapısını olumsuz etkilemektedir. Toprağın yapısında bulunan bazı elementlerin zemin suyuna taşınmasına ve toprağın yapısının zayıflamasına neden olmaktadır. Asitleşmenin en önemli olumsuz etkilerinden biri de endüstriyel faaliyetler sonucunda asit neminin oluşmasıdır. Toprak veya göl yataklarına inmiş alüminyum, civa ve kadmiyum gibi zehirli kimyasal maddelerle tepkimeye girebilmekte ve besin zinciri veya su yoluyla insan ve diğer canlılara ulaşmakta ve toksik etkiler oluşturmaktadır [Karaman Öztaş, 2014].

Yapı malzemelerinin üretiminde kullanılacak hammaddenin taşınması sırasında taşıtlardan atmosfere salınan zehirli kimyasal gazlar ormanlık alanların olmadığı ortamlarda rüzgârında etkisi ile daha uzun mesafelere taşınarak kirliliğe yol açmaktadır. Hammaddenin ve atıkların taşınması için gerekli enerjinin elde edilmesinde kullanılan fosil kaynaklı yakıtlar, NO_x [azotoksit] ve karbonlu gazların çevreye yayılmasına neden olmakta ve bu gazlarda iklim değişikliğine sebep olmaktadır. Ayrıca, sera etkisi ve asit yağmurlarının oluşması bu gazların atmosferdeki

yoğunluğunun artması sonucunda oluşmaktadır [Dilaver, 2005]. Tablo 2.1’de hammadde ve atıklarının farklı yollarla taşınması sırasında açığa çıkan gazlar ve tüketilen enerji miktarı verilmektedir [Ayaz, 2002]. Bu bağlamda, hammaddenin çıkarıldığı alan ve yapı malzemesi üretim alanı arasındaki mesafe, malzeme üretim alanı ile malzemenin kullanılacağı yapı arasındaki mesafeler ve ulaşım biçimi önemli olmaktadır.

Tablo 2.1: Taşıma sırasında açığa çıkan gazlar ve tüketilen enerji miktarı.

GAZLAR (g/t/km)	HAVAYOLU	KARAYOLU	DEMİRYOLU	DENİZYOLU
CO ₂	1206	207	41	30
CO	4,4	2,4	0,05	0,12
NO _x	5,5	3,6	0,2	0,4
VOCs	3	1,1	0,08	0,1
CH ₄	2	0,3	0,06	0,04
Enerji kj/t/km	15839	2890	677	423

Esin [2007] ve Franzoni [2011], sürdürülebilir yapı malzemelerinin üretim sürecinde kaynak ve enerji etkin malzemeler olduğunu ve insan sağlığı üzerinde olumsuz bir etkisi olmadığını belirtmektedir. Bu nedenle, geri dönüşümlü ve biyolojik olarak çözünebilen malzemeler, kaynakların etkin kullanımında, atıkların ve emisyonların azaltılmasında etkilidir. Farklı iç yapısal ve mekanik özelliklere sahip yapı malzemelerinin farklı kullanım ömürleri vardır. Doğal malzemeler, oluşum enerjisi ve sera gazı emisyonları bakımından, yapay malzemelerden daha düşük çevresel etkilere sahiptir [Ding, 2014].

Yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinde yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak önemlidir. Yenilenebilir kaynaklar, rüzgâr, hidroelektrik vb. gibi kısa bir zaman dilimi içerisinde tüketildikten hemen sonra yeniden üretilen ve yenilenebilir kaynaklardır. Yenilenebilir bir kaynak, tüketildiği ya da yok edildiği oranda ya da daha fazla bir oranda sürdürülebilir bir şekilde tekrar geri kazanılması gerekmektedir.

Yapı malzemelerinin hammadde kaynağının doğa olması, doğanın değiştirilmesi anlamına gelmektedir. Doğa üzerinde hammadde; kaynağından alınmakta, yapılarda kullanılabilir yapı malzemesi haline getirilmektedir. Hammaddenin çıkarılması, taşınması ve işlenmesi sırasında açığa çıkan emisyonlar çevreyi etkilemektedir. Fazla enerji kullanımı ve tüketimi, enerji kaynaklarının azalmasının yanı sıra, açığa çıkan emisyonlarla çevreyi kirletmektedir. Yapı malzemesi üretildikten sonra taşıma ve kullanım ile ilgili problemler ve bunların çevre ile olan etkileşimi söz konusu olmaktadır. Taşıma mesafesinin uzunluğu, taşıma sırasında yakıt sarfiyatını ve enerji kullanımını arttırmaktadır. Binaların toplam oluşum enerjilerinin %10'unu binalarda kullanılan yapı malzemeleri oluşturmaktadır [Adıgüzel, 2011]. Bu nedenle bir yapının sürdürülebilir olması için düşük oluşum enerjili ve en az sera gazı emisyonlarına sahip yapı malzemesi kullanılması gerekir. Tablo 2.2'de malzemeler ve üretimleri için gerekli enerji miktarları yer almaktadır [Terzi, 2009].

Tablo 2.2: Malzemelerin üretimleri için gerekli enerji miktarları.

MALZEME	ENERJİ MİKTARI kwh/kg
Düşük Enerji Gerektiren Malzemeler	
Kum	0,01
Ahşap	0,1
Beton	0,2
Kireç-kumtaşı	0,4
Hafif Beton	0,5
Orta Enerji Gerektiren Malzemeler	
Alçı levha	1,0
Tuğla	1,2
Kireç	1,5
Çimento	2,2
Cam	6,0
Porselen	6,1
Yüksek Enerji Gerektiren Malzemeler:	
Plastikler	10
Çelik	10
Kurşun	14
Çinko	15
Bakır	16
Alüminyum	56

Yapı malzeme seçimi yapının kullanım aşamasındaki iç hava kalitesini de etkilemektedir. Seçilen bazı yapı malzemelerinin formaldehit, uçucu organik bileşikler (VOC) gibi zararlı salınımlara neden olduğu ve bu kirleticilerin bina ömrü boyunca kullanıcıların sağlığı üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olduğu vurgulanmaktadır [Tuna Taygun ve Balanlı, 2005], (Tablo 2.3).

Tablo 2.3: Kirleticiler ve etkileri.

KİRLETİCİ	KİRLETİCİNİN BULUNDUĞU YAPI ÜRÜNÜ	İNSAN SAĞLIĞINA ETKİLERİ
VOCs (Uçucu Organik Maddeler), Benzen	Mobilyalar, boyalar, kaplamalar	Kanser
VOCs, Formaldehit	Kontra plak, halı ve laminant yapıştırıcıları, boyalar, yalıtım ürünleri	Göz yanması ve yaşarması
VOCs, Toluen	Yapıştırıcılar, döşeme kaplamaları, boyalar	Bitkinlik, koordinasyon bozukluğu, uykusuzluk, göz rahatsızlıkları
Asbest	Yalıtım ürünleri, bazı döşeme ve tavan kaplamaları, eski sıvalar	Asbestosis, akciğer kanseri, mezotelyoma, plevra tümörü
Radon	Beton, tuğla, granit, alçı, agrega	Akciğer kanseri
Polivinil Klorür (PVC)	Doğrama profilleri, kaplama çatı örtüsü, duvar kağıdı, boru, oluk, elektrik döşemi	Baş dönmesi, bitkinlik, baygınlık, baş ağrısı, bulantı, gözlerde yanma, uyku bozuklukları, sinirlilik, deride kalınlaşma, parmak ucu kemiklerinde değişiklikler, parmaklarda kan dolaşımının bozulması, kanın pıhtılaşmaması, çarpıntı, kalp krizi, bağışıklık sistemi zayıflığı, üreme organları sorunları, karaciğer, akciğer, mide, beyin, kan ve lenf kanseri

Sürdürülebilir yapı malzemeleri, çevre dostu veya çevreye duyarlı malzemelerdir [Franzoni, 2011]. Yaşam döngüsü boyunca, bu malzemelerin üretimi ve kullanım ömrü sırasında açığa çıkan zehirli gazlar; çevreye, insan sağlığına zarar vermemeli ve kullanıcı konforunu etkilememelidir. Sürdürülebilir yapı malzemeleri uzun ömürlü olacak şekilde tasarlanmalı, üretilmeli ve kullanım ömrü boyunca düşük bakım gerektirmelidir. Sürdürülebilir yapı malzemeleri, kullanım ömürleri sonunda kolayca sökülmeleri için yeniden kullanılabilir veya geri dönüştürülebilir olmalıdır. Sürdürülebilir yapı hedefine ulaşmak; toplam yapı sayısını sınırlandırarak değil, sürdürülebilir yapı malzemelerinin tasarım aşamasında doğru seçilerek; yaşam kalitesini, kullanıcı sağlığını ve konforunu iyileştirmek ve çevresel etkilerinin daha az olmasına dikkat etmekle gerçekleşir [Esin, 2007].

Yapı malzemeleri aşağıdaki kriterleri sağladığı zaman sürdürülebilirliğinden bahsedilebilir:

- Elde edildiği kaynakların verimli kullanılması
- Üretim sırasında yenilenebilir enerji kullanılması ve düşük oluşum enerjisine sahip malzemeler olması (düşük oluşum enerjisine sahip yapı malzemelerinin sera gazı etkisi de düşüktür)
- Açığa çıkan gazların çevreyi az kirletmesi ya da hiç kirletmemesi.

Sonuç olarak, sürdürülebilir yapı malzemelerinin özelliklerini ve çevre üzerindeki etkilerini değerlendirmek, yeşil binaların tasarım ve yapımında büyük bir öneme sahiptir. Sürdürülebilir yapı malzemeleri; kaynak kullanımını azaltan malzemeler, çevresel etkileri en aza indiren malzemeler, insan sağlığına zarar vermeyen ve düşük ya da sürdürülebilir yapı tasarım stratejilerine yardımcı olan malzemelerdir [Hussain ve Arif Kamal, 2015].

2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi

Yapı sektöründe malzemelerin ve bileşenlerin çevresel etkilerini değerlendirmek için birçok yöntem geliştirilmiştir. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD), ürünlerin ve süreçlerin tüm yaşam döngüsü boyunca çevresel etkilerini değerlendiren bir yöntemdir. YDD, hammaddelerin çıkarılmasını ve işlenmesini kapsayan bir ürünün, sürecin veya sistemin tüm yaşam döngüsünü içermekte olup, bu süreçler; imalat, nakliye ve dağıtım; kullanım, yeniden kullanım, bakım, geri dönüşüm ve yıkımdan oluşmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirme, yaşam döngüsü çerçevesini, etki değerlendirmesini ve veri kalitesini kontrol etmenin bütünlük bir yolu olması nedeniyle yaygın olarak kullanılan bir yöntem haline gelmiştir.

Yaşam döngüsü değerlendirme alanında 1960'larda çalışmalar başlamış, hammadde ve enerji kaynaklarının tüketilmesine bir sınırlandırma getirmek amaçlı envanter çalışmaları yapılmıştır. Harold Smith' in 1963 yılında düzenlenen Dünya

Enerji Konferansı'ndaki (the World Energy Conference) raporu bu çalışmaların ilki olarak karşımıza çıkmaktadır. 1972 yılında "Büyüme Sınırları (the Limits to Growth)" adlı küresel bir model çalışması Dru Meadows tarafından yapılmıştır. 1975'lerde ortaya çıkan petrol krizi ile ABD ve İngiltere'de, enerji öncelikli çalışmaların yapılması için komisyonlar oluşturulmuştur. YDD alanında 1990 başlarında "Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (the Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC)", önemli gelişmeler oluşturan çalışmalar hazırlamıştır [Taygun, 2005].

"Yaşam döngüsü" kavramı, ürün veya hizmete kıyasla hem zamansal hem de kavramsal bir anlamı ifade etmektedir. YDD yönteminde "yaşam döngüsü" kavramı bir ürün veya hizmetin "beşikten mezara (cradle to grave)" izlenmesini ifade etmektedir. "Beşik", ürün veya hizmetin üretiminde kullanılan hammaddenin çıkarılması ve gerekli olan enerji kullanımını kapsayan sürece yöneliktir. "Mezar" ise ürün ve kullanılan kaynakların doğaya geri döndüğü yer ve zaman olarak tanımlanan sürece ilişkin bir kavramdır. Her iki kavramın ifade ettiği süreçlerde taşıma, üretim etkinlikleri, yardımcı malzemeler, destekleyici sistemler, bakım-onarım ve atık işleme gibi işlemler ürünün tüm yaşam döngüsü boyunca irdelenmektedir [Paulsen, 2001].

ISO 14040 (2006)'a göre YDD, bir ürün veya hizmetin potansiyel çevresel etkilerini nicel bir şekilde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. YDD, ürünlerin, üretimlerin, servislerin doğal çevreye etkilerini anlamak ve azaltmak için malzeme ve enerji akışlarını, hammadde elde edilmesinden, atık safhasına veya geri dönüşüme kazandırılması aşamasına kadarki süreci değerlendirmede kullanılan bir yöntem bilimidir. YDD, sürdürülebilirlik alanında diğer tüm kriterlerin bir arada olduğu, bütüncül bir değerlendirme yapma imkânı sunmaktadır [Özçuhadar, 2007], [ISO 14040, 2006].

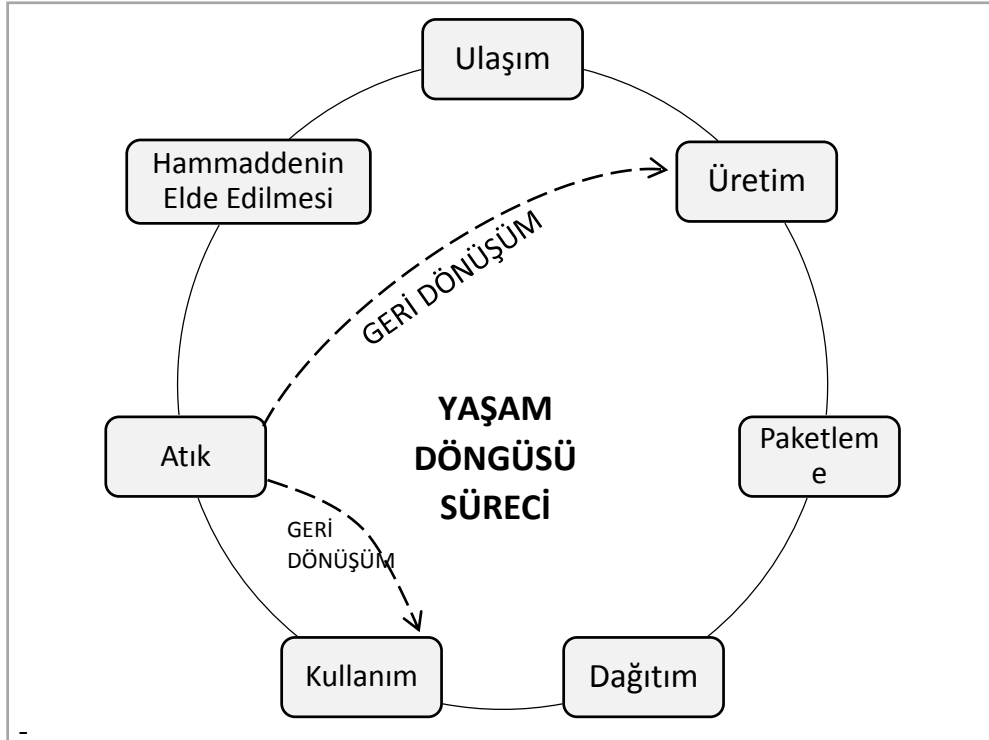
ISO 14040 (2006)'a göre YDD'nin kullanıcılara yararlı olmayı amaçladığı konular şunlardır [ISO 14040, 2006]:

- Ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çeşitli noktalarında çevresel etkilerinin iyileştirilme olanaklarının belirlenmesi
- Endüstriyel faaliyetlerde, kamu kurum ve kuruluşlarında veya sivil toplum kuruluşlarında karar alma, stratejik planlama, öncelik belirleme, ürün veya süreç tasarımı veya yeniden tasarlama,

- Ölçüm teknikleri de dahil olmak üzere ilgili çevresel performans göstergelerinin seçimi,
- Ürünlerin satış tekniklerinin geliştirilmesi.

Bir ürünün yaşam döngüsü aşağıdaki süreçlerden oluşmaktadır (Şekil 2.2):

- Hammaddenin elde edilmesi: Kaynağından hammaddenin ve enerji kaynaklarının çıkarılması ve çıkarılan hammaddenin üretim tesisine taşınması.
- Ürünlerin üretimi: Bir ürünün yapım aşamasında kullanılabilmesi için hammaddenin işlenmesi.
- Yapı malzemesinin üretimi: Gereçten daha çok bitirilmiş bir ürünün elde edilmesi.
- Yapı malzemesinin paketlenmesi ve dağıtımı.
- Yapı malzemesinin yapıya uygulanması.
- Yapı malzemesinin kullanımı, bakımı ve onarımı, kullanımının yinelenmesi.
- Yapı malzemesinin geri dönüşümü ve atıkların bertaraf edilmesi.

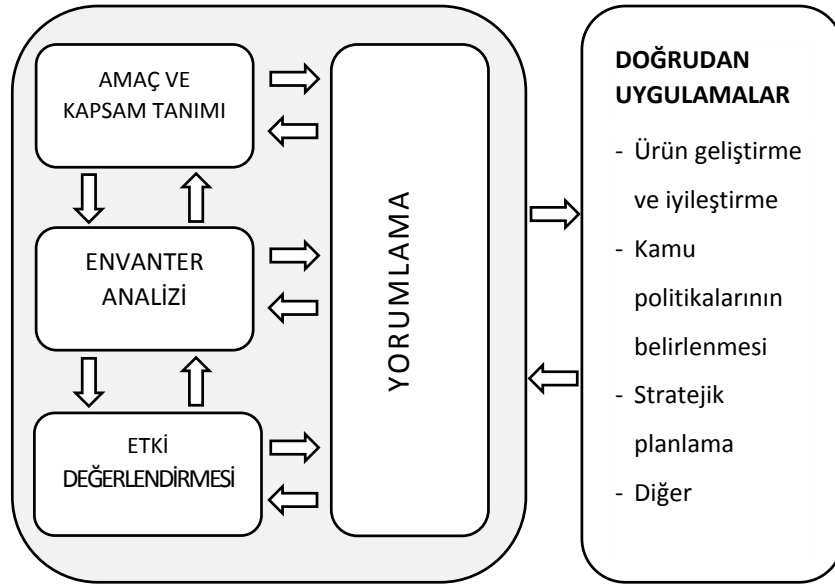


Şekil 2.2: Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreci.

ISO 14040'a [ISO 14040, 2006] göre YDD dört aşamadan oluşmaktadır (Şekil 2.3).

Bunlar:

1. Amaç ve kapsamın tanımlanması
2. Envanter analizi
3. Yaşam döngüsü etki değerlendirmesi
4. Yorumlama.



Şekil 2.3: Yaşam döngüsü değerlendirmesinin evreleri.

Amaç ve Kapsamın Tanımlanması: YDD'de ilk adımdır. Bir YDD'nin amaç ve kapsam tanımıyla tutarlı olması ön şarttır. Bu aşamada, gerçekleştirilmesi planlanan yaşam döngüsü analizi çalışmasının amacı, seçilecek olan hedef kitlesini, değişkenleri, gerekli olan veri ihtiyacı, kısıtlamalar ve kullanılan varsayımlar tanımlanmaktadır. İşlevsel birim ve sistem sınırları çalışma kapsamını ve sonuçlarını tanımlayan en önemli iki öğedir. İşlevsel birimin birincil amaçlarından biri, girdi ve çıktı verilerine bir referans sağlamaktır. ISO 14040 standardına göre işlevsel birim referans birim olarak kullanılmak üzere bir ürün sisteminin ölçülen performansdır. İşlevsel birimle ilgili akışlar daha sonra sistemin girdi ve çıktılarını hesaplamak için kullanılır. Sistemler arasındaki karşılaştırmalar aynı işlev esas alınarak yapılır ve aynı işlevsel birim

tarafından ölçülür. İşlevsel birimlerinin aynı olması, ürünlerin çevresel etkilerin karşılaştırılabilmesine olanak sağlar. Farklı ürünleri karşılaştırılması sırasında, farklı ürün sistemlerinin de karşılaştırılabilir olması gerekir [Mammadov ve Cılız, 2017].

Sistem sınırları, modellenen sisteme dahil edilecek birim işlemleri tanımlar. Sistem sınırları belirlenmesi sırasında, analizde ürünün yaşam döngüsüne ait hangi aşamaların, birim süreçlerinin yer alacağı, hangilerinin kapsam dışı bırakılacağı ve gerekçeleri belirlenir. Ayrıca bunların dışında, çalışma kapsamındaki coğrafi bölge ve zamansal olarak sınırlar tanımlanır. Çalışma kapsamında tanımlanan işlevsel birim ise incelenen sistemin birim fonksiyonunu ifade etmektedir. Açık, detaylı, ürün veya sistemin temel işlevini yansıtacak şekilde ifade edilmelidir [Mammadov ve Cılız, 2017].

Yaşam Döngüsü Envanter Analizi: Çevresel etki değerlendirmesi yapılacak ürün ya da sürecin belirlenen amaç ve kapsam dahilinde çevresel veri toplama ve hesaplama uygulamalarını içermektedir. Yaşam döngüsü envanter analizinde, incelenen sistemin sınırları dahilinde hammadde girdileri, su, enerji ve atık su, açığa çıkan katı atık ve hava emisyonları tanımlanmaktadır. Bu süreçte, ürünün yaşam döngüsünde yer alan tüm birim süreçleri esas alınarak envanter bilgileri veri toplama formları aracılığıyla derlenir, hesaplanır, eksiklikler literatür taraması, sektörel raporlar kullanılarak tamamlanabilir ve bu şekilde çevresel etkilerinin hesaplanması için hazır hale getirilmiş olur. Veri kalitesinin ve doğruluğunun gözden geçirilmesi bu aşamanın her adımında büyük önem taşımaktadır [Mammadov ve Cılız, 2017].

Yaşam Döngüsü Etki Analizi (YDED): YDD'nin üçüncü aşamasıdır. YDED, bir ürün ya da sürece ait envanter analizi verilerini kullanarak çalışmanın amacı ve kapsamı dahilinde çevresel etkileri hesaplamayı amaçlamaktadır. YDED evresinin ISO 14040 standardına göre zorunlu ve zorunlu olmayan adımları vardır. Buna göre, çevresel etki kategorilerinin ve göstergelerinin seçilmesi, sınıflandırma ve tanımlama zorunlu evreleri; normalleştirme ve ağırlıklandırma zorunlu olmayan evrelerindedir. YDED'nin ilk zorunlu adımı; küresel ısınma, asitleşme, ozon tabakasının incelmeye, atık oluşumu gibi çevresel etki kategorilerinin ve kategori göstergelerinin seçimidir. Seçimler, çalışmanın amacına ve kapsamına uygun olmalıdır.

- i. Sınıflandırma aşamasında; bu aşamada envanter öğeleri, ilgili çevresel etki kategorilerine göre atanır. Örneğin, CO₂ ve diğer sera gazı emisyonları “Küresel Isınma” kategorisinde sınıflandırılmaktadır. YDD çalışmalarında asidifikasyon, ötrofikasyon, küresel ısınma, fotokimyasal ozon oluşumu, ozon tabakasının incelmeye, ekotoksisite, kanserojenik etki ve kaynak tüketimi sık kullanılan çevresel etki kategorileridir.
- ii. Tanımlama aşamasında; aynı çevresel soruna katkıda bulunan envanter öğeleri ilgili katsayılarla çarpılarak ortak birim üzerinden ifade edilir ve her çevresel etki kategorisi için kümelenmiş toplam etki hesaplanır. Örneğin, küresel ısınmaya neden olan CO₂, CH₄ (metan) gibi zehirli gazların emisyonlarının, ortak olarak kg CO₂ eşdeğeri üzerinden ifade edilerek küresel ısınma potansiyelinin hesaplanması tanımlamaya örnek olarak verilebilir.
- iii. Normalizasyon aşamasında; farklı çevresel etki potansiyelleri, kabul görmüş normalizasyon yöntemleri kullanılarak ortak referans sistemine göre birimsiz hale getirilerek birbiriyle kıyaslanmaktadır.
- iv. Ağırlıklandırma aşaması; çevresel etki kategorilerinin yerel ya da bölgesel ölçekte önem derecesini ortaya koymaktadır. Normalizasyon değerleri ülkenin ya da bölgenin önceliklerine göre belirlenen ağırlıklandırma katsayıları ile çarpılarak çevresel etkiler hesaplanmaktadır.

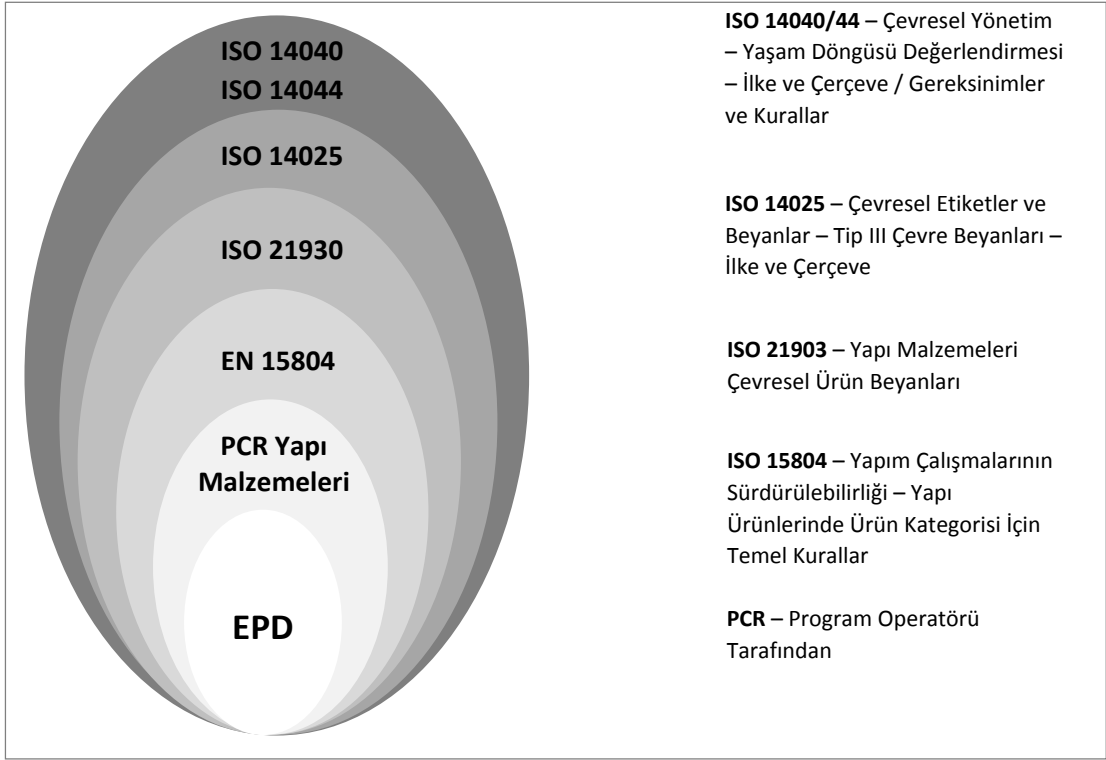
Yorumlama: YDED sonuçlarının yorumlanması analizin amacına ve kapsamına bağlıdır. Sonucun yorumlanmasında, verilerin kalitesi, kapsamı ve sınırlılıkları, çalışmanın geçerliliği ve sonuçların duyarlılığı ile ilgili tüm analiz tartışılmalıdır. Çalışmanın amaç ve kapsamı doğrultusunda hem envanter hem de çevresel etki analizi aşamalarının sonuçlarını yorumlamak, incelenen sistem veya ürünle ilgili önemli çıkarımları ortaya koymak ve tavsiyeler sunmak yorumlama aşamasının amacı olarak karşımıza çıkmaktadır. Çalışmanın bir aşamasında elde edilen sonuçlara göre diğer aşamalarda gerekli değişiklikler yapılmaktadır [Mammadov ve Cılız, 2017].

2.2. Çevresel Ürün Bildirgesi (Environmental Product Declaration, EPD)

Çevresel Ürün Bildirgesi, ürün veya sistemin çevresel performansını ifade etmek için kullanılan gönüllüğe dayalı, standartlarla çerçevesi tanımlanan ve YDD yöntemini esas alan bir beyandır. Ürünlerin çevresel etkileri ile ilişkili olarak doğru, karşılaştırılabilir ve geçerli, bilginin farklı piyasa ihtiyaçlarını karşılamak için ortaya konulması çevresel ürün bildirgesinin asıl amacıdır [Çamur, 2010].

Çevresel Ürün Bildirgesi, ISO 14025'e göre tanımlanmaktadır [ISO 14025, 2011]. YDD kapsamında ekonomik faaliyetlerin ekolojik ayak izini ve üretim sürecinde meydana gelen çeşitli emisyon değerlerini dikkate almaktadır. Bağımsız olarak üreticinin sağladığı envanter verileri esas alınarak EPD doğrulayıcıları tarafından hazırlanmaktadır. Çevresel Ürün Bildirgeleri, dünyada kabul görmüş bir eko-etikettir.

Çevresel Ürün Bildirgesi süreci; ürün kategorisi kuralları geliştirme, çevresel ürün bildirgesi taslağı ve Çevresel Ürün Bildirgesi'nin ISO 14025'e göre doğrulanması ve yayınlanmasını içermektedir (Şekil 2.4), [Shuttleworth, 2013]. EN 15804'e göre Çevresel Ürün Bildirgeleri, bir ürünün veya ürün grubunun etkileri hakkındaki yaşam döngüsü değerlendirmesine dayanarak temel ve doğrulanmış çevresel bilgileri sunmanın gönüllü, şeffaf ve iyi yapılandırılmış bir yoludur [Karaman Öztaş, 2018], [EN 15804, 2014].



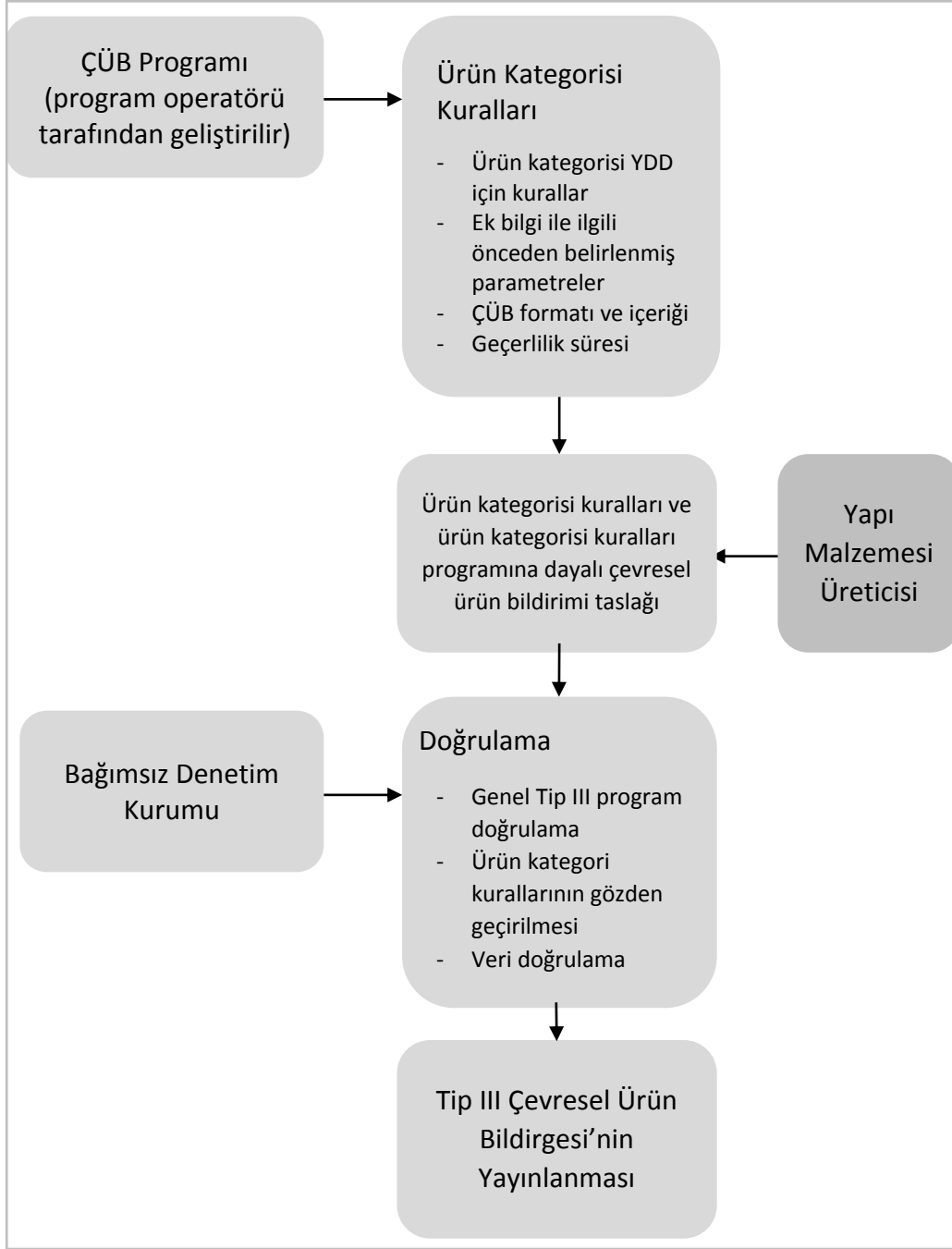
Şekil 2.4: Çevresel ürün beyanı oluşturulması için izlenmesi gereken standartlar.

Çevresel Ürün Bildirgeleri, enerji kullanımı, kaynak tüketimi, atık ve toksisite gibi bir ürünün farklı ve önemli çevresel etki kategorilerine ait envanteri içermektedir. Ayrıca geri dönüştürülmüş içerik veya tüm yaşam maliyeti gibi ek bilgileri de içerebilmektedir. Tip III çevresel ürün bildirgelerinin amaçlarından biri, aynı işlevi yerine getiren ürünler arasında karşılaştırmalar sağlamak için YDD temelli ve ürünlerin çevresel yönleri hakkında ek bilgi sağlamaktır. Dünyada pek çok Tip III çevresel ürün bildirim programı bulunmaktadır. Her program kendi ürün kategori kurallarını geliştirilmekte ve ürün kategori kurallarını farklı şekilde sınıflandırmaktadır. Çevresel ürün bildirgesi programlarının bölgelere göre dağılımı farklılık göstermektedir. Avrupa % 56 ile en yüksek paya sahipken, Kuzey Amerika'nın çevre ürünleri bildirgesi programları % 28, Asya ise % 8 gibi bir paya sahiptir [Karaman Öztaş, 2018], [Minkov vd., 2015].

Çevresel ürün bildirgelerinde:

- Üretici, ithalatçı, toptancı ve şirket ya da organizasyonca yürütülen çevresel işler,
- Üretim aşamaları ve hizmet etkinlikleri,
- Ürünün içeriği,
- Malzeme ve enerji akışı için envanter verileri,
- Olası çevresel etkiler,
- Kullanım, bakım aşaması ve geri dönüşüm,
- Belgelendirme süreci, gibi konular hakkında bilgiler bulunmaktadır [Şentürk, 2008].

Ürün kategori kuralları, ürün için fonksiyonel birimin ne olduğunu belirtmektedir (Şekil 2.5). ISO 14025 çerçevesinde, yaşam döngüsü süreci içinde hammaddenin elde edilmesi, hammaddenin taşınması ve üretim aşaması (beşikten kapağa) çevresel ürün beyanında zorunlu evrelerdir. Diğer kullanım evresi ve yaşam sonu evreleri gibi diğer yaşam döngüsü aşamalarını da dahil etmek mümkündür [Canarşlan ve Özkan, 2007].



Şekil 2.5: Yapı malzemeleri için Tip III ÇÜB aşamaları.

EN 15804 ve ISO 21930'e göre, A1 - A3 modülleri (hammadde temini, üretim sahasına nakli ve üretimi), yapı malzemelerinin ürün aşaması sırasında, A4 - A5 (fabrika kapısından şantiye alanına taşınması ve montajı) inşaat aşamasını da içerir, B1 - B7 (kullanım aşaması, bakım, onarım, değiştirme, yenileme, işletme enerji kullanımı ve işletme su kullanımı), kullanım aşaması dahil, C1 - C4 (yapı bozma-yıkım, nakliye, atık işleme ve imha) içermektedir (Tablo 2.4). D, kullanım ömrü sonu, yeniden

kullanım, geri kazanım ve geri dönüşüm potansiyeli gibi bina yaşam döngüsünün dışında ek bilgiler içermektedir [Karaman Öztaş, 2018], [EN 15804, 2014].

Tablo 2.4: EN 15804'te tanımlanan farklı yaşam döngüsü aşamaları.

MODÜL	YAŞAM DÖNGÜSÜ AŞAMASI	TANIM
A1	Üretim	Hammaddenin Kaynağından Çıkarılması
A2	Üretim	Taşıma
A3	Üretim	Yapı Malzemesinin İmalatı
A4	Yapım	Taşıma
A5	Yapım	İnşa/Montaj
B1	Kullanım	Kullanım
B2	Kullanım	Bakım
B3	Kullanım	Onarım
B4	Kullanım	Tadilat
B5	Kullanım	Yenileme
B6	Kullanım	İşletme Enerjisi Kullanımı
B7	Kullanım	İşletme Suyu Kullanımı
C1	Bina Ömrü Sonu	Yeniden inşa/Yıkım
C2	Bina Ömrü Sonu	Taşıma
C3	Bina Ömrü Sonu	Atıkların Bertaraf Edilmesi
C4	Bina Ömrü Sonu	Yok Etme
D	Bina Yaşam Döngüsünün Sonrasında	Yeniden Kullanım/İyileştirme/Geri Dönüştürme

Farklı malzemelerin kullanımının çevresel sonuçlarını incelerken göz önünde bulundurulması gereken önemli hususlardan biri, özellikle binanın işletme enerjisine olan çevresel etkiyle de ilgili olarak, ürünün kullanım ömrünün, bakım gereksinimlerinin ve bakımdaki performansının değerlendirilmesidir (Tablo 2.5). Bu, yaşam süresi, bakım süreci, yaşam sonu senaryoları vb. ile ilgili YDD'nin sonucu üzerinde kritik bir etkiye sahip olacak varsayımları içerebilir. Tip III çevresel bildirimleri teorik olarak farklı ürünler ve malzemeler arasında çevresel performans

karşılaştırmalarının yapılmasına izin verebilmesine rağmen, bu uygulamada her zaman mümkün olmayabilir.

Tablo 2.5: Çevresel ürün bildirelerinde tanımlanan farklı çevresel kategori göstergeleri, etki kategorileri ve eşdeğer birimleri.

KATEGORİ GÖSTERGELERİ	ETKİ KATEGORİLERİ	EŞ DEĞER BİRİM
Küresel Isınma	Küresel Isınma Potansiyeli (GWP)	kg CO ₂ eşd.
Stratosferdeki Ozon Tüketimi	Ozon Tüketim Potansiyeli (ODP)	kg CFC 11 eşd.
Toprak ve Suyun Asidifikasyonu	Asidifikasyon Potansiyeli (AP)	kg SO ₂ eşd.
Ötrifikasyon	Ötrifikasyon Potansiyeli (EP)	Kg (PO ₄) ³⁻ eşd.
Fotokimyasal Ozon Oluşumu	Troposferik Ozon Oluşum Potansiyeli (POCP)	Kg CH ₄ eşd.
Abiyotik kaynakların tükenmesi	Fosil olmayan kaynaklar abiyotik tükenme potansiyeli (ADP-elements)	[kgSb-eşd.]
Abiyotik kaynakların tükenmesi-fosil yakıtlar	Fosil Kaynakların Tüketimi Potansiyeli (ADP – Fosil yakıtlar)	MJ

2.3. Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Seçim Kriterleri

Yapı malzemelerinin çevresel etkilerini ölçmek için bir dizi göstergeler geliştirilmiş ve bu göstergelerin, temsil ettikleri sürdürülebilirlik kriterlerine, kullandıkları organizasyon çerçevesine, bunların ilgi alanlarına ve hedeflerine bağlı olarak büyük ölçüde farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu tür çevresel etki değerlerinin yalnızca sayısal hedefler oluşturmaya ve eğilimleri analiz etmeye değil, aynı zamanda

sürdürülebilirlik kavramının tüm etkilerini keşfetmeye de yardımcı olduğunu belirtilmektedir. Ayrıca hangi bilgilerin gerekli olduğunu ve belirli bir çevresel etki değerinin seçimini belirlemek için pratikte nasıl kullanılacağını da açıklamaktadır [Farrell ve Hart, 1998].

Ranganathan, çevresel etki sınıfları yani göstergeler sürdürülebilirlik hedeflerine doğru ilerlemeyi ölçmek için kullanılan bilgiler olarak tanımlar. Gallopin'e (1997) göre sürdürülebilirlik kriterleri değişkendir ve sonuçlar gerçek ölçümler veya gözlemlere dayanmaktadır [Canarşlan ve Özkan, 2007].

Canarşlan ve Özkan, tüm yapı malzemelerinin özelliklerini sürdürülebilirlik kriterleriyle değerlendirmek için kapsamlı bir standardın bulunmadığını; bu nedenle, sürdürülebilir yapılar için yapı malzemelerini değerlendirmek ve seçmek için evrensel sürdürülebilirlik kriterlerini oluşturmaya ihtiyaç olduğunu belirtmektedir. En çok tanımlanan sürdürülebilirlik kriterleri; küresel ısınma, asitleşme, ötrofikasyon ve enerji tüketimi olmaktadır. Bunların dışında su tüketimi, hava kirliliği ve ekosistemin kirlenmesi gibi diğer çevresel etki kategorileri de bazı çalışmalarda ele alınmaktadır [Canarşlan ve Özkan, 2007].

Veleva'ya göre, sürdürülebilirlik kriterlerinin geliştirilmesinin önemi dünya çapında artmıştır. Ayrıca, sürdürülebilirlik kriterlerinin sayısının zaman içinde arttığını belirtmektedir. Sürdürülebilirlik kriterlerinin aşağıdaki özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- Yönetilebilir sayıda,
- Sürdürülebilir üretim uygulamalarını değerlendirme görevine uygun,
- Mevcut ve doğru verilere dayanan,
- Onaylanabilir,
- Basit ve anlamlı,
- Şeffaf bir süreç ile geliştirilen,
- Diğerleri arasında kıyaslamalara olanak sağlayan [Veleva, 2001].

Yapı ürünlerinin çevreye verdikleri etkiler birçok kaynağa göre farklı şekillerde gruplanmaktadır. Bu bağlamda etki gruplaması Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği

(SETAC - The Society of Environmental Toxicology and Chemistry) tarafından şu şekilde yapılmaktadır:

- Kaynak tüketimi,
- Cansız kaynakların tüketimi,
- Canlı kaynakların tüketimi,
- Kirlilik,
- Küresel ısınma,
- Ozon tabakasının incilmesi,
- İnsan zehirlenmesi,
- Ekolojik zehirlenme,
- Sis,
- Asit yağmurları,
- Ötrofikasyon,
- Ekosistemlerin ve peyzajın bozulması,
- Arsa kullanımı şeklinde yapmıştır [Vigon vd., 1994].

BRE (Building Research Establishment)'nin oluşturduğu derecelendirme sistemi BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), etki gruplamasını:

- İklim değişikliği,
- Asitleşme,
- Ötrofikasyon,
- Fosil yakıt tüketimi,
- Mineral çıkarımı,
- Atık,
- Su kirlenimi,
- Duman,
- Ekolojik zehirlenme,
- Ozon tüketimi,

- İnsan sağlığı (su toksisitesi),
- İnsan sağlığı (hava toksisitesi) şeklinde yapmaktadır [Lippiatt, 2002].

CML 2001 (The Centre of Environmental Science)'e göre etki gruplaması:

- Abiyotik kaynak tüketimi (Abiotic depletion),
- Küresel ısınma potansiyeli (Global warming potential),
- Stratosferdeki ozon tüketimi (Ozone layer depletion potential),
- Asitleşme potansiyeli (Acidification potential),
- İnsan zehirlenme potansiyeli (Human toxicity potential),
- Tatlısu ekolojisi zehirlenme potansiyeli (Freshwater aquatic ecotoxicity potential),
- Deniz suyu ekolojisi zehirlenme potansiyeli (Marine aquatic ecotoxicity potential),
- Kara ekolojisi zehirlenme potansiyeli (Terrestrial ecotoxicity potential),
- Ötrofikasyon potansiyeli (Eutrophication potential),
- Fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeli (Photochemical ozone creation potential),
- Radyoaktif radyasyon (Radioactive radiation), şeklinde ele alınmaktadır [Web 2, 2018].

Yapılar, hammaddenin elde edilme sürecinden yapı ömrü sonuna kadar binanın tüm yaşam döngüsü boyunca evre üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Çevresel sorunlar, sınırlı kaynakların tükenmesi, hava kirliliği, iklim değişikliği ve ozon tabakasının incilmesi gibi bölgesel ölçekten küresel ölçeğe etki etmektedir. Yapım faaliyetlerinin özellikle enerjinin tüketilmesi ve fosil yakıtların kullanılması sonucu sera gazı emisyonları üzerinde böylelikle iklim değişikliği üzerinde büyük etkileri bulunmaktadır.

Bir yapının sürdürülebilirliğinde yapı malzemelerinin de sürdürülebilir olması önemlidir. Bu nedenle, yapı malzemeleri, çevresel etkileri en aza indirmek ve geri dönüşümlerini en üst düzeye çıkarmak için kaynak kullanımı ve üretimi konusunda sağlıklı, kalıcı, verimli olması gerekmektedir [Carabaño vd., 2017].

Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi sırasında kullanılan etki sınıfları genel olarak farklılık göstermektedir. Yukarıda sayılan farklı gruplandırmalar incelendiğinde bu gruplandırmaların ortak bir paydada toplanabilmesi mümkün görünmektedir. Cansız çevrenin tüketimini ve toprak tüketimini içeren abiyotik kaynak tüketim, küresel ısınmaya neden olan iklim değişimi ve ozon tabakasının tahribine yönelik ozon gazı tüketimleri sınıfları ürün seçiminde dünya çapında önemi vurgulanan etki sınıfları olarak tanımlanabilmektedir. Bu bağlamda, etki sınıflarının değerlendirilmesinde mutlaka ele alınması gereken sınıflardır. Asit yağmurlarının etkisi ile oluşan asitleşme sınıfı ve canlı çevrenin zehirlenmesine yönelik ekolojik zehirlenme, insan sağlığı, kirli sis oluşumu ve ötrofikasyon sınıfları da bir yöreyi ve bulunduğu habitatı etkileyen etki sınıflarındandır. Küresel, bölgesel ve yerel etkilerin tamamının dikkate alınması ürün seçiminin çevresel etkilerinin bütünüyle görülmesinde ve doğru ürün seçilebilmesinde önemli bir faktördür. Bu bağlamda Tablo 2.6'da farklı çevresel etki gruplandırmasına sahip kuruluşların dikkate aldıkları sürdürülebilirlik kriterleri gösterilmiştir.

Tablo 2.6: Yapı malzemesi değerlendirme sistemleri çevresel etki kategorileri

Yapı Malzemelerinin Çevresel Etki Değerleri	BREEM [BRE]	LEED	GREENSPE C	BEEES	SETAC	ISO 14047	EPA	CML 2001	ATHENA	BEPAS
Küresel Isınma	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Asitleşme	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ötrofikasyon	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Fosil Yakıt Tüketimi	X	X	X	X			X		X	X
İç Hava Kalitesi	X	X		X						
Doğal Ortamın Değişimi	X			X			X			
Su Tüketimi	X	X	X	X		X	X			X
Hava Kirleticileri		X		X			X			X
İnsan Sağlığı	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Fotokimyasal Sis Oluşumu	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Ozon Tabakasının İncelmesi	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Ekolojik Zehirlilik	X	X		X	X	X	X			X
Katı Ve Nükleer Atık Oluşumu	X		X				X			
Solunum Yolları Etkileri									X	
Habitat Tahribatı	X	X								
Tatlı Su Ekotoksitesi			X				X	X		
Mineral Kaynak Tüketimi	X	X	X			X	X	X		X
Radyoaktif Radyasyon								X		

2.3.1. Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinde Yapı Malzemesi Kategorisi

Yapıların çevreye olan olumsuz etkilerinin azaltılması, yaşanılan çevrenin ve insan etkinliğinin sürekliliğini sağlamak amacıyla çevreyle uyum içinde yapıların üretilmesi konusunda ortaya konulan tüm çalışmaların sonucunda yapıların sürdürülebilirliğinin ve çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik birtakım sistemler geliştirilmiştir. Bazı kaynaklarda çevresel değerlendirme sistemleri olarak da anılmakta olan bu sistemler, yapıyı sürdürülebilirlik ölçütlerine göre puanlayıp; mükemmel, çok iyi, iyi, geçer gibi derecelere ayırmaktadır. Bu nedenle bu sistemlerin “derecelendirme sistemleri” olarak anılması daha uygun görünmektedir [Tuna, 2010].

Değerlendirme sistemleri, ilk olarak 1990 yılında İngiltere’de Yapı Araştırma Kurumu (BRE – Building Research Establishment) tarafından Yapı Araştırma Kurumu Çevresel Değerlendirme Metodu (BREEAM) adı ile oluşturulmuş ve villa tipi konutlarda uygulanmaya başlanmıştır. Kısa sürede İngiltere’de hızla yaygınlaşan değerlendirme sistemi daha sonra tüm konutlarda zorunlu hale getirilmiştir. Sürdürülebilir yapı değerlendirme sistemlerinin dünya çapında yaygın hale gelmesi ise 1998 yılında Amerikan Yeşil Binalar Konseyi (USGBC) tarafından uygulamaya konulan Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED – Leadership in Energy and Environmental Design) adlı programın oluşumundan sonra gerçekleşmiştir. Özellikle 2000’li yılların başlarında LEED sertifikasının yaygınlaşması ile birçok ülke kendi ulusal sürdürülebilir bina değerlendirme sistemini oluşturmaya başlamıştır [Duman, 2013].

Yeşil bina derecelendirme sistemleri yapıların çevresel etkilerini yapının yaşam döngüsü sürecini de dikkate alarak birçok açıdan ele almaktadır. Yeşil bina değerlendirme sistemleri farklı ülkelerde, kendine özgü özelliklerine, amaçlarına ve standart gereksinimlerine göre geliştirilmiştir [Bisegna vd., 2016]. Sürdürülebilir bina değerlendirme sistemleri her projeyi kendi kategorisi altında inceler. Yeni binalar için planlama ve tasarım sürecinde alınan kararlara ve inşaat sırasında alınması gereken önlemlere eğilirken, mevcut binalarda binanın ömrü boyunca bakım ve onarımlara odaklanır.

Sertifika sistemleri arasında yaklaşım ve belgelendirme yöntemleri açısından farklılıklar olmasına rağmen tüm bu sistemler değerlendirdikleri projelerin insan sağlığı ve doğal çevre üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmak üzere tasarlanmış ve

ortak bir amaç etrafında toplanmışlardır [Geçim, 2018]. Sürdürülebilir yapı uygulamalarının önemini kabul ederek, “yeşile ulaşma” ve “çevre sürdürülebilirliği” yıllardır birçok ülkenin gündemine girmiştir. Bununla birlikte, inşaat sektörü hala resmi istatistiklere göre en çok enerji tüketen ve çevreye zararı en fazla olan bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yeşil bina sertifikasyon sistemleri tarafından onaylanan binaların daha az enerji tükettiği, daha iyi bir yaşam ortamı sağladığı bilinmektedir. Ülkeler kendi yerellik şartlarına uygun olması amacıyla ulusal yeşil bina derecelendirme sistemini oluşturmuştur. ABD, İngiltere ve Almanya gibi ülkelerde oluşturulan derecelendirme sistemleri ise uluslararası olarak dünya üzerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Bu derecelendirme sistemlerinin tanınırlığı ve marka değeri ulusal yeşil bina derecelendirme sistemlerine göre daha yüksektir ve genelde en çok tercih edilen derecelendirme sistemleri bunlardan oluşmaktadır. Oluşturulan yeşil bina derecelendirme sistemlerinin yaklaşımları ve kapsadıkları konular farklı olsa da belirli ortak konuları bulunmaktadır. Bunlar; arazi konumu ve kullanımı, enerji verimliliği, su tüketimi, kaynaklar ve malzeme kullanımı, iç hava kalitesi, bakım onarım ve işletmedir. Yeşil bina sertifika sistemlerinde genel olarak ortak olarak bulunan malzeme kategorisidir. Fakat farklı sistemlerin malzeme kategorisi için önem ağırlığı da farklı olmaktadır. Yapı malzemelerinin bir binanın yaklaşık %40'ını oluşturduğu düşünüldüğünde yapı yaşam döngüsü sürecinde çevreye ve insan sağlığına olan etkisi oldukça fazladır. Yapı malzemeleri, hammadde kaynağından çıkartılmaları, üretilmeleri, inşaat alanına taşınmaları, yapım aşamasında kullanılmaları, kullanım ömrü boyunca bakım ve onarımları, yapı yıkılırken ve geri dönüştürülebiliyorsa geri dönüşümleri sırasında, kısacası tüm yaşam döngüleri süresince çevreyle etkileşime geçmektedirler [Tıgılı, 2018].

Dünya üzerinde en yaygın kullanılan yeşil bina sertifikasyon sistemleri; ABD ve Kanada'nın LEED (Enerji ve Çevre Tasarımında Liderlik), Fransa'nın HQE (Yüksek Çevresel Kalite), Almanya'nın DGNB (Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen eV), Avustralya ve Yeni Zelanda'nın GreenStar'ı, Japonya'nın CASBEE (Bina Çevresel Verimliliği için Kapsamlı Değerlendirme Sistemi), Hong Kong'un BEAM (Bina Çevresel Değerlendirme Yöntemi), Singapur'un BCA (Bina ve İnşaat Otoritesi) şeklinde sıralanabilir. Berardi'ye göre, sürdürülebilirliğin etkisinin yakın gelecekte yeşil

binalardan çok daha ötesine uzanacağı düşünülmektedir. Bunun sonucu olarak, bütün yeşil bina derecelendirme sistemleri sürekli olarak kendi kriterlerini güncellemektedir [Berardi, 2013].

Yapıların çevreye olan etkisinde malzemelerin büyük bir orana sahip olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan yeşil binalarda seçilen malzemeler yaşam döngüsü boyunca oluşturduğu çevresel etkileri azaltmalıdır. Yapı malzemelerinin yaşam döngülerinde hammaddenin kaynağından çıkartılması, üretim aşamaları, nakliye, yapıya uygulanması, çevreye yaydıkları zehirli gazlar, geri dönüştürülmesi ve atık imkânları değerlendirilmektedir. Yapı malzemelerinin nakliye sırasındaki karbon salımını azaltmak için yerel malzemelerin seçilmesi önem arz etmektedir. Yeşil sertifikaya sahip yapı malzemelerinin hammaddelerinin çıkarılması ve üretim sürecinde çevresel etkilerinin daha az olmakta, yenilenebilir malzemeler gelecekteki oluşabilecek atık miktarını azaltmaktadır. Bunun yanında mevcutta bulunan yapıların iyileştirilmesi sırasında birçok yapı malzemesinin yeniden kullanılması mümkün olmaktadır. Yeşil bina stratejilerinden birisi de yapının inşaat aşaması ve kullanımı boyunca çıkan atıkların da geri dönüştürülmek amacı ile ayrıştırılması, geri dönüşüm tesislerine taşınmasıdır [Baştanoğlu, 2017]. Çalışmanın bu bölümünde yeşil bina derecelendirme sistemlerinde ortak olan malzeme kategorisi üzerine odaklanılmaktadır.

2.3.1.1 BREEAM

İlk yeşil sertifika sistemi olan BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), 1990 yılında İngiltere'de bulunan Yapı Araştırma Kurulu (Building Research Establishment-BRE) tarafından geliştirilen sertifika sistemidir [Web 3, 2018].

Birçok yeşil bina sertifikası BREEAM'den esinlenerek oluşturulmuştur. BREEAM'in farklı tipte yeni binaların tasarım ve inşaatı, mevcut binaların iyileştirmesi ve yönetimi, mahalle geliştirme için farklı modülleri bulunmaktadır. Dünyada en çok uygulanmış sertifikalardan biridir, yaklaşık 13 bin BREEAM sertifikalı proje bulunmaktadır [Web 4, 2018]. Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK) tarafından

Türkiye’de yaygınlaşması amacıyla BREEAM Ticari Binalar 2009 kılavuzu Türkçeye çevrilmiştir.

BREEAM kılavuzlarındaki değerlendirme konuları 10 ana başlık altında toplanır. Bunlar; yönetim, sağlık ve konfor, enerji, ulaşım, su, malzeme, atıklar, arazi kullanımı ve ekoloji, kirlilik ve yenilikçiliktir. Yapı malzemesi kategorisi başlığında yaşam döngüsü etkileri, sert peyzaj, sorumlu kaynak, izolasyon, sağlamlık için tasarım kriterleri yer almaktadır. Bu kategori, yapıyı oluşturan bileşenlerin elde edilmesi sürecinden başlayarak atık haline gelmesi sırasında doğal yaşam döngüsüne verdiği zararın kontrol altına alınıp gerekli önlemlerle atık haline gelen bileşenin geri dönüşümünü önermektedir. BREEAM sisteminde malzeme kategorisi %12.5’lik bir paya sahiptir. BREEAM malzeme kategorisi aşağıdaki gibidir [Web 5, 2018];

Tablo 2.7: BREEAM yeşil bina sertifika sistemi malzeme kategorisi.

		Yüzdesele Ağırlık %
Malzemelerin gömülü yaşam döngüsü etkileri	Binanın tüm yaşam döngüsü süreçleri içerisinde, çevresel etkileri daha az olan yapı malzemelerinin kullanımını desteklemektedir [Web 5, 2018].	% 6
Sert peyzaj düzenlemesi ve sınır koruması	Sert peyzaj ve çevre duvarı elemanlarında kullanılacak yapı malzemelerinin tüm yaşam döngüsü süreçlerini ele alarak, çevresel etkileri az olan malzemelerin seçilmesini teşvik etmektedir [Web 5, 2018].	% 1
Malzeme kaynaklarının sorumlu seçimi – Temel yapı elemanları	Temel yapı elemanlarından sorumlu elde edilmiş yapı malzemelerin seçimini teşvik etmeyi amaçlamaktadır [Web 5, 2018].	% 3
Yalıtım	Sorumlu edinilmiş ve ısı özelliklerine göre çevresel etkisi düşük olan ısı yalıtım malzemelerinin kullanımını teşvik etmeyi amaçlamaktadır [Web 5, 2018].	% 2
Dayanıklılık için tasarım	Malzeme değişim sıklığını en aza indirmek amacıyla, bina ve peyzajın açıkta kalan kısımları için gerekli koruma yöntemlerinin uygulanmasını teşvik etmeyi amaçlamaktadır [Web 5, 2018].	% 1
	Toplam	% 13

2.3.1.2 LEED

Enerji ve Çevresel Tasarımda Liderlik (LEED: Leadership in Energy and Environmental Design) programı 2000 yılında ABD Yeşil Bina Konseyi (USGBC) tarafından kurulan LEED yeşil bina programı, pratik ve ölçülebilir yeşil bina tasarımı, inşaat, işletme ve bakım çözümlerini tanımlamak ve uygulamak için bir çerçeve sunmaktadır. LEED programının ana hedefi; yapı sektöründe olan tüm kişi ve kuruluşların, faaliyetlerini ve ürünlerini yapı yaşam döngüsü süreci içinde oluşturdukları çevresel etkileri azaltmak doğrultusunda geliştirmelerini sağlamaktır. LEED sertifika oluşturma sürecinde tamamen şeffaf bir değerlendirme yürütülmektedir. Başlangıçta sadece yeni yapılar için geliştirilen LEED sertifika program sisteminde daha sonra farklı yapı türlerine cevap verebilecek sürümleri de geliştirilmiştir [Web 6, 2018].

Kaynakların yönetimi, CO₂ gazı salınımının azaltılması, su etkinliği, enerji tasarrufu, iç mekan kalitesinin artırılması gibi ölçütler doğrultusunda LEED; ürünlerin performansını artırmak için stratejiler geliştiren uluslararası yeşil bina sertifika sistemidir [Bayraktar, 2010].

LEED yeşil bina derecelendirme sertifika sisteminin asıl amacı, her müdahalenin potansiyel çevresel etkilerinden ve insan sağlığından başlayarak derecelendirmek ve binaların çevresel performansını, yaşam döngüsü değerlendirmelerini, tasarım, inşaat ve işletme aşamaları boyunca genel bir bakış açısıyla değerlendirmektir [Bisegna vd., 2016].

LEED yeşil bina derecelendirme sistemi beş başlık altında binaları değerlendirmektedir. Bunlar:

- Sürdürülebilir arazi,
- Verimli su kullanımı,
- Enerji ve atmosfer,
- Malzeme ve kaynaklar,
- İç mekan çevre kalitesidir.

Malzeme ve kaynaklar kategorisi toplam kategoriler içerisinde %14'lük bir paya sahiptir. LEED sertifika sisteminde "Malzeme ve Kaynaklar" kategorisinde "Geri Dönüştürülebilir Atıkların Depolanması ve Toplanması" şartını ön koşul olarak zorunlu tutmaktadır. Diğer başlıklar için farklı krediler bulunmaktadır. LEED sertifika sisteminde "Malzeme ve Kaynaklar" kriterlerinden 14 Kredi alabilmek için Tablo 2.8'de gösterildiği gibi 8 ana başlıkta gerekli olan içeriği sağlamak zorundadır [Web 7, 2018].

Tablo 2.8: LEED yeşil bina sertifika sistemi malzeme kategorisi.

		Yüzdesele Ağırlık %
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR ATIKLARIN DEPOLANMASI VE TOPLANMASI (ÖN ŞART)	Binalarda geri dönüştürülebilir malzemelerin toplanması için gerekli mekânlar oluşturulmalıdır. Geri dönüştürülebilir malzemeler arasında en az beş farklı tip karışık kağıt, oluklu karton, cam, plastik ve metaller birbirinden ayrı toplanmalı ve depolanmalıdır [Web 8, 2018].	Zorunlu
BİNANIN YENİDEN KULLANIMI (DUVAR – DÖŞEME - ÇATI)	Binanın duvar, döşeme ve çatı gibi strüktürel elemanlarının yeniden kullanım oranlarına göre kredi alınmaktadır [Web 8, 2018].	% 3
İNŞAAT ESNASI ATIK YÖNETİMİ (ÖN ŞART)	İnşaat atıklarının tekrar kullanımı veya geriye dönüştürülmesi için oluşturulan "Atık Yönetim Planı" ile geri dönüştürülen miktarın yüzdesine göre kredi kazanılmaktadır [Web 8, 2018].	% 1
MALZEMELERİN YENİDEN KULLANIMI	Yenilenmiş malzeme kullanım oranına göre kredi alınmaktadır [Web 8, 2018].	% 2
GERİ DÖNÜŞTÜRÜLEBİLİR İÇERİKLİ MALZEME KULLANIMI	Geri dönüştürülebilir malzeme kullanım oranına göre kredi alınmaktadır [Web 8, 2018].	% 2
YEREL MALZEME KULLANIMI	Yapımda kullanılan malzemelerin taşınmasıyla ortaya çıkan çevre kirliliğinin azaltılması için binada kullanılan malzemelerin maksimum 800 km uzaklıktan tedarik edilmesi gerekmektedir [Web 8, 2018].	% 2
HIZLA YENİLENEBİLEN MALZEMELER	Bina yapımında kullanılan malzemelerin %2,5'inin hızlı geri dönüştürülebilir malzeme olması gerekmektedir [Web 8, 2018].	% 1
SERTİFİKALI AHŞAP KULLANIMI	Çevre dostu olarak etiketlenmiş malzeme kullanılmalıdır. Yapımda kullanılan ahşap malzemelerin en az %50'sinin sertifikalı olması gerekmektedir [Web 8, 2018].	% 1
	Toplam	% 14

2.3.1.3. Green Star

Green Star sertifika sistemi 2002 yılında Avustralya Yeşil Bina Konseyi (Green Building Council Australia-GBCA) tarafından geliştirilen, yapıların yaşam döngüsü etkilerini sürdürülebilirlik ilkeleri içerisinde değerlendiren sertifika sistemidir. Green Star sertifika sistemi yönetim, iç mekan kalitesi, enerji, ulaşım, su, malzeme, arazi kullanımı, kirlilik ve yenilik olmak üzere dokuz farklı performans kategorisini kapsamaktadır [Türker, 2010].

Green Star bir binanın ideal koşullarda tasarım, yapım ve yönetim süreçlerinin çevresel potansiyelini ölçmektedir. Green Star sertifika sistemi, binaların çevresel değerlendirmesinde ortak bir dil oluşturulması ve sürdürülebilir tasarıma öncülük edilmesi için toplumsal bilincin artırılmasını sağlamak için oluşturulmuştur. Bu sertifikasyon sisteminde malzeme kategorisinde dört ana başlık bulunmaktadır. Bu başlıklar yaşam döngüsü değerlendirmesi, sorumlu yapı malzemeleri, sürdürülebilir ürünler ile inşaat ve yıkım atıkları olarak sıralanmaktadır (Tablo 2.9).

Tablo 2.9: Green Star malzeme kategorisi.

MALZEMELER	Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi	
	Sorumlu Yapı Malzemeleri	
	Sürdürülebilir Ürünler	
	İnşaat ve Yıkım Atıkları	
	Toplam	%14

Greenstar sertifikası öncelikle yine binalar için geliştirilmiş daha sonra diğer sertifikalara benzer şekilde mevcut binalar, ticari iç mekanlar ve mahalleler için farklı sürümleri oluşturulmuştur. Greenstar sertifika sisteminin malzeme kategorisinde sürdürülebilir tedarik sürecinde ve satın alma ve atık yönetimi yoluyla, binaların yaşam döngüsünün işletme aşamasında bir binaya giren veya çıkan malzemelerin tüketimini ele almayı amaçlamaktadır.

2.3.1.4. CASBEE

Japonya Sürdürülebilir Yapı Konsorsiyumu (JSBC) ve Yeşil Bina Konseyi (JaGBC) işbirliği ile 2001’de geliştirilen Binaların Çevresel Etkinliği için Detaylı Değerlendirme Sistemi (CASBEE) Japonya’nın yanı sıra Asya ülkelerinin de sürdürülebilirlik esaslarını dikkate alarak hazırlanmıştır. Sertifika sisteminin Japonya bağlamında sınırlandırılmış olması nedeniyle, sertifikalı binaların sayısı düşüktür. Bununla birlikte, en geniş kapsamı değerlendiren ve 2015 yılında dünya çapında kullanım için bir pilot versiyonunu piyasaya süren derecelendirme sistemidir [Doan vd., 2017].

Tasarım, Yeni Yapılar, Mevcut Yapılar ve yenileme aşamaları için CASBEE sertifika sisteminde farklı binaların buldukları aşamaya göre farklı değerlendirme araçları kullanılmaktadır. Değerlendirme araçlarının farklı olmasının amacı, projenin çevresel etkilerini en aza indirmek ve projeye uygun yer seçilmesi konusunda tasarım ekibine yardımcı olmaktır. İki farklı sistem olarak geçici yapılar ve sergi alanları ile müstakil konutlar geliştirilmiş olup, bu sistemlerin dışında binaların kentsel alan içindeki performanslarını, ısı adası etkisini ve kentsel kalkınma projelerini değerlendirmek amaçlı üç sistem daha bulunmaktadır [Özgören, 2010].

Diğer sertifika sistemlerinde ki değerlendirme sürecinden farklı olarak CASBEE sertifika sistemindeki değerlendirme iki yaklaşıma dayanmaktadır. Bunlardan birincisi kalite yani “Quality” kelimesinin baş harfi Q ile ifade edilmekte ve yapının çevresel kalite ve çevresel performansını gösteren faktörler, diğeri ise “Load” kelimesinin ilk harfi olan L harfi ile gösterilen yapının çevresel yükleridir.

CASBEE değerlendirme sonuçları, Bina Çevre Verimliliği (BEE) değerine göre belirlenmektedir. Bina Çevre Verimliliği (BEE), Q ile ifade edilen bina çevresel kalitesinin, L ile ifade edilen bina çevresel yüklerine bölünmesi sonucu elde edilir. Q, sanal kapalı alan içerisindeki çevre kalitesinin iyileştirilmesi olarak tanımlanır ve Q1: İç mekan çevresinin özellikleri, Q2: Servis kalitesi, Q3: Arsa sınırlarında binanın dış çevresi olmak üzere 3 kategoriden oluşmaktadır. L, sanal kapalı alan dışındaki çevreyi olumsuz etkileyen faktörlerin iyileştirilmesi olarak tanımlanır ve L1: Enerji, L2: Kaynaklar ve malzemeler, L3: Arsa dışı çevre olmak üzere 3 kategoriden oluşmaktadır. L2 Kaynaklar ve Malzemeler kategorisi kendi içinde 9 ana başlık altında ele alınmaktadır.

CASBEE yeşil bina sertifika sisteminde çevresel yükler kategorisi sadece %10'luk bir orana sahiptir. CASBEE yeşil bina derecelendirme sistemi malzeme ve kaynaklar başlığında tedarik edilen malzemenin yerel olması, yerinde şantiyede üretilebilir olması, prefabrik olması vb. gibi alt başlıklar bulunmaktadır (Tablo 2.10).

Tablo 2.10: CASBEE malzeme kategorisi.

DEĞERLENDİRME ALANI	L2 İLE İLGİLİ ANA BAŞLIKLAR	Yüzdesel Ağırlık
MALZEME VE KAYNAKLAR	Bölgesel olarak tedarik edilen malzemeler	%1,5
	Yerinde şantiyede üretilen malzemeler	%0,5
	Kolayca yenilenebilir malzemelerin kullanımı	%0,5
	Kurtarılabılır malzemelerin kullanımı	%1,5
	Geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı	%1,5
	Hafif malzemelerin kullanımı	%2
	Yüksek dayanıklılıkta malzeme kullanımı	%0,5
	Prefabrik eleman kullanımı	%0,5
	Projedeki malzemelerin yaşam döngüsü maliyet analizi	%1,5
	Toplam	% 10

2.3.1.5. Living Building Challenge

Living Building Challenge sertifika sistemi, Amerikan Yeşil Binalar Derneği (USGBC) ve Kanada Yeşil Binalar Derneği'nin ortak çalışması sonucu kurulan Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsü tarafından 2006 yılında oluşturulmuştur. Living Building Challenge'ın Amerika'da yaygın olan LEED sertifikasından en büyük farkı; ölçülen performansa dayalı olması, daha kapsamlı ve detaylı olmasıdır. Binanın

tasarım aşamasında hedeflenen performansı değil, gerçek performansı izlenmektedir. Bu nedenle Amerika’da yeni nesil yeşil bina sertifika sistemi olarak görülmektedir. Sertifika sisteminin; yeni binalar, renovasyon, mahalle ve altyapı türleri mevcuttur. Değerlendirme kategorileri; arsa ve konum, su, enerji, sağlık ve mutluluk, malzemeler, eşitlik ve estetikdir.

Living Building Challenge, yapıları çevredeki tüm malzemelerin yenilenebilir olduğu, insan ve ekosistem sağlığı üzerinde olumsuz etkisi olmayan bir geleceği öngörmektedir. Malzeme kategorisi için ideal bir sonucun elde edilmesinde önemli kriterler bulunmaktadır.

Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsü [ILFI] kriterlerinin amacı doğrultusunda Living Building Challenge tarafından belirlenen kırmızı liste içeriğinde bulunan ve zararlı kimyasallara sahip olan yapı malzemeleri kullanılmamaktadır. Uluslararası Yaşayan Gelecek Enstitüsüne göre oluşturulan kırmızı liste insan ve çevre sağlığı endişesiyle üretimde kullanılmaması gereken kimyasal maddelerden oluşmaktadır [Web 9, 2019]. Yeni malzeme çeşitleri ortaya çıktıkça oluşturulan bu kırmızı liste güncellenmektedir. Bunun dışında malzeme kategorisinin diğer kriterleri; kırmızı liste, somutlaştırılmış karbon ayak izi, sorumlu endüstri, canlı ekonomi kaynakları ve net pozitif atık olarak sıralanmaktadır (Tablo 2.11), [Web 10, 2019].

Tablo 2.11: Living Building Challenge malzeme kategorileri.

BİNALAR	YENİLEMELER	PEYZAJ VE ALTYAPI
MALZEMELER	% 10	Kırmızı liste
		Somitlaştırılmış karbon ayak izi
		Sorumlu endüstri
		Canlı ekonomi kaynakları
		Net pozitif atık

2.3.1.6. ÇEDBİK Konut Sertifikası

Çevre Dostu Binalar Derneği (ÇEDBİK) 2007 yılında kurulmuş olup, Türkiye'nin yapı sektöründe sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda ilerlemesine öncülük etmektedir. Aynı zamanda Dünya Yeşil Bina Konseyi üyesi olan ÇEDBİK – Konut Sertifikası, BREEAM, LEED, DGNB gibi uluslararası bina derecelendirme sistemlerinden referans alınarak Türkiye'ye özgü bir değerlendirme sistemi ortaya konmaya çalışılmıştır. 2013 yılında ulusal sürdürülebilir bina derecelendirme sistemi geliştirmeyi amaçlayan ÇEDBİK – Konut Sertifika sistemi tanıtılmıştır. ÇEDBİK – Konut Sertifikasının amaç olarak yaşanabilir bir çevre ve gelişmiş bir ekonomi, sağlıklı toplumlar ve ulusal yapı standartlarının yükseltilmesini hedeflemektedir [ÇEDBİK-Konut Sertifika Kılavuzu, 2018].

Türkiye'de geliştirilen bu sertifikanın, diğer uluslararası sertifikalara göre en büyük avantajı sertifika gelirinin yurtiçinde kalacak olması ve böylece dışarıya kaynak transferinin engellenmesidir. ÇEDBİK - Konut Sertifikası kapsamında konutlar; bütünleşik yeşil proje yönetimi, arazi kullanımı, su kullanımı, enerji kullanımı, sağlık ve konfor, malzeme ve kaynak kullanımı, konutta yaşam, işletme ve bakım, yenilikçilik olmak üzere 9 başlık altında değerlendirilmektedir.

ÇEDBİK - Konut Sertifikasında malzeme ve kaynak kullanımı toplam kredi içerisinde %15 paya sahiptir. Puanlama sisteminde en yüksek ikinci puan oranına sahip olmaktadır. "Malzeme ve Kaynak Kullanımı" konusunun amacı çevre dostu ve yerel malzeme kullanımını teşvik etmektir. Yapı malzemesinin üretim sürecinde, yaşam ömrü boyunca enerji israfı, çevre kirliliği ve kaynak tüketimi gibi birçok olumsuz çevresel etki oluşur. Binanın inşaat sürecinden kaynaklanan etkileri azaltmanın yanı sıra malzeme üretiminde de çevresel etkilerin azaltılması gerekir. ÇEDBİK - Konut Sertifikası, yapılı çevrede kullanılan malzemelerin geri kazanılabilir/geri dönüştürülebilir olmasını, insan sağlığı ve ekosistem üzerindeki etkilerinin azaltılmasını öngörmektedir. Malzeme seçimlerinin bu öngörü ile yapılması gerekir. Tedarik zincirinde malzeme konusunun farklı yönleri ve etkileri bulunmaktadır. Yatırımcı ve tüketiciler, malzemenin teknik özelliklerine paralel olarak estetik, fonksiyon ve maliyet gibi yönleri de değerlendirmektedir. Geri dönüşüm

içeriği, yaşam döngüsü analizi vb. kavramlar da değerlendirme ölçütlerinde yerini almaktadır (Tablo 2.12), [ÇEDBİK-Konut Sertifika Kılavuzu, 2018].

Tablo 2.12: ÇEDBİK - Konut Sertifikası malzeme kategorisi.

	DEĞERLENDİRME ÖLÇÜTÜ	KAPSAM	AMAÇ	YÜZDESEL AĞIRLIK
MALZEME VE KAYNAK KULLANIMI	Çevre Dostu Malzeme	İnşaatta kullanılan malzemelerin, yaşam döngüsü değerlendirmesini ilgili referanslarda belirtilen, EU ECO LABEL (eko-etiket), EPD (çevresel ürün beyanı), NATUREPLUS, CE, DIN, beşikten beşiğe (cradle to cradle), FSC, PEFC, Orman Genel Müdürlüğü belgesi gibi bir çevre etiketine sahip olması gerekir.	Yaşam döngüsü analizi yapılmış ve çevre etiketi almış olan malzeme kullanımını teşvik etmektir.	% 3
	Mevcut bina elemanlarından yararlanılması	Bina cephesi ve taşıyıcı sistem hacminin en az %50'sinin aynen bırakılıp diğer bölümlerinin yenilenmesi, Binanın cephesinin ve taşıyıcı sisteminin aynen bırakılıp yalnızca iç kaplamalarının yenilenmesi	Gereksiz kaynak kullanımını önlemek ve atıkları azaltmak amacıyla, yeni bina elemanı yerine, mevcut bina elemanlarının kullanılması desteklenir.	% 3
	Malzemenin yeniden kullanımı	İnşaatta kullanılan yapı malzemelerinin, yeniden kullanılan ve gerekli performans kriterlerini sağlayan malzemelerden seçilmesi gerekir.	Gereksiz kaynak kullanımını önlemek, yeniden kullanılabilen, geri dönüştürülmüş, çabuk yenilenebilen, dayanıklı malzeme kullanımını desteklemek amaçlanmaktadır.	% 3
	Yerel malzeme kullanımı	Ulaşım kaynaklı salınımları ve yakıt tüketimini azaltmak amacıyla kullanılan taşıyıcı elemanlar da dahil olmak üzere malzemenin (maliyet veya hacim) en az %30'unun, 400 km içerisinden veya 400 km'ye eşdeğer taşıma yolu içinde üretilmiş malzeme olması, Kullanılan malzemenin (maliyet veya hacim olarak) en az %10'u, projeye 100 km sınırları içinden üretilmiş yerel ve bölgesel malzeme (bölgeye özgü yapı malzemesi ve elemanları) olması	Nakliye sırasındaki karbon salımı ve gereksiz kaynak kullanımını önlemek amacıyla, binanın konumuna yakın yerlerde üretilen ve yerel olan malzemenin kullanımı desteklenmektedir.	% 4
	Dayanıklı malzeme	Ortak alanların (giriş holleri, koridorlar, merdivenler, bina içi otoparklar vb.) yoğun kullanıma bağlı yıpratıcı etkilerden korunması Kabukta kullanılan yapı elemanlarının garanti süreleri veya tarafsız kurum tarafından belirlenen servis ömürleri en az 30 yıl olacak şekilde seçilmelidir.	Binanın, sık kullanıma bağlı veya fiziksel çevreye karşı zamana bağlı dayanımı olması için bina içinde ve dışında koruma sağlanmasıdır. Doğal afetlerde, yapı kabuğunun sürdürülebilirliğini sağlayacak malzeme ve taşıyıcı sistem kullanımını desteklenmektedir.	% 2
			Toplam	% 15

2.4. Bölüm Sonucu

YDD yöntemi, yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinin değerlendirilmesinde bütüncül bir yaklaşım ile tüm süreçlerin farklı çevresel etki kategorilerine göre değerlendirilebildiği yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. YDD yöntemini esas alan ÇÜB’de ise standartlar esas alınarak üreticiler yapı malzemelerinin çevresel çıktılarını gönüllü olarak beyan etmektedir. ÇÜB’ün önemli faydalarından biri yapı malzemesine ait çevresel veri envanterinin oluşmasına katkı sağlamasıdır. Bunun yanı sıra aynı fonksiyonel birime sahip yapı malzemelerinin aynı süreçler için de çevresel etkilerinin karşılaştırılmasına olanak tanınmasıdır.

Yeşil bina sertifikasyon sistemleri içinde de yapı malzemesi kategorisi önemli bir paya sahiptir. Genel olarak bu sistemler dünya üzerindeki her yapının performansını benzer ölçütler altında değerlendirmektedir. Fakat değerlendirilen ölçütler bölgenin iklimi, coğrafi konumu ve ekosistemine bağlı olarak değişiklik gösterebilmektedir. Bu durumda, değerlendirme ölçütlerinin ülkelerin veya bölgelerin farklılıkları üzerinden değerlendirilmesinin yapıların sürdürülebilirliği açısından daha doğru bir yaklaşım olacağı düşünülmektedir.

İncelenen yeşil bina sertifika sistemlerindeki malzeme kategorisine bakıldığında değerlendirilen kriterlerden ortak kriterlerin bulunmasının yanında farklı kriterlere de dayalı değerlendirme de yapılmaktadır (Tablo 2.13). Yerel malzeme kullanılmasını içermesi açısından LEED, CASBEE, ÇEDBİK yeşil bina değerlendirme sistemleri benzerlik göstermektedir. Yerel malzeme kullanımı ve malzeme hammadde kaynağının yerel olması çevreye salınan zehirli gazların ve toz partiküllerin azalmasına katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda yapı maliyetini önemli ölçüde azaltmaktadır.

Tablo 2.13: Yeşil bina sertifika sistemlerinde yapı malzemesi kategorileri.

SERTİFİKA SİSTEMİ	BREEAM	LEED	GREENSTAR	CASBEE	LIVING BUILDING CHALLENGE	ÇEDBİK KONUT SERTİFİKASI
KURUM	BRE	USGBC	GBCA	JSBC	ILFI	ÇYK
ÜLKE	İNGİLTERE	AMERİKA	AVUSTRALYA	JAPONYA	AMERİKA	TÜRKİYE
MALZEME KATEGORİSİ ALT BAŞLIKLARI	<ol style="list-style-type: none"> 1. Yaşam Döngüsü Etkileri 2. Dayanıklı Peyzaj ve Sınır Koruması 3. Sorumlu Kaynak 4. İzolasyon 5. Sağlık için Tasarım 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Geri Dönüştürülebilir Atıkların Depolanması ve Toplanması (Ön Şart) 2-Binanın Yeniden Kullanımı (Duvar-Döşeme-Çatı) 3- İnşaat Esnası Atık Yönetimi (Ön Şart) 4-Malzemelerin Yeniden Kullanımı 5-Geri Dönüştürülebilir İçerikli Malzeme Kullanımı 6-Yerel Malzeme Kullanımı 7- Hızla Yenilenebilir Malzemeler 8-Sertifikalı Ahşap Kullanımı 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi 2- Sorumlu Yapı Malzemeleri 3- Sürdürülebilir Ürünler 4- İnşaat ve Yıkım Atıkları 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Bölgesel olarak tedarik edilen malzemeler 2- Yerinde şantiyede üretilen malzemeler 3- Kolayca yenilenebilir malzemelerin kullanımı 4-Kurtarılabılır malzemelerin kullanımı 5- Geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanımı 6- Hafif malzemelerin kullanımı 7- Yüksek dayanıklılıkta malzeme kullanımı 8- Prefabrik eleman kullanımı 9- Projedeki malzemelerin yaşam döngüsü maliyet analizi 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Kırmızı Liste 2- Somutlaştırılmış karbon ayak izi 3- Sorumlu endüstri kaynakları 5- Net pozitif atık 	<ol style="list-style-type: none"> 1- Çevre Dostu Malzeme 2-Mevcut bina elemanlarından yararlanılması 3-Malzemenin yeniden kullanımı 4-Yerel malzeme kullanımı 5- Dayanıklı malzeme

Bu sertifika sistemlerinde ortak olan bir diğer başlık ise malzemelerin yeniden kullanılması ve geri dönüştürülebilir malzeme kullanılmasıdır. Malzemelerin yeniden kullanılabilir olması sürdürülebilirlik açısından büyük bir öneme sahiptir. Çünkü tekrar kullanılan malzemeler üretim süreçlerinde ortaya çıkan insan ve çevre sağlığına zarar veren etkilerin zehirli gazların, toz kirliliğinin, gürültü ve görüntü kirliliğinin arazi bozulmasının önüne geçmektedir. Yapı üretiminde zaman ve maliyet kazanımı sağlanmaktadır. Yapı malzemelerinin geri dönüştürülebilir olması ise yenilenemeyen kaynakların korunmasına ve atıkların azalmasına katkı sağlamaktadır. Geri dönüştürülebilen malzemelerin hammadde kaynağı da kendisi olması dolayısıyla kaynakların tüketimini azaltmaktadır.

İnşaat atıklarının yönetimi ve tekrar üretim sürecine katılması noktasında GreenStar, LEED, ve CASBEE gibi sertifika sistemleri benzerlik göstermektedir. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü sürecinde yapısal atıkların yeri azımsanmayacak kadar fazladır. Ortaya çıkan atıkların nasıl kullanılacağı yapı malzemelerinin sürdürülebilirliğinde belirleyici olmaktadır. Yapı malzemelerinin üretim sürecinde veya kullanım sonrasında açığa çıkan atıkların tekrar üretime katılması ya da geri dönüşümünün sağlanabilmesi yapı malzemelerinin çevreye olan etkilerini azaltmaktadır. Aynı zaman da yapısal atıkların bu şekilde değerlendirilmesi enerji tüketiminin azaltılması noktasında faydası olmaktadır. Yapı üretiminde seçilen yapı malzemelerinin yapısal atıklarının doğrudan doğaya bırakılması ve atıl bir şekilde kalması çevrenin fiziki olarak kirlenmesine aynı zamanda görüntü kirliliğine sebep olmaktadır. Yapılarda ortaya çıkan atıkların azaltılması yönünde planlar geliştirilmesi insan ve çevre sağlığı açısından önemlidir. Çünkü her ne kadar atıkların tekrar üretime kazandırılması olumlu bir durum olsa da yapısal atıkların geri kazanılması durumu yüksek maliyet ve işçilik gerektirdiği için geri kazanım yöntemi gelişmemektedir.

Malzemelerin geri dönüştürülebilir olması ve geri dönüştürülebilir malzemelerin kullanılması açısından CASBEE ve LEED sertifika sistemleri benzerlik göstermektedir. Doğal kaynakların ve bu kaynakların kendini yenileme kapasitesinin sınırlı olduğu göz önüne alındığında yapı malzemelerinin geri dönüşümü kaynakların korunumu açısından önemlidir. Geri dönüşüm; üretim ve tüketim faaliyetleri sonucu oluşan yeniden değerlendirilme imkanı olan atıkların, çeşitli fiziksel ve/veya kimyasal işlemlerden geçirilerek ikincil hammaddeye dönüştürülerek tekrar üretim sürecine

dahil edilmesi olarak tanımlanmaktadır. Geri dönüşümün amacı, kaynakların etkili bir şekilde kullanılmasını sağlamak ve kaynağında ayrışma ile birlikte bertaraf edilecek atık miktarını azaltmaktır.

3. PİŞMİŞ TUĞLA VE GAZ BETONUN BEŞİKTEN KAPIYA ÜRETİM SÜRECİ

Yapı malzemelerinin tarihi çok eski zamanlara dayanmaktadır. İlk uygarlıklardan günümüze kadar yapı malzemeleri kullanılmaya gelmiştir. Geçmiş uygarlıklar ve toplumlarda kullanılan yapı malzemeleri çoğunlukla yerel kaynaklardan elde edilmektedir. Hammaddelerin elde edilmesi daha çok insan gücüyle sağlanmıştır. Bunun sonucunda malzemeler çok az çevresel etkilere sahiptir. Geçmişte en çok kullanılan yapı malzemeleri taş, kerpiç, ateş tuğla, ahşap gibi malzemelerdir [Akman, 2003]. Geleneksel yapı malzemeleri olarak adlandırılan bu malzemelerin hammadde kaynağı yereldir ve bulunduğu yere özgüdür.

Sanayi devriminden sonra her alan da olduğu gibi yapı malzemesi alanında da büyük oranda değişiklikler ve yenilikler ortaya çıkmıştır. Kimyasal veya petrol türevi hammaddelerden elde edilen, daha hızlı üretimi yapılabilen, çok fazla insan gücü gerektirmeyen yapı malzemeleri üretilmektedir. Bu dönemden sonra yapı malzemelerinin hammaddelerinin petrol ve türevlerinden oluşması, kimyasal katkıların içermesi, çimento ve kireç gibi hammaddelerini bünyesinde barındırması üretim süreçlerinde bir takım çevresel sorunları da beraberinde getirmiştir. Sanayi devriminden günümüze kadar gelişen teknoloji, yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin artarak devam etmesine neden olmuştur [Akman, 2003].

Beton, çelik, gazbeton, cam, kompozitler, polimerler, izolasyon vb. yapı malzemeler çağdaş yapı malzemeleri olarak bilinmektedir. Çağdaş yapı malzemeleri için geçerli olan seri üretim günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte geleneksel yapı malzemelerinin üretiminde de geçerlidir. Çağdaş yapı malzemelerinin hammadde kaynağı olarak kullanılan kimyasallar ve petrol türevi katkıları bu yapı malzemelerinin üretim süreçlerinde ve kullanım ömürleri boyunca çevreye büyük oranda emisyon salınımına ve insan sağlığının olumsuz etkilenmesine neden olmaktadır. Ayrıca hammadde elde edilmesi sırasında hammadde kaynağı ve üretim alanı arasındaki mesafe, kullanılan hammaddenin üretiminin enerji ve emisyon yoğun olması çevreyi ve insan sağlığını aynı şekilde tehdit etmektedir [Akman, 2003].

Geleneksel yapı malzemeleri hammaddenin doğru bir şekilde elde edilememesi sonucunda ormanların, topoğrafyanın bozulması, göletlerin oluşmasına ve hammadde

kaynağının bulunduğu bölgede iklim değişikliği gibi sorunların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Üretim aşamasında kullanılan yakıt türevlerinin doğru seçilmemesi, yanma sonucu atmosfere salınan emisyonların zararını azaltacak önlemlerin alınmaması çevreye olan zararlı etkilerin artmasına neden olmaktadır.

Çalışmanın bu bölümünde geleneksel yapı malzemesi olarak pişmiş tuğla ve çağdaş yapı malzemesi olarak gazbeton yapı malzemelerinin beşikten kapiya üretim süreci incelenmiştir. Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin hammaddelerinin elde edilme yöntemleri, üretim alanına taşınması, üretim sürecinde kullanılan yöntemler, üretim aşamasında kullanılan yakıt türevleri, harcanan enerji ve yapı malzemelerinin paketlenmesi aşamaları yani fabrika kapısına kadar olan süreç irdelenmiştir. Bu iki yapı malzemesinin çalışma için seçilmesinin nedeni, günümüzde duvar elemanı olarak en çok kullanılan yapı malzemesi olmaları ve Türk yapı sektöründe üretim açısından büyük orana sahip olmalarıdır.

3.1. Pişmiş Tuğla

Pişmiş tuğla yapı malzemesi, en az yedi bin yıl boyunca yapıların inşa edilmesi sırasında kullanılan birincil ve en eski yapı malzemesidir. Dünya tarihinde üretilen ilk yapı malzemesi olarak bilinen pişmiş tuğla suya, dona ve ateşe karşı oldukça dayanıklı olması nedeniyle temel bir yapı malzemesi olarak bilinmektedir. Var olan mimarideki mirası, birçok ülkede pişmiş tuğlayı hala en cazip yapı malzemesi haline getirmektedir. Pişmiş tuğlalar uzun bir kullanım ömrüne sahiptir. Birçok yapı malzemesinin tamamen yenilenmesine ihtiyaç duyulurken, pişmiş tuğla duvarlar kısmi yenileme ve eklemeler ile uzun süre dayanabilme kapasitesine sahiptir.

TSE tarafından TS EN 771-1+A1 (2015) de pişmiş tuğla: “Kil veya diğer killi topraktan, kum veya diğer toz katkı maddesi ilave edilerek veya edilmeden seramik bağ elde etmeye yeterli yüksek sıcaklıkta pişirilmek suretiyle elde edilen kâgir birim” olarak tanımlanmaktadır [TSE, 2015].

Pişmiş tuğla geleneksel bir yapı malzemesi olmakla beraber güncel olarak kullanılan duvar dolgu malzemesidir. Pişmiş tuğla için içeriğinde kil bulunan, 900 – 1000 °C’de fırımlandığında, çatlamadan sertleşebilen, belirli ölçüde suyla karıştırıldığında plastik çamur haline gelen ve şekil alabilen bütün topraklar

hammadde olarak kabul edilmektedir. Kil içerikli toprak minerallerinin en belirgin özelliği belli oranda su ile karıştırıldığında plastik özellik kazanarak şekil alabilmesi ve kurutulduktan sonra sertleşen bir malzeme özelliğinin olmasıdır [Ulusoy, 2008].

Pişmiş tuğlaların kendisini meydana getiren toprağa tekrar dönüştürülebilen doğal bir yapı malzemesi olarak karşımıza çıkması sürdürülebilirlik açısından önemli bir durumdur.

Pişmiş tuğla, yağışlı havalarda hiç bir zaman tam ıslanmayan ve bünyesindeki rutubeti 24 saatte dışarı atan ve çabuk kuruyan bir malzemedir. Pişmiş tuğlalar çok yüksek sıcaklıklarda fırınladıkları için çok fazla dayanıklıdırlar. Birçok tuğla çeşidi aynı zamanda, sahil bölgelerinde, yüksek hava kirliliğine sahip bölgelerde ve aşırı gübrelenmiş toprak zeminler üzerine inşa edilmiş binalarda tuz etkisine karşı dayanıklı bir yapı malzemesidir [Tokgöz, 2010].

Pişmiş tuğla üretimi genel olarak hammaddenin hazırlanması, şekillendirme, kurutma, pişirme ve paketleme aşamalarından oluşmaktadır (Şekil 3.1).



Şekil 3.1: Tuğlanın üretim sürecindeki aşamaları.

Hammadde Elde Edilmesi Aşaması: Pişmiş tuğla üretimi için kullanılan ana hammadde kildir. İş makineleri yardımıyla kaynağından çıkarılan kil kamyonlarla üretim alanına taşınmaktadır. Kilin temel bileşeni kaolindir. Kaolin yüzdesi kilin plastisitesini etkilemektedir. Kaolin içinde yüksek içeriğe sahip killere yağlı killer denilirken, düşük içeriğe sahip olanlar yağlı olmayan killer olarak adlandırılır. Üretim tesisine getirilen kil hammadde depolama alanında mayalanmaya bırakılmaktadır.

Hammadde hazırlanması aşamasında parçalama ve öğütme işlemi yapılarak homojen bir hammadde elde edilmektedir. Çeşitli makinalarla hammaddenin içindeki iri taşlar, çöpler ayıklanmaktadır. Bunun yanında kilin yeterli miktarda su ile karıştırılması ve ezilmesi gerekmekte, daha sonra dinlendirme aşamasına geçilmektedir. Bu aşama ürünün kalitesini etkileyen bir aşama olup, hammadde

burada direnç kazanmaktadır. Dinlendirme işlemi öğütme aşamasından önce veya sonra yapılabilir [Zal, 2010].

Üretim Aşaması: Hammadde için hazırlanmış alanlarda depolanarak mayalanmaya bırakılan kil hammaddesi ilk aşama olarak bunkere taşınmaktadır. Bunkere gelen kil bu alanda eleme işlemine tabi tutularak kilin içinde bulunan kaba maddelerin kilden ayrışması sağlanmaktadır. Daha sonra elenmiş olan kil konveyör yardımıyla beşigere taşınır. Beşigerde tekrar bir eleme işlemine tabi tutulan kil, bu alanda da içinde bulunan daha küçük farklı maddelerden ayrıştırılmaktadır. Toprak canavarından (beşiger) elenen kil hammaddesi konveyör yardımıyla 1. valse aktarılır. 1. valste kil 3 mm. çapında öğütülmektedir. 1. valste öğütme işlemi tamamlandıktan sonra kilin plastisitesinin ayarlanması için sulu karıştırıcıya taşınmaktadır. Karışımın plastisitesi, eklenen su oranına ve kil hammaddesinin yağlı veya yağsız olmasına bağlı olarak değişmektedir. Sulu karıştırıcıda nemi ayarlanan hammadde daha sonra konveyör yardımıyla 2. Valse taşınmaktadır. 2. valste ise kilin daha küçük parçalara ayrılarak yaklaşık 1 mm çapında öğütülmektedir. 2. Valsten vakum preslemeye girmeye hazır hale gelen kil konveyör yardımıyla silolara taşınarak dinlendirilmektedir [Ulusoy, 2008], [Zal, 2010].

Üretimin son aşamasında hazırlanan kil belli bir basınç ve vakum çamur pompası yardımıyla vakum press makinesinden çıkartılarak boyutlarına ayrılır. Bu aşamada vakum ekstrüzyon makinesine aktarılan hammaddenin burada havası emilmektedir. Tuğla üretiminde vakum presten sonra ince tellerle kesilen malzeme üçüncü boyutu da alarak kurutma aşamasına geçilmektedir. Daha sonra ham tuğlalar kurutulmak üzere suni kurutma fırınlarına bant yardımıyla, doğal kurutma alanlarına ise insan gücü, forklift veya traktör vb. araçlar ile taşınmaktadır.

Kurutma: Vakum press makinesinden boyutlarına ayrılan ham tuğlaların neminden ayrılması ve pişirme aşamasına katılması için suni ve doğal kurutma yapılarak içindeki nem ayrıştırılmaktadır. Kurutma işlemi çoğunlukla suni fırınlar yardımıyla yapılmaktadır. Suni kurutma yöntemi ham tuğlanın doğal yollara başvurulmadan, özel kurutma odaları yardımıyla kapalı bir alana ısı verilerek kurutulması yöntemidir. Tünel tipi kurutma fırınlarında kömürden, dizel yakıttan veya doğalgazdan elde edilen ısı kullanılmaktadır. Bu yakıtlar aynı zamanda tuğlaların pişirilmesi sırasında da kullanılmaktadır. Tuğlalara önce az sıcaklıkta yüksek buhar

basıncı verilmekte, ardından basınç azaltılarak sıcaklık arttırılmaktadır. Bu sayede suyun kilden buharlaşarak çıkması sağlanmaktadır. Bazı üretim tesislerinde ise ham tuğlaların güneş ışığı altında bir ya da iki gün bekletilerek doğal kurutma işlemi gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde tuğla üretimi esnasında yaygın olarak kullanılan kurutma yöntemi doğal kurutmadır. Fakat inşaat sektörünün hız kazanması ve daha çok tuğla kullanım ihtiyacı nedeniyle üretimi hızlandırmak için suni kurutma fırınları da azımsanamayacak derecede fazladır. Suni kurutma fırınlarına aktarılan ham tuğlalar iki ya da üç saat kadar kurutma alanından kaldıktan sonra pişirme alanına taşınmaktadır.

Pişirme: Pişirme aşaması pişmiş tuğla üretiminin son aşamasıdır. Pişirme işleminde kurutulan tuğlalar çok yüksek sıcaklıklara 900 – 1000 °C bırakılmaktadır. Bu sıcaklıkta ise tuğlaların yapısal özellikleri tamamen değişmektedir. Ham tuğla yapı malzemesi yumuşaklığını ve esnekliğini kaybederek sert ve mukavemeti yüksek bir madde haline almaktadır. Pişirme işleminden sonra tuğlaların rengi kızıl bir tona dönüşmektedir. Pişirme için kullanılan farklı fırın sistemleri bulunmaktadır.

Bu fırın tiplerinden aşağıda Türkiye’de yaygın olarak kullanılan fırın tipleri incelenmiştir:

- Tünel fırın suni kurutma sistemi;

Hammadde → Hazırlama ve Şekillendirme → Suni Kurutma → Tünel Fırın → Ürün

- Hoffmann fırın suni kurutma sistemi;

Hammadde → Hazırlama ve Şekillendirme → Suni Kurutma → Hoffman Fırın → Ürün

- Hoffmann fırın doğal kurutma sistemi;

Hammadde → Hazırlama ve Şekillendirme → Doğal Kurutma → Hoffman Fırın → Ürün

Hoffmann fırın suni kurutmalı sistemle üretim yapan tesisler, tünel fırına göre daha fazla enerji tüketmektedir. Doğal kurutma yöntemi ile kurutulan pişmiş tuğla

üretim tesislerinde kurutma için enerji harcaması olmamasından dolayı tünel fırınlara ve suni kurutmalı hoffmann'lara göre daha az enerji kullanılmaktadır. Türkiye'de en yaygın kullanılan fırın sistemi birincil olarak Hoffmann fırın sistemi, ikinci olarak en yaygın bulunan sistem ise tünel fırın sistemidir [Zal, 2010].

Hoffmann fırınlarında çalışma sistemi tuğlalar sabit, ateş ise hareketli bir şekilde fırının içinde dolaştırılmaktadır. Fırının üstündeki deliklerden yakıt olarak toz kömür püskürtülmekte, pişme safhası ilerledikçe püskürtme işlemi delikler boyunca ilerlemektedir. Yakıt türü olarak genelde linyit, taş ve ithal kömür vb. katı yakıtlar, çok azda olsa sıvı yakıtlar kullanılmaktadır. Hoffman fırınlarında, enerji kullanımı tünel fırınlara göre daha fazladır. Hoffman fırınının en önemli özelliklerinden birisi de yanmanın pişirilen tuğlaların üzerinde olması, fırın içinde hareket eden havanın bir yandan pişmiş tuğla ile temas ederek ısısının artması ve bu ısınmış havadan yağ tuğlaların kurutulmasıdır [Web 11, 2019].

Tünel fırın sisteminde ise hoffman fırınlarında bulunan sistemin tersi bir işleyiş bulunmaktadır. Ateş sabit iken pişirilen tuğlalar hareket halindedir. Tünel fırın pişirme sisteminde ürünlerin kalitesi yüksektir. Ayrıca tünel fırınlar üretim süresini oldukça kısaltmasının yanında yakıt ve emek tasarrufu sağlayan sistemlerdir. Pişirme aşamasında genel olarak sıvı yakıt kullanılmakta olup, bazen katı yakıtlı ve gaz yakıtlı sistemlerde yapılabilmektedir.

Ambalajlama ve dağıtım aşaması: Pişirme işlemi tamamlandıktan sonra tuğlalar paketlenmek üzere ahşap paletler üzerine belirli sayılarda sıralanmaktadır. Tuğlanın olumsuz hava koşullarından etkilenmemesi ve ahşap paletler üzerinde dağılması amacıyla naylon ile kaplanarak dağıtım yapılacak olan kamyonlara yükleme işlemi gerçekleştirilir.

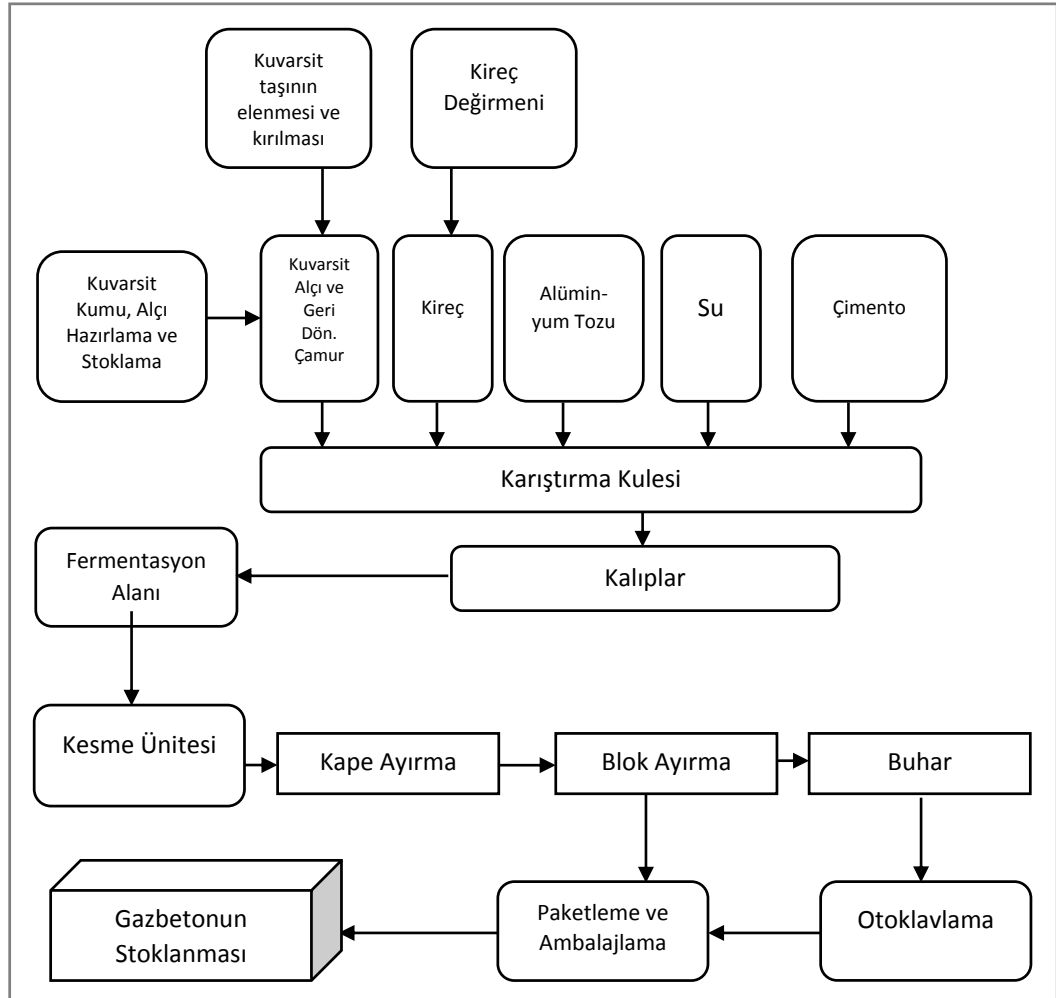
3.2. Gazbeton

Gazbeton yapı malzemesi, gözenekli, toksik olmayan, tekrar kullanılabilir, yenilenebilir ve geri dönüştürülebilir ve yalıtım, yangın, küf direnci sağlayan hafif, prekast yapı malzemesidir. TSE 12602'de "Gazbeton ve Köpük Beton Yapı Malzeme ve Elemanları Standard"ı, gazbeton ve köpük betonu birlikte ele alarak ince öğütülmüş silisli bir agrega ve inorganik bir bağlayıcı madde [kireç/çimento] ile

hazırlanan karışımın gözenek oluşturuvcu bir madde ilavesi ile hafifletilmesi ve buhar kürüyle sertleştirilmesi ile elde edilen gözenekli hafif beton olarak tanımlanmaktadır [TSE, 2011]. Çok yakından bakıldığında açıkça görülebilen çok sayıda küçük boşluklar içermektedir. Gazbeton yapı malzemesinin yapısı %84 durgun hava içeren gözeneklerden oluşmaktadır. Gazbetonun yapısında bulunan gözenekler içine sıkışmış hava, yüksek ısı yalıtımı ve gazbetona hafiflik sağlamaktadır [Tuna, 2010].

Ülkemizde gazbeton üretimi 2010-2017 yılları arasında % 6,6 oranında artış ile 5,01 milyon metreküp olarak belirlenmiştir [Türkiye Yapı Sektörü Raporu, 2017]. Bu artış oranı bize gazbetonun diğer yapı malzemelerine oranla daha fazla tercih edildiğini göstermektedir.

Çalışmanın bu bölümünde pişmiş tuğla yapı malzemesinde olduğu gibi gazbeton yapı malzemesinin beşikten kapiya süreci incelenmiştir (Şekil 3.2).



Şekil 3.2: Gazbeton yapı malzemesinin beşikten kapiya üretim süreci.

Hammadde Aşaması: Gazbeton uçucu kül, su, kireç, çimento, alüminyum tozu ve alçıdan oluşmaktadır. Gazbeton üretimi, son ürünün boşluk hacminin yüksek olmasından dolayı çok düşük hammadde tüketimi gerektirir.

Gazbeton yapı malzemesinin ana hammaddesi olan kuvarsit taşı, kuvarsit madeninden çıkarılarak kamyonlar yardımıyla üretim alanına taşınmaktadır. Hammadde hazırlık aşamasında kuvarsit taşı kırıcı yardımıyla çok küçük boyutlara küçültülerek su ile karıştırıldıktan sonra kuvarsit çamuru haline getirilmektedir. Kuvarsit çamuru daha sonra silolara aktarılarak homojen bir halde kalması için karıştırılmaktadır.

Gazbetonun diğer ana hammaddesi çimento ise çimento üretim tesislerinden üretildikten sonra kamyonlar aracılığıyla taşınarak gazbeton üretim tesisine getirilmektedir. Hammadde hazırlık aşamasında silolara aktarılarak diğer maddelerle birlikte homojen bir şekilde karıştırılmaktadır.

Gazbeton yapı malzemesinin bir diğer ana hammaddesi ise kireçtir. Gazbeton üretimi sırasında kireç hammaddesi de dışardan temin edilmektedir. Kireç de diğer hammaddeler gibi silolarda depolanmakta ve karıştırılmaktadır. Gazbetonun hammaddesi olan alçı uzun süre sert olarak kalmasını sağlamaktadır. Bir diğer hammadde olan alüminyum tozu ise üretim işlemi sırasında gerçekleşen kimyasal reaksiyon sonucunda gazbetonun gözenekli yapıda olmasını, hafif ve yangına dayanıklı bir malzeme olmasını sağlamaktadır. Bütün hammaddeler silolara aktarılmakta ve üretim aşaması için homojen kalmaları sağlanmaktadır. Hammadde sürecine katılan diğer maddeler ise gazbeton tozudur. Belirli bir kıvama getirilmiş olan hammaddeler farklı bir tank içinde karıştırılarak üretim süreci başlamaktadır.

Üretim Aşaması: Hazırlanan hammadde karışımı kalıplara dökülmekte belirli bir süre bekletilerek gazbeton yapı malzemesi kalıplar ölçüsünde [60 x 120 x 600 cm] kabarmaktadır. 1 m³ hammadde ile 5 m³ gazbeton üretilebilmektedir [Web 12, 2019]. Bu aşamada kireç su ile kimyasal reaksiyona girmekte ve bunun sonucunda ise açığa yüksek miktarda ısı ve kalsiyum hidroksit çıkmaktadır. Açığa çıkan kalsiyum hidroksite kabartıcı etkisi olan alüminyum tozu ilave edilmesinde hidrojen gazı açığa çıkarak malzemeyi yaklaşık iki kat kabartmaktadır. Açığa çıkan hidrojen gazı gazbetonun gözenekli yapısını oluşturmaktadır.

Üretim aşamasının devamında sabit boşluklar mekanik olarak farklı boyutlardaki bloklar halinde basınçlı çelik teller yardımı ile kesilir ve otoklavlarda (Şekil 3.3) 8 - 12 bar basınçta 170 - 200 °C'de yaklaşık on iki saat kadar bekletilmektedir. Gazbetonun son sertliğine, otoklavlama yoluyla çimento mukavemeti ve anlık sertleştirme mekanizması ile ulaşılmaktadır. Otoklavlama sonucunda gözeneklerdeki hidrojen gazı buhar olarak uçar ve gözeneklerin yerine hava dolarak gazbeton son halini almaktadır [Web 12, 2019].



Şekil 3.3: Otoklavlama üniteleri.

Otoklavlarda buhar basıncı sonucunda oluşan yoğuşma temiz su ile birlikte yeniden üretim için kullanılır ve ham madde karışımına yeniden eklenmektedir [Web 13, 2019]. Suyun tekrar tekrar kullanılması atık suyun gaz beton üretiminde birikmemesini sağlamaktadır.

Otoklavlama sonunda gazbeton yapı malzemesi son mukavemetine ve hacim sabitliğine erişmiş olarak otoklavlardan çıkarılmaktadır. Otoklavlardan çıkarılan gazbeton ürünleri, mekanik bir sistem yardımı ile birbirinden ayrılarak paketleme işlemi için paketleme alanına aktarılır. Ayırma sırasında gazbeton parçaları ve gazbeton tozu ortaya çıkmakta ve bu atıklar üretim sürecinde hammadde safhasına iletilerek tekrar üretime katılmaktadır.

Ambalajlama Aşaması: Gazbeton yapı malzemesi için paketleme üniteleri, optimum taşıma yapılabilecek kapasitede tasarlanmaktadır. Gazbetonun özgül ağırlığının düşük olması nedeniyle, diğer yapı malzemelerden daha fazla duvar malzemesi taşınabilmektedir. Gazbetonun sudan ve nemden etkilenmemesi için tamamen naylon ile kaplanmaktadır. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında kolaylık

olması için gazbeton ahşap paletler üzerine yerleştirilir. Paketlenen gazbeton blokları dağıtıma hazır bir halde üretim tesisi içinde depolanmaktadır.

4. TUĞLA VE GAZBETON YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü süreci içerisinde en büyük çevresel etki payına sahip olan süreç, malzemelerin üretim süreçleridir. Yapı malzemelerinin üretim süreçleri diğer süreçlere göre daha kısa olmasına rağmen, hammaddenin elde edilmesi, enerji tüketimi ve çevreye salınan zehirli gazların atmosfere salınımı önemli bir orandadır. Dolayısıyla diğer teknolojik üretim süreçleri ile beraber, yapı malzemelerinin üretim süreçlerinin de çevreye olan etkileri mümkün olduğu kadar zararsız ve çevre dostu üretim süreçlerinden oluşmalıdır.

Çalışmanın bu bölümünde tuğla yapı malzemesi ile gazbeton yapı malzemelerinin çevresel etkileri iki farklı yöntem uygulanarak karşılaştırılmıştır. İlk yöntem; dünya üzerinde çevresel ürün beyanına sahip (EPD) pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin, çevresel etki değerlerinin tablo halinde karşılaştırılmasıdır. Elde edilen değerler şekiller yardımıyla açıklanarak sonuçları tartışılmıştır. Bir diğer yöntem ise; yerel verilerin esas alındığı pişmiş tuğla ve gazbeton üreten iki farklı tesis üzerinde yapılan alan çalışmasıdır. Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin üretim yerlerinde, hammaddelerinin elde edilişi ve üretim süreçleri hakkında alan çalışması yapılarak birtakım çevresel veriler elde edilmiştir. Bu bilgiler çerçevesinde, yapı malzemelerinin çevresel etkileri ile ilgili bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirme sırasında öncelikle malzemelerin hammaddelerinin elde edilmesi aşamaları irdelenmiş olup, bunların tesislere taşınma işlemleri ve çevresel etkileri ortaya konulmuştur. Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin üretimi sırasında; tesiste kullanılan enerji kaynaklarının, tüketilen su miktarlarının, atmosfere salınan gazların çevreye olan etkileri, üretim sırasında oluşan atıkların miktarı ve bunların nasıl değerlendirildiği irdelenmiştir.

Pişmiş tuğla için yapılan alan çalışmasında, Gebze'de bulunan bir tuğla üretim tesisi seçilmiştir. Türkiye'de pişmiş tuğla yapı malzemesinin çevresel verilerini beyan eden ÇÜB bulunmamaktadır. Bu nedenle tuğlaya yönelik yapılan alan çalışmasının malzemeye ait çevresel verileri sağlaması açısından önemli olacağı düşünülmektedir. Gazbeton yapı malzemesi için ise yine Gebze de bulunan bir üretim tesisi seçilmiştir. Bu gazbeton üretim tesisinin seçilme nedeni ise, tesisin Çevresel Ürün Beyanı'na

(EPD) sahip olması ve ülkemizde en çok tercih edilen gazbeton yapı malzemesi üreten fabrika olmasıdır. Üretim tesislerine gidilerek üretim ile ilgili sorumlulardan; hammadde aşamasından fabrika kapısına kadar, malzemelerin geçtikleri aşamalar ve tüketilen enerji miktarları gibi çevresel bilgiler elde edilmiştir. Ayrıca tesisler gezilerek inceleme ve gözlem yapılmıştır. Elde edilen veriler hakkında sonuç bölümünde pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin çevresel etkileri değerlendirilmiştir.

4.1. Çevresel Ürün Deklarasyonu ile Karşılaştırma

Çevresel Ürün Beyanı [EPD]; yapı malzemelerinin YDD metodolojisini kullanarak, malzemelerin çevresel etkilerini ölçmektedir. Bu sayede müteahhit ve mimarların, ilgili çevresel konuları daha iyi anlamalarına yardımcı olmaktadır. Çevresel ürün bildireleri, nicel veriler üzerinden yapı malzemelerinin neden olduğu çevresel etkilerin karşılaştırılmasını sağlayabilmektedir. Bu karşılaştırmalar, çevresel ürün beyanı programları tarafından geliştirilen ve Ürün Kategori Kuralları (PCRs) olarak adlandırılan belirli kurallara uygun olarak geliştirilmiştir. Yapı malzemelerin potansiyel etkilerini hesaplarken tutarlılık ve karşılaştırılabilirlik sağlamak için bu kurallar gereklidir [Web 14, 2019].

ISO 14040 (2006) standardına göre, Tip 3 çevresel bildirelerinin karşılaştırabilmesi için fonksiyonel birim, sistem sınırlılıklarının aynı olması gerekmektedir. Bu bölümde; çevresel ürün beyanına sahip pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemesi üreticilerinin yapı malzemeleri, çevresel etkileri açısından karşılaştırılmıştır. Pişmiş tuğla ve gazbetonun fonksiyonel birimi 1 ton olarak belirlenmiştir. Sistem sınırı, hammadde elde edilmesinden fabrika kapısında bitmiş son ürüne kadarki [A1-A3] yaşam döngüsü aşamaları, “beşikten kapıya” süreci olarak belirlenmiştir. Tablo 4.1’de bulunan gazbeton değerleri çevresel ürün beyanlarında 1 m³ olarak hazırlanmıştır. Bu değerler kg birimine çevrilerek, birim 1 ton baz alınmış ve elde edilen veriler tablo ile ifade edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ortalama değerler üzerinden tartışılmıştır.

Tablo 4.1: Pişmiş tuğla ve gazbeton'a ait çevresel ürün bildirgesi değerleri.

		T-1	T-2	T-3	T-4	GZBTN-1	GZBTN-2/0,35	GZBTN-2/0,80	GZBTN-3	GZBTN-4	GZBTN-5
TUĞLA TİPİ		Pişmiş Tuğla	Pişmiş Tuğla	Pişmiş Tuğla	Kırmızı Kil Tuğlası	Gazbeton	Takviyesiz Gazbeton	Takviyesiz Gazbeton	Takviyesiz Gazbeton	Gazbeton	Takviyesiz Gazbeton
ÜLKE		İngiltere	Berlin	Danimarka	Danimarka	Türkiye	Berlin/Almanya	Berlin/Almanya	İngiltere	İngiltere	Almanya
EPD		BRE Global	IBU	EPD Danmark	EPD Danmark	EPD International AB	IBU	IBU	IBU	BRE	IBU
REFERANS BİRİMİ		1 ton	1 ton	1 ton	1 ton	1 ton	1 ton	1 ton	1 ton	1 ton	1 ton
SİSTEM SINIRLARI		Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya	Beşikten Kapiya
ÇEVRESEL ETKİ SINIFLARI VE DEĞERLERİ	Küresel Isınma Potansiyeli [kgCO ₂ -eşd.]	158	277,6	195	258	509,32	480	342,76	280	280	492,8
	Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli [kgCFC11-eşd.]	0	1,033x10 ⁻⁷	0,0696x10 ⁻⁷	4,27x10 ⁻⁷	203,2x10 ⁻⁷	0,068x10 ⁻⁷	0,0321x10 ⁻⁷	11,83x10 ⁻⁷	1440x10 ⁻⁷	2,83x10 ⁻⁷
	Toprak ve Suyun Asidifikasyon Potansiyeli [kgSO ₂ -eşd.]	1,35	0,6215	0,681	0,083	1,102	0,578	0,281	0,346	0,612	0,492
	Ötrofikasyon Potansiyeli [kg (PO ₄) ₃ -eşd.]	0,05	0,08021	0,0355	0,164	0,316	0,0746	0,0411	0,0331	0,0834	0,0651
	Fotokimyasal Oksidasyon Oluşma Potansiyeli [kg eten-eşd.]	0,075	0,1139	0,0352	0,0502	0,0672	0,0522	0,0248	0,1	0,0785	0,0494
	Fosil Olmayan Kaynakların Tüketimi Potansiyeli [kg Sb-eşd.]	0	0,667x10 ⁻⁴	0,718x10 ⁻⁴	3,09x10 ⁻⁴	2,080x10 ⁻⁴	5,33x10 ⁻⁴	2,42x10 ⁻⁴	4,78x10 ⁻⁴	0,0049x10 ⁻⁴	3,01x10 ⁻⁴
	Fosil Kaynakların Tüketimi Potansiyeli [MJ]	2840	3393	3020	3600	3247,25	2616	1714,93	2000	2540	3818,65

Tuğla ve gazbeton yapı malzemelerine ait ÇÜB'leri esas alındığında (Tablo 4.1);

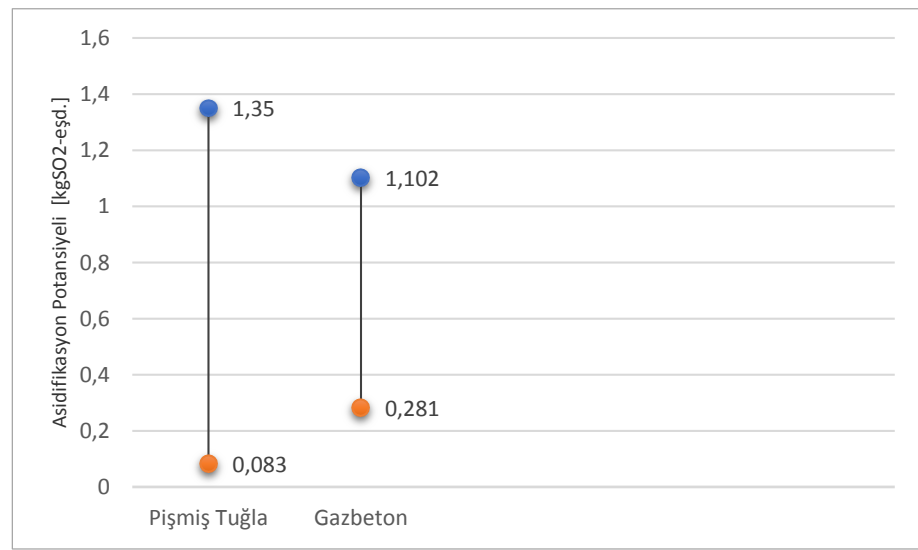
- Pişmiş tuğlanın küresel ısınma potansiyeli dört farklı sayıdaki üretici için 158 kgCO₂ eşdeğeri ile 278 kgCO₂ eşdeğerleri arasında olduğu görülmektedir [Web 15, 2018], [Web 16, 2018], [Web 17, 2018], [Web 18, 2018]. Gazbetonun küresel ısınma potansiyeli ise beş farklı sayıdaki üretici için 280 ile 509,32 kgCO₂ eşdeğerleri arasında olduğu görülmektedir (Şekil 4.1), [Web 19, 2018], [Web 20, 2018], [Web 21, 2018], [Web 22, 2018], [Web 23, 2018]. Küresel ısınma potansiyelini tuğla üretiminde kullanılan yakıt türü, pişirme fırınının türü, hammadde alanı ile üretim alanı arasındaki mesafe, üretim alanının organizasyonu, üretim şekli etkilemektedir. Gazbeton üretiminde ise ana hammaddeleri olan çimento, kireç ve alüminyum tozunun tesis dışından temin edilmesi nedeniyle bu hammaddelerinin üretim süreçleri ve tesis olan mesafeleri, kuvarsit madeninin elde edilmesi sırasında yoğun miktarda dizel yakıt tüketilmesi gibi faktörler küresel ısınma potansiyelini etkilemektedir.



Şekil 4.1: Pişmiş tuğla ve gazbetonun küresel ısınma potansiyelleri.

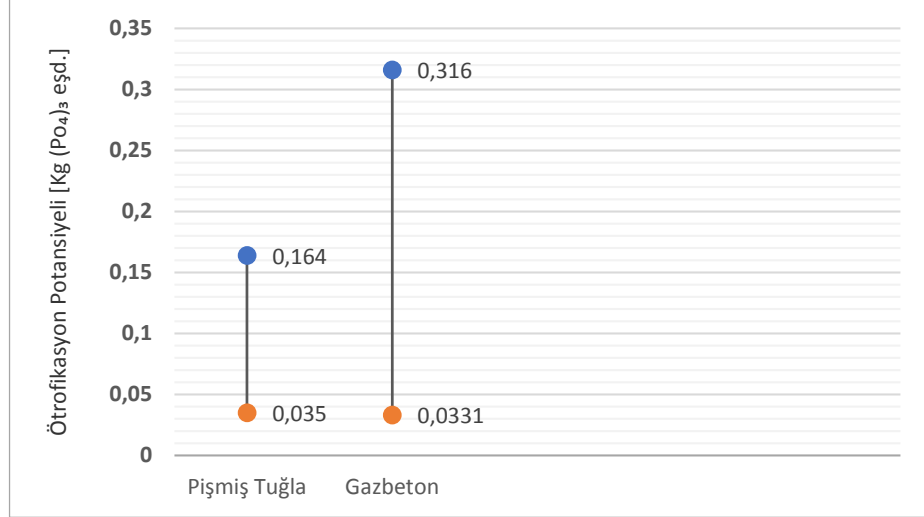
- Pişmiş tuğla üretim sürecindeki toprak ve su için asitleşme potansiyelinin 0,083 kgSO₂-eşd. ile 1,35 kgSO₂-eşd. değerleri arasında olduğu görülmektedir. Gazbetonda ise 0,281 kgSO₂-eşd. ve 1,102 kgSO₂-eşd. değerleri arasında olduğu

görülmektedir (Şekil 4.2). Asitleşmeye tuğla üretiminde fırınlama sırasında yoğunlukla kömürün kullanılması sonucunda açığa çıkan NO_x 'ler neden olmaktadır. Gazbetonda ise üretimi sırasında çoğunlukla doğalgaz kullanılması ve doğalgaz yakıt türevinin içeriğinde bulunan kükürt gazının düşük değerde olması, atmosfere salınan kükürt oranını da düşürmektedir. Fakat doğalgazın yanması sonucu açığa yoğun miktarda azot oksit çıkmaktadır. Açığa çıkan NO_x 'ler, gazbeton yapı malzemesinin asitleşme potansiyelini arttırmaktadır (Şekil 4.2).



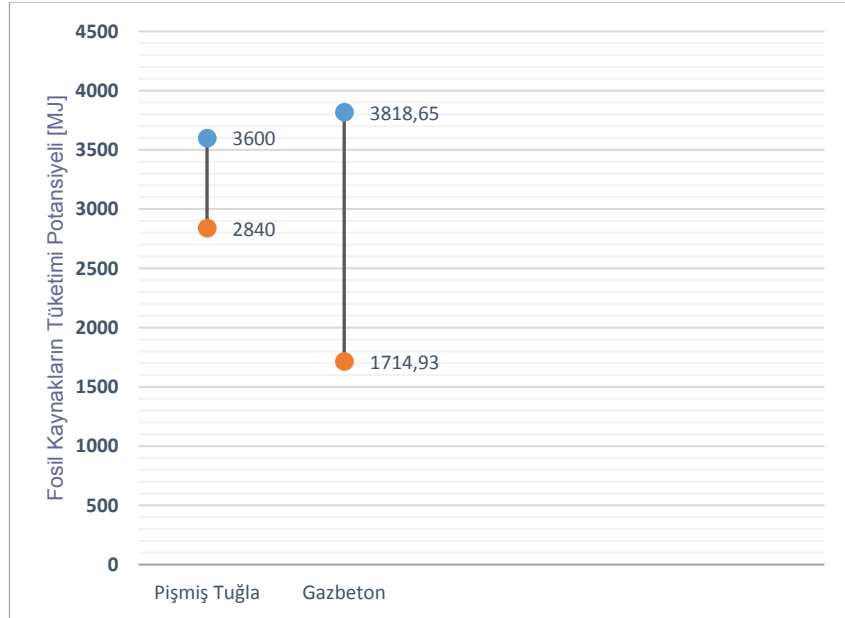
Şekil 4.2: Pişmiş tuğla ve gazbetonun asidifikasyon potansiyelleri.

- Yapı malzemelerinin üretimi sırasında ötrofikasyonun artması, fosil yakıtların yanması sonucu oluşan azot oksitlere bağlıdır. Ötrifikasyon potansiyeli pişmiş tuğla için 0,035 kg $(\text{PO}_4)_3$ -eşd. ve 0,164 kg $(\text{PO}_4)_3$ -eşd. değerler arasında, gaz beton için 0,0331 kg $(\text{PO}_4)_3$ -eşd. ve 0,316 kg $(\text{PO}_4)_3$ -eşd. değerler arasındadır (Şekil 4.3). Tuğla üretiminde ötrifikasyona kullanılan yakıt türü kömür veya doğalgazın yanması neden olmaktadır. Bu değerlerin gazbetonda fazla olmasının nedeni ise gazbetonun otoklavlanmasında yoğun doğalgaz tüketilmesidir. Doğalgaz kullanımı ile de çevreye yüksek miktarda NO_x salınmaktadır.



Şekil 4.3: Pişmiş tuğla ve gazbetonun ötrofikasyon potansiyelleri grafiği.

- Pişmiş tuğlanın fosil kaynak tüketim oranı 2840 MJ ve 3600 MJ değerler arasında, gaz beton için 1714,93 MJ ve 3818,65 MJ değerler arasındadır (Şekil 4.4). Tuğla üretim sürecinde suni kurutma ve fırınlama gibi süreçlerde fosil yakıt tüketimi olmaktadır. Gazbeton üretim sürecinde ise otoklavlama süreçlerinde yoğun olarak fosil yakıt tüketimi olmaktadır.



Şekil 4.4: Pişmiş tuğla ve gazbetonun fosil kaynak tüketim potansiyelleri.

Yukarıdaki çevresel verilere bakıldığında ele alınan çevresel ürün bildireleri kapsamında asitleşme, fosil yakıt tüketimi, fotokimyasal oksidasyon oluşma potansiyeli tuğla üretim süreci için; küresel ısınma potansiyeli, ozon tabakasının incilmesi potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, fosil olmayan kaynakların tüketilmesi çevresel etki kategorilerinin ise gaz beton üretim süreci için fazla olduğu görülmektedir.

İngiltere'deki Sürdürülebilir Yapılar için Yeşil Bina ve Ürün Tasarımı kaynağına göre; beşikten kapiya süreçte tuğlanın enerji tüketimi kilogram başına 3 MJ iken gazbetonun bu süreç içindeki enerji tüketimi 3.50 MJ olarak verilmiştir. Yine bu kaynakta, kilogram başına CO₂ salımı ise tuğlanın 0.24 CO₂/kg, gazbetonun 0.30 CO₂/kg olarak beyan edilmiştir. Yukarıdaki tablolarda da belirtildiği gibi küresel ısınma potansiyeli, enerji tüketimi gazbeton için daha fazladır [Web 24, 2019].

4.2. Alan Çalışması

Çalışmanın bu bölümünde geleneksel yapı malzemesi olarak pişmiş tuğla ve çağdaş yapı malzemesi olarak ise gazbetonun çevresel etkilerini değerlendirmek üzere alan çalışması sunulmuştur. Pişmiş tuğla yapı malzemesi için üç farklı üretim tesisindeki üretim aşamaları yerinde incelenmiştir. Üç farklı üretici firmaya firmadan pişmiş tuğlanın beşikten kapiya sürecinde tüketilen enerji miktarı, hammadde, enerji, tüketilen su miktarı, açığa çıkan zehirli gazlar ve oluşan atıklar hakkında bilgiler yüz yüze görüşme yoluyla elde edilmiştir. Pişmiş tuğla için tez çalışmasında verilen bilgilere sahip Gebze de bulunan üretim tesisinin değerleri; ortalama değerlere en yakın olması nedeniyle seçilmiştir. Gazbeton yapı malzemesi için Gebze'de bulunan üretim tesisine gidilerek yerinde incelemeler yapılmış, gazbetonun beşikten kapiya kadarki süreci hakkında sözlü ve yazılı dökümanlardan bilgi elde edilmiştir. Gazbeton üretim tesisinin Çevresel Ürün Bildirgesi bulunmaktadır. Bu tesise ait çevresel etki değerleri Çevresel Ürün Bildirgesinden elde edilmiştir. Ayrıca üretici firmanın elde edilmiş olan bilgiler dört farklı üretim tesisi verilerinin ortalama değerleridir. Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin çevresel etkileri değerlendirmesinde 1 m³ referans birim olarak dikkate alınmıştır. Alan çalışması için bu iki yapı malzemesinin çalışma için seçilmesinin nedeni günümüzde duvar elemanı olarak en çok kullanılan

yapı malzemesi olması ve Türkiye de yapı sektörü açısından Türk yapı sektöründe üretim açısından büyük orana sahip olmasıdır.

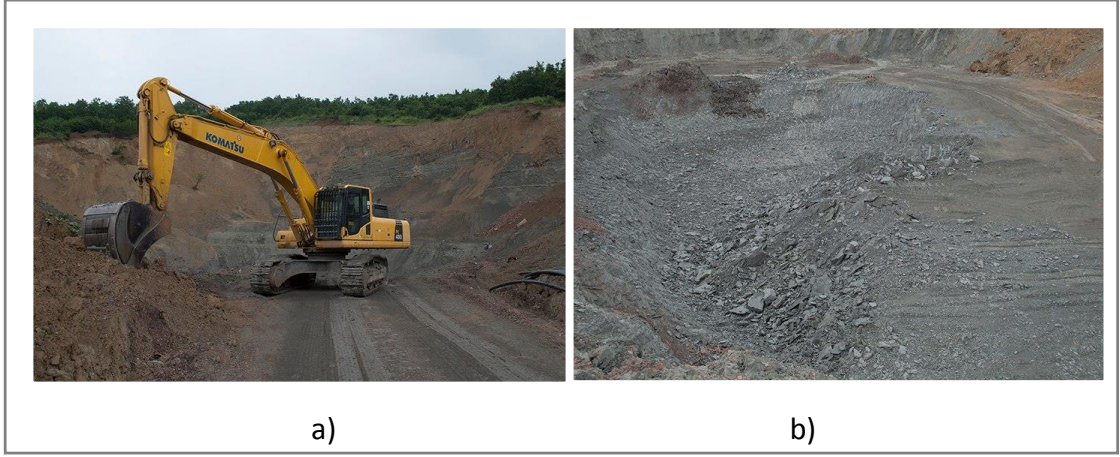
4.2.1. Pişmiş Tuğla Yapı Malzemesi

Türk Yapı Sektörü Raporu 2017'ye göre Türkiye'de tuğla üreten 261 adet firma bulunmakta ve 2017 yılı satışlarının 1,17 milyon ton düzeyinde olduğu tahmin edilmektedir. Türkiye tuğla ihracatı noktasında dünya üzerinde 180 ülkeden 32. sırada yer almaktadır [Türkiye Yapı Sektörü Raporu, 2017]. Bu bağlamda tuğla hem geleneksel hem de günümüzde kullanılan, Türkiye'de ihracat ve ithalat payı yüksek bir yapı malzemesi olmasından dolayı ve üretim verilerine erişilebildiğinden tez kapsamında incelenmek üzere seçilmiştir.

Pişmiş tuğla üretimi yapan tesis Kocaeli ili Gebze ilçesinde bulunan 96.000 m² arazi üzerine kurulu, 41.000 m² üretim sahasına sahip tünel fırın kurutma ve doğal kurutma sistemine sahip Hoffman fırın ile pişirme yapmaktadır. Tesiste günlük 80 bin adet pişmiş tuğla üretilmektedir. Tesis ISO 9001-2008, TSE belgelerine sahiptir. Pişmiş tuğla üretim tesisi yıl içinde 280-300 gün üretim yapmaktadır. Bu çalışmada kullanılan bilgiler 13,5 cm kalınlığındaki pişmiş tuğlaya ait verilerdir.

4.2.1.1. Hammadde Elde Edilmesi

Pişmiş tuğlanın hammaddesi olan kil hafif dağlık kırsal alandan çıkarılmaktadır (Şekil 4.5). Pişmiş tuğlanın üretiminin tamamı tükenebilir hammadde kaynağı olan kilden yapılmaktadır. Kullanılan hammaddenin tamamı yerli kaynaklardan sağlanmaktadır.



Şekil 4.5: a) Hammaddenin çıkarılma aşaması, b) Hammaddenin çıkarıldığı alan.

Kilin kaynağından çıkarılması sırasında ekskavatör ve bekoloader gibi iş makineleri kullanılmakta olup, toplamda günlük 150 L yakıt tüketilmektedir. Hammaddenin çıkarıldığı alanda arazinin yapısında bozulmalar meydana gelmektedir. Pişmiş tuğla hammaddesinin temini ve bütün üretim süreçleri içerisinde toplam 32.400 L/yıl kadar dizel yakıt tüketilmektedir. Tesiste tuğla üretimi için çıkarılan yıllık hammadde miktarı yaklaşık 39.900 m³/yıl'dır. Hammadde çıkarılması aşamasında tüketilen yakıt sonucunda atmosfere: taşıma ve hammadde çıkarma aşamasında kamyon ve iş makinelerinden kaynaklı toz partikülleri, yine iş makineleri ve kamyonların kullandığı dizel yakıtların yanması sonucunda çevreye CO, CO₂, SO_x ve NO_x gazları salınmaktadır. Pişmiş tuğlanın hammadde eldesinde; kil, nebati toprak ve çok az miktarda tuğla kırığı kullanılmaktadır.

4.2.1.2. Nakliye

Kaynağından çıkarılan kil hammaddesi yaklaşık 6 km. mesafe uzaklıktan üretim tesisine ağır tonajlı kamyonlar yardımıyla taşınmaktadır. Elde edilen bilgilere göre 1 ton pişmiş tuğlanın hammaddesi olan kilin tesise taşınması için 948.000 kWh/ton enerji tüketilmektedir. Hammaddenin tesise taşınmasında karayolu kullanılmaktadır. Kaynağından çıkarılan kilin üretim tesisine taşınması için günlük 110 L yakıt tüketilmektedir.

4.2.1.3. Üretim

Üretim tesisine getirilen kil belirli bir zaman mayalanmaya bırakılmaktadır. Kilin mayalanmaya bırakılmasının amacı nemin kil tarafından daha homojen olarak dağılması ve kilin kendi içinde daha iyi karışmasını sağlamaktır (Şekil 4.6). Bu şekilde kilin mayalanmaya bırakılması hammadde hazırlanması ve şekillendirilmesi işlemleri arasında bir nevi depolama sistemi kurarak hammadde hazırlanması arızalarının şekillendirme aşamalarını etkilemesini önlemekte ve üretim verimliliğini artırmaktadır [Zal, 2010].



Şekil 4.6: a) Kil hammaddesinin küçük boyutlara ayrıldığı alan, b) Kil hammaddenin karıştırıldığı alan.

Düzgün bir şekillendirme için kilin nem içeriğinin ağırlıkça % 23 ile %25 arası olması gerekmektedir. Kış aylarında, çıkarılan kilin nem içeriği yaklaşık % 18'dir ve daha az sulama gerekir. Bununla birlikte, yaz aylarında yeterli nem içeriğini elde etmek için ek sulamaya ihtiyaç duyulur. Bunun sonucunda elde edilen kil çamuru silolarda bekletilerek pişmiş tuğla üretimine katılmaktadır.

Pişmiş tuğla üretiminde kullanılan kilin esnek plastisiteye sahip olabilmesi için su oranının %25 ile %30 arasında olması gerekmektedir. Bu aralık dışındaki killer üretim aşamaları sırasında çatlamalara neden olmaktadır.

Üretim tesisinde biriktirilmiş olan kil, öncelikle hammadde hazırlama aşamasına tabi tutulmaktadır. Sırasıyla; beşiger, taş ayırıcı, kırıcı, silo beşiger ve valsler kullanılarak hammadde hazırlanarak şekil verilmektedir. Daha sonra hazırlanan

hammadde şekillendirme işlemine gönderilmektedir. Vakum presine yani ekstrüder makinasına gelen tuğla hamuruna şekil verilmektedir (Şekil 4.7). Şekillendirme aşamasında deforme olan parçalar var ise bunlar tekrar bir bant sistemi üzerinden makineye gönderilip kullanılmaktadır. Vakum presinin ağzındaki kalıp ile iki boyutlu şeklini alan tuğla, bant üzerinde kesilerek üçüncü boyutunu almaktadır. Bu işlemler sırasında elektrik enerjisi ve su tüketilmektedir. Tesiste makinelerin tam verimle çalışması sonucunda günlük 11.000 kWh elektrik tüketilmektedir. 1 m³ tuğla üretimi için 28,18 kWh elektrik enerjisi tüketilmektedir. Bununla birlikte günlük su tüketim miktarı 150 ton/m³ olmaktadır. 1 m³ pişmiş tuğla üretimi için tesiste tüketilen su miktarı 226,12 kg/m³'tür.



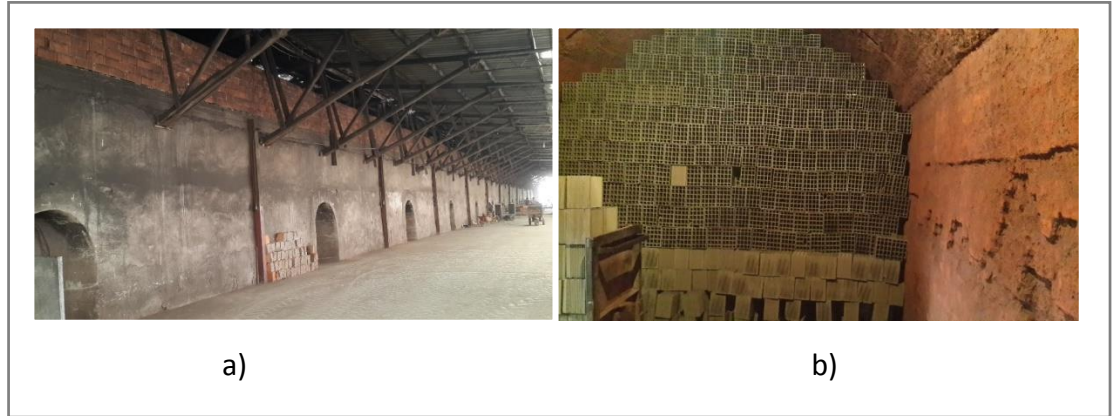
Şekil 4.7: a) Yaş delikli tuğlanın şekillendirildiği vakum pres makinesi, b) Vakum presinden çıkan yaş tuğla.

Pişmiş tuğla üretim tesisinde tünel fırın kurutma sistemi ve doğal kurutma olmak üzere iki çeşit kurutma yöntemi kullanılmaktadır. Yoğun olarak kullanılan kurutma yöntemi tünel fırın kurutmadır. Vakum presinden çıkarılan pişmemiş tuğlalar, ilk kurutma safhası için tünel fırın kurutma alanına iletilir. Tünel tipi fırın kurutma alanına ekstrüde tuğlalar, insan gücü ile sehpalara yerleştirilir ve yine insan gücü kullanılarak raylı sistem yardımıyla tünel fırına yerleştirilmektedir. Bunun yanında hava sıcaklığının yüksek olduğu zamanlarda pişmemiş ham tuğlalar insan gücü ile sehpalara yerleştirilmekte ve ardından traktörler yardımı ile doğal kurutma

alanına taşınmaktadır. Ayrıca kil toprağın hammadde haline getirilebilmesi için günlük 31,11 ton su tüketilmektedir.

Tünel tipi kurutmada, tuğla yapı malzemesinin kurutma işlemi, doğal koşullara bırakılmadan ek bir enerji ile ısının ve hava hareketinin fazlaştırılmasıyla yapılmaktadır. Killi maddenin içindeki serbest suyun; önce yüksek buhar basıncı ve düşük sıcaklık, kurutmanın sonuna doğru alçak buhar basıncı ve yüksek sıcaklık sağlanarak dışarı atılması prensibine dayanır. Tünellerde kurutma için kullanılan ısı pişirme için yakılan taş kömüründen elde edilen ısı, aspiratörler yardımıyla kurutma tüneline aktarılmaktadır. Pişmiş tuğla üretimi sırasında % 1,5 kadar tuğla kırığı zayıyatı oluşmaktadır.

Kurutma aşaması tamamlandıktan sonra, pişmemiş tuğlalar pişirilmek üzere Hoffman fırınlarına yerleştirilmektedir (Şekil 4.8). Tesiste iki adet Hoffman fırını bulunmaktadır. Hoffman fırınlarında tünel fırın çalışma prensibinin tersi olarak pişirme bölgeleri hareketli olup tuğlalar sabit kalmaktadır. Dairesel tonoz kesitli kamaralara tuğlalar yerleştirilmekte kamaralar arasındaki hava ile ısı akımı duvar delikleriyle sağlanmaktadır. Duvardaki delikler açılıp kapatılabilmektedir. 1 m³ pişmiş tuğla üretimi için tesiste 39,33 kg/m³ taş kömürü tüketilmektedir.



Şekil 4.8: a) Hoffma fırın dıştan görünüm, b) Hoffman fırın içerisindeki kurutulmuş tuğlalar.

Hoffman fırınında tuğlanın pişme sıcaklığı 800 – 850 °C arasındadır. Tesiste bulunan Hoffman fırınında yakıt olarak taş kömürü kullanılmaktadır. Toplamda 4300 ton/yıl taş kömürü kullanılmaktadır. Hoffman fırınlar tesiste sürekli pişirme

durumunda bulunmaktadır. Hoffman fırınlarında pişirilen tuğlalar sehpalara yüklemeleri yapılarak paketleme yapılacak alana forkliftler yardımı ile taşınmaktadır. Tuğlaların bir kısmı ise üretim tesisinin uygun bir bölgesinde istiflenmektedir.

Pişirilen tuğla fırının kapısı açılarak, ortam havası ile soğutulmaktadır. Fırının tavana yakın yan duvarlarındaki hava kanalları açılarak fırın içine hava girişi sağlanmaktadır. Bu hava geçiş işlemi fırın bacasındaki hava fanları ile gerçekleştirilmekte, emilen sıcak gaz, fırının üzerindeki bacadan dışarıya verilmektedir.

Pişirme sonrasında soğuyan tuğlalar yine insan gücü kullanılarak fırın dışına çıkartılmaktadır. Fırın veya fırın vagonu önüne getirilen araca tuğlalar yüklenmekte ve forklifler yardımı ile paketleme alanına getirilmektedir. Paletler üzerinde ambalajlanarak stoklanmakta, dağıtımına hazır hale getirilmektedir (Şekil 4.9). Bu işlemler sırasında forkliftler yaklaşık günlük 9,8 lt motorin yakıt tüketmektedirler. Pişmiş tuğlaların paketlenmesi sırasında 17 mikron naylon streç film kullanılmaktadır. Yıllık toplam tüketilen naylon miktarı 4030 ton/yıl olarak karşımıza çıkmakta olup, günlük kullanılan streç film miktarı ise 276 kg'dır. 1m³ tuğla için tüketilen streç naylon miktarı ise 0,707 kg olarak karşımıza çıkmaktadır. Yükleme ve boşaltma işlemleri sırasında kolaylık olması için ahşap paletler üzerine yerleştirilen ve naylon ile kaplanan pişmiş tuğlalar için yıllık toplamda 56 bin adet (yaklaşık 19 bin ton) ahşap palet kullanılmaktadır.



Şekil 4.9: Paketlenmiş tuğlalar.

4.2.2. Gazbeton Yapı Malzemesi

Gazbeton kuvarsit kumu, çimento, kireç, alüminyum tozu ve suyun karıştırılması sonucunda oluşturulan harcın, yüksek basınç altında otoklavlanması ile elde edilen gözeneklere sahip bir yapı malzemesidir. Gazbeton yapı malzemesinde bulunan küçük hava gözenekleri, yüksek ısı yalıtımı ve hafiflik sağlamaktadır.

Bu bölümde gazbeton yapı malzemesi için Kocaeli ili Gebze ilçesinde bulunan günlük 450.000 m³ gazbeton üretim hacmine sahip üretim tesisinden alınan verilerden yararlanılmıştır. Ülkemizde de en çok tercih edilen üretici firma ve çevresel ürün bildirgesine sahip olması çalışmada seçilmesinin ana nedenlerindedir. Çalışma için gazbeton 60x25x30 cm ölçülerinde donatısız gazbeton duvar bloğu seçilmiştir.

4.2.2.1. Hammadde Elde Edilmesi

Gazbeton yapı malzemesinin ana hammadde kaynağı %50 oranda karışıma katılan kuvarsit taşıdır. Sırasıyla; Kuvarsit, kireç, çimento, alüminyum tozu, alçı taşı, gazbeton çamuru, gazbeton tozu hammaddelerinin bir araya gelmesi ile oluşmaktadır.

Gazbeton yapı malzemesinin ana hammaddesi olan kuvarsit taşı, kuvarsit madeninden iş makineleri yardımı ile çıkarılmakta, kamyonlarla çeneli kırıcı adı verilen, taşın daha küçük boyutlara gelmesini sağlayan kırıcıya taşınmaktadır (Şekil 4.10). Çeneli kırıcı makinesinde elektrik enerjisi tüketilmektedir. Değirmen içinde su ile öğütülen kuvarsit taşı belli bir zaman sonra kuvarsit çamuru olarak silolarda depolanmaktadır. Bu aşamada elektrik enerjisi ve su tüketilmektedir. Değirmenin çalışması için 380 kWh'lık motor kullanılmaktadır.



Şekil 4.10: Kuvarsit taşının öğütüldüğü değirmen alanı.

Değirmen alanından sonra kuvarsit çamurları, 4 adet kuvarsit çamuru tankına taşınmaktadır. Bu tanklar 7/24 çalışmakta olup çamurun homojen bir halde kalmasını sağlamaktadır. Hammadde aşamasında ayrıca kireç ve çimento, hazır olarak üretim tesisi dışından temin edilmektedir. Elde edilen hammaddeler silolarda karıştırılarak üretim aşamasına hazır halde bekletilmektedir. Tesiste yıllık olarak toplamda sırasıyla 157.500 ton kuvarsit kumu, 8.000 ton alçı taşı, 96.000 ton kireç ve 1.800 ton alüminyum tozu kullanılmaktadır. Hammadde aşamasında 1 m³ gazbeton üretimi için 865,5 MJ yenilenemeyen birincil enerji tüketimi gerçekleşmektedir.

4.2.2.2. Nakliye

Üretim tesisine yaklaşık 1 km uzaklıkta bulunan kuvarsit taşı bu alandan kamyonlarla, mikron boyutlara ulaşmasını sağlayan değirmene kamyonlar yardımıyla taşınmaktadır. Yaklaşık 1100-1200°C sıcaklıkta üretilen kireç, 40 km uzaklıkta mesafeden gaz beton üretim tesisine taşınmakta ve kireç silolarında bekletilmektedir. Çimento ise 164 km + 118 deniz mili kadar uzaklıktan üretim tesisine getirilmektedir. Alüminyum tozu ise tesise yaklaşık 2.000 km mesafeden taşınmaktadır.

4.2.2.3. Üretim

Gazbeton üretiminin ilk aşamasında sırasıyla; Kuvarsit çamuru, kireç, çimento, alüminyum tozu, gazbeton tozu, gazbeton çamuru, su tank içinde karıştırılır. Daha

sonra 60 x 120 x 600 cm uzunluğundaki kalıplara aktarılır (Şekil 4.11). Kirecin su ile kimyasal reaksiyona girmesi sonucu yüksek miktarda ısı ve kalsiyum hidroksit açığa çıkmaktadır.



Şekil 4.11: Gazbeton hammaddesinin kalıplara aktarıldığı alan.

Açığa çıkan kalsiyum hidroksite (kabartıcı etkisi olan) alüminyum tozu ilave edilir, hidrojen gazı açığa çıkar ve bu da malzemeyi yaklaşık iki kat kabartır. Açığa çıkan hidrojen gazı, gaz betonun gözenekli yapısını oluşturmaktadır. Yaklaşık 150 dakika sonra kabarma işlemi tamamlanır, sonrasında yaş kesime geçilir. Kalıplardan çıkarılan kütleler kesim alanına getirilir ve bu alanda basınçlı çelik teller yardımı ile gaz beton istenilen ölçülere göre kesim işlemi yapılır (60 x 25 x 10-30 cm). Bu aşamada kullanılan araçlarda elektrik enerjisi tüketilir. Yaş kesim işlemi sonucunda ortaya çıkan parçalar (0,4 m³) su ile karıştırılarak çamur haline getirilir ve tekrar üretime katılır.

Gazbetonun kendine has düşük yoğunlukta yüksek basınç mukavemeti, otoklavlardaki buhar sertleşmesi sonucu elde edilmektedir. Kesim aşamasından sonra döküm arabaları otoklavlara (25 x 45 m dairesel tüpler) alınarak doymuş su buharında 12 atm basınç altında ve 190 °C sıcaklık altında 10 saat süre ile sertleştirilir. Bunun sonucunda otoklav çıkışında gazbeton son mukavemetine ve hacim sabitliğine erişmiş olur. Bu aşamada doğalgaz enerjisi, elektrik enerjisi ve su tüketilmektedir. Otoklavlardan çıkarılan gazbeton ürünleri, mekanik bir sistem yardımı ile birbirinden ayrılarak paketleme işlemi için paketleme alanına aktarılır (Şekil 4.12).



Şekil 4.12: Otaklavlardan çıkan gazbetonu ayırma işlemi.

Gazbeton yapı malzemesinin paketlenmesi için üretim tesisine yıllık 410.000 adet 14.350 ton ahşap palet ve 370.000 paket 23 mikron kalınlığında 6.290 ton naylon getirilmektedir. Paketleme sırasında gaz beton tekrar gözden geçirilerek kusurlu ürünler ayrılır.

Gazbeton ürünleri, ahşap paletler üzerine yerleştirildikten sonra naylon ile kaplanır (Şekil 4.13). 1 m³ gazbeton için yaklaşık 0,79 kg naylon kullanılmaktadır. Kaplanan naylonlar doğalgaz ile ısıtılarak paketleme işlemi tamamlanır. Paketlenen gaz beton blokları dağıtımına hazır bir halde üretim tesisi içinde depolanmaktadır.



Şekil 4.13: Gazbeton yapı malzemesinin paketlenme ve depolama işlemi.

Alan çalışması sonucunda elde edilen çevresel veriler tablo halinde gösterilmiştir (Tablo 4.2). Bu veriler 1 m³ fonksiyonel birim için düzenlenmiştir.

Tablo 4.2: Alan çalışması sonucunda elde edilen veriler.

	NO	PARAMETRELER	PİŞMİŞ TUĞLA	GAZBETON
FİZİKSEL ÖZELLİKLERİ	1	Biçimi	Yatay ve Düşey Delikli Blok Tuğlalar	Duvar blokları
	2	Boyutları ve Ağırlık	190x135x190 mm	600x250x300 mm
	3	Basınç Dayanımı	2.5-3 N/mm ²	1,5-5 N/mm ²
	4	Kuru Yoğunluk	2850 kg/ m ³	500 kg/m
	5	Isıl İletkenlik	0,24-0,33 W/(mK)	0,085-0,16 W/(mK)
HAMMADDE EDİNİM SÜRECİ / A-1	6	Hammadde bileşimi	Killi Toprak + Su+ Tuğla Kırığı	Kuarsit kumu + Kireç + Çimento + Alüminyum Tozu + Alçı Taşı
	7	Hammaddenin üretim yerine uzaklığı	6 km.	Kuarsit Taşı – 1 km. Kireç – 40 km. Çimento – 164 km+118 deniz mili
	8	Edinilen Hammadde Miktarı	39900 m ³ /yıl	149950 m ³ /yıl
	9	Hammadde Edinim Sistemi	Ekskavatör-Kamyon Kazı Sistemi	Ekskavatör-Kamyon Kazı Sistemi
	10	Hammadde Elde Edilmesi Sırasında Tüketilen Yakıt Miktarı	0,81 L/m ³ * 8,68 kWh/m ³ 31,248 MJ/m ³ 2,3247 kg/m ³ CO ₂	1,74 L/m ³ 17.571 kWh/m ³ 63,2556 MJ/m ³ 125 kg/m ³ CO ₂
NAKIYE / A-2	10	Ulaşım biçimi	16 tonluk kamyon	25 tonluk kamyon
	11	Tüketilen Enerji Türü ve Miktarı	Yakıt, iş gücü 32.400 L/yıl	Yakıt, iş gücü 315.840 L/yıl
	12	Taşıma sırasında açığa çıkan gazlar	0,34 kg/m ³ CO ₂	4,72 kg/m ³ CO ₂ *** 0,0219 kg/m ³ SO ₂ *** 69,5 MJ
ÜRETİM SÜRECİ / A-3	13	Üretim Yöntemi	Suni ve doğal kurutma, Hoffman fırını pişirme	Kalıplarda kabartma işlemi, 12 bar buhar basıncı ve 190 °C sıcaklıkta otaklavlama
	14	Üretimde kullanılan ürünler	Kil, tuğla kırığı, nebatî toprak, su, taş kömürü	Kuarsit kumu, çimento, kireç, su, Alüminyum tozu, doğal gaz
	15	Üretim için tüketilen enerji ve miktarları	Elektrik Enerjisi: 28,18 kWh/m ³ Taş Kömürü: 39,33 kg/m ³ ** Su tüketimi: 226,12 L/m ³ Yakıt tüketimi: 0,380 L/m ³	Elektrik Enerjisi: 13 kWh/m ³ Doğalgaz Tüketimi: 7 m ³ Su tüketimi: 402 L/m ³ Yakıt tüketimi: 0,013 L/m ³
	16	Üretimde kullanılan donanımlar	Beşiger, Taş ayırıcı, kırıcı, silo beşiger, Vals, Vakum Pres, Kurutma fırınları, Hoffman Fırın, Buhar kazanı, taşıtlar	Çeneli Kırıcı, Değirmen, Kuarsit Çamuru Tankı, Gazbeton Kalıpları, Basınçlı Kesme Makineleri, Otaklavlar, Ayırıcı Makineler, Paketleme Sistemi
	17	Oluşan Salımlar	115,30 kg/m ³ CO ₂ 2,3059 kg/m ³ SO ₂ 1158,73 MJ/m ³	37,4 kg/m ³ CO ₂ 0,140 kg/m ³ SO ₂ 0,00659 kg/m ³ C ₂ H ₄ 448 MJ/m ³
	18	Üretimde için gerekli pişirme sıcaklığı	850 – 1000 °C	190 °C
	19	Üretimde oluşan atık miktarı	0,03 m ³ Tuğla kırığı	0,4 m ³ gazbeton tozu ve 0,4 m ³ gazbeton çamuru
	20	Üretimde tüketilen su miktarı	384 L/m ³	402 L/m ³
PAKETLEME AŞAMASI	21	Paketleme için Kullanılan Streç Naylon Miktarı	17 mikron / 0,707 kg/m ³	23 mikron / 0,79 kg/m ³
	22	Kullanılan Ahşap Palet Miktarı	0,61 ad/m ³ - 21,35 kg/m ³	0,92 ad/m ³ - 32,40 kg/m ³

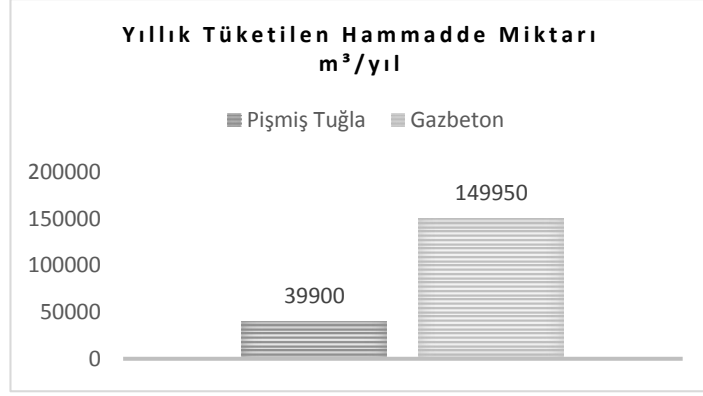
*1 litre dizel = 2.87 kg CO₂ eşdeğeri ve 1 litre benzin = 2.59 kg CO₂ eşdeğeri (Kus H. ve diğ., 2008).** 1 kg taş kömürü yanması= 2,86 kg CO₂ eşdeğeri (Shahzad Baig K. ve Yousaf M, 2017)

***[Web 25, 2019]

4.2.3. Çevresel Etkilerin Alan Çalışmasına Göre Karşılaştırılması

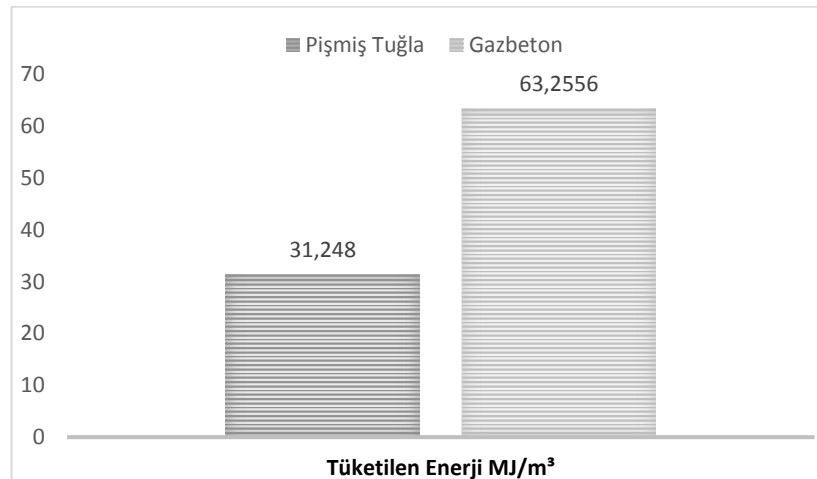
Hammaddenin elde edilmesi ve nakliye aşamasında pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin hammadde edinim aşamaları birbirinden farklı süreçleri içermektedir. Pişmiş tuğlanın ana hammaddesi olan kil üretim tesisine 6 km uzaklıkta çıkarılmaktadır. Kilin kaynağından çıkarılması için ekskavatör ve diğer iş makineleri günlük ortalama 150 L çıkarılan kilin fabrikaya taşınması için ise; 16 tonluk kamyonlar ve günlük ortalama 110 L motorin tüketilmektedir. 1 m³ pişmiş tuğla hammaddesinin elde edilmesi ve üretim tesisine taşınması için 0,81 lt/m³ dizel yakıt tüketilmektedir. 1 m³ hammaddenin elde edilmesi aşamasında atmosfere 2,3247 kg/m³ CO₂ salınımı gerçekleşmektedir. Pişmiş tuğla için yıllık 39900 m³/yıl kil hammaddesi çıkarılmaktadır (Şekil 4.14). Ayrıca 1 m³ pişmiş tuğla için hammadde aşamasında 31,248 MJ enerji tüketilmektedir (Şekil 4.15).

Gazbeton yapı malzemesinin ana hammaddesi kuvarsit taşı tesise 1 km uzaklıkta kuvarsit madeninden çıkarılmaktadır. Gazbetonun diğer hammaddeleri olan çimento 164 km + 118 deniz mili, kireç 40 km mesafede uzaklıktan 25 tonluk kamyonlar ile tesise hazır halde taşınmaktadır. 1 m³ hammaddenin çıkarılması ve tesise taşınması için 1,74 L/m³ dizel yakıt tüketilmektedir. Gazbeton yapı malzemesinin hammaddelerinin kaynağından üretim tesisine taşınması sırasında 4,72 kg/m³ CO₂ atmosfere salınmaktadır. Tesiste yıllık toplam 149950 m³/yıl hammadde tüketilmektedir (Şekil 4.14). Arazinin düzensiz kullanılması topoğrafyanın doğal yapısının bozulmasına ve alanda yapay gölet oluşmasına neden olmuştur.



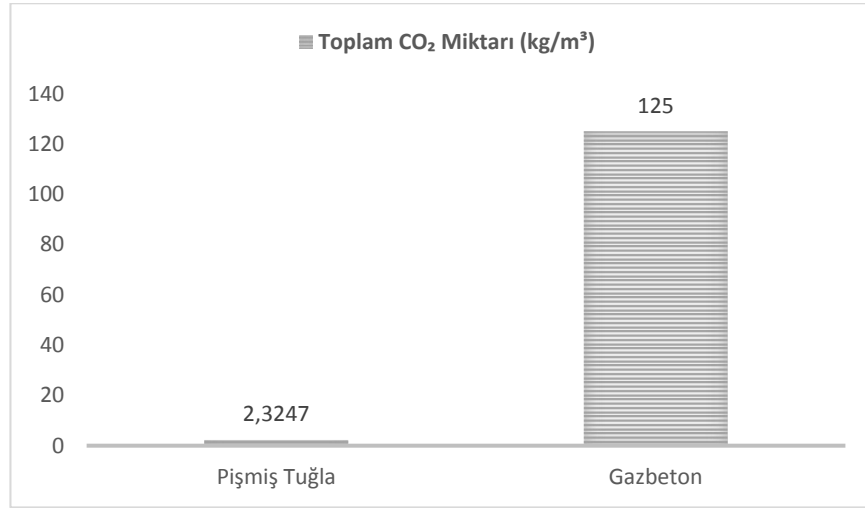
Şekil 4.14: Yıllık tüketilen hammadde miktarı.

1 m³ gazbeton elde edilmesi için 63,2556 MJ enerji tüketilmektedir (Şekil 4.15). Tablo 4.2 ve Şekil 4.15’de gösterilen verilere göre gazbeton yapı malzemesinin hammadde elde edilmesi sırasında tüketilen enerjinin pişmiş tuğlaya göre daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun nedenlerinden biri çimento kireç gibi ana hammaddelerin hazır olarak tesise getirilmesi sırasında tüketilen enerjiden kaynaklanmaktadır. Bir diğer önemli neden ise ana hammadde olan kuvarsit taşının yılın neredeyse tamamında maden ocağından çıkarılması ve kuvarsit taşının kuvarsit kumuna dönüştürülmesi sırasında kullanılan 380 kWh/s’lik çeneli kırıcının günün her saatinde çalışmasıdır.



Şekil 4.15: Pişmiş tuğla ve gazbeton üretimi için hammadde elde edilmesi sırasında tüketilen enerji.

Yapı malzemelerinin hammaddesi elde edilmesi sürecinde iş makineleri, üretim tesisine taşınması sırasında ise ağır tonajlı kamyonlar kullanılmaktadır. Pişmiş tuğla yapı malzemesi için tesise sadece killi toprak kaynağından çıkarılarak taşınmaktadır. Gazbeton yapı malzemesinde ise kuvarsit taşı tesise çok yakın mesafeden çıkarılmakta, çimento, kireç ve alüminyum tozu ise dışarıdan hazır alınmaktadır. Şekil 4.12'de görüldüğü gibi gazbeton yapı malzemesinin hammadde elde edilmesi ve tesise taşınması sırasında atmosfere $125 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2$, pişmiş tuğla yapı malzemesinin ise $2,3247 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2$ salımı gerçekleştiği, gazbetonun yapı malzemesinin CO_2 salınımının daha fazla olduğu görülmüştür.



Şekil 4.16: 1 m³ pişmiş tuğla ve gazbeton hammadde eldesi sırasında açığa çıkan CO₂ miktarı.

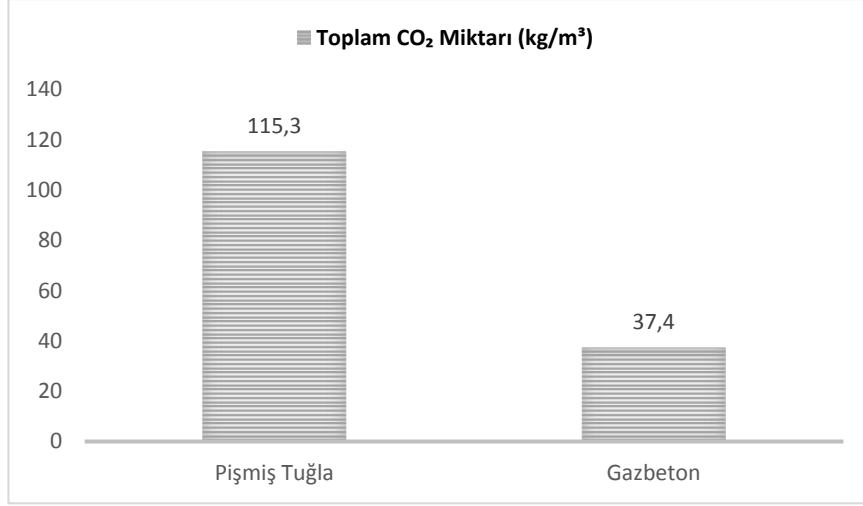
Gazbeton yapı malzemesinin hammadde elde edilmesi sırasında çimento üretim sürecinde çevresel olarak ciddi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Çimento üretiminin her aşamasında çevreye olumsuz etkisi bulunmaktadır. Enerji tüketiminin yoğun olması ve enerji kaynağı olarak kömür kullanılması çevreye olan etkiyi daha da artırmaktadır. 1 kg çimento üretimi için 450 gr. kömür yakılması gerekmektedir [Web 26, 2019]. Her bir torba çimento üretmek için 25 kg kömür yakılmasını gerektirmektedir. Çimento üretim tesisinden kaynaklanan emisyon; sadece solunan havayı kirletmekle kalmayıp, küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeye, asit yağmurları gibi çevresel etkilere neden olmaktadır. Küresel ısınmanın başlıca

etkilerinden biri olan CO₂ gazı çimento üretiminde yoğun olarak atmosfere salınmaktadır. Yaklaşık bir ton portland çimentosu üretilmesi aşamasında yaklaşık bir ton da CO₂ açığa çıkmaktadır. Çimento üretim sonucu açığa çıkan SO_x ve NO_x, su ve diğer bileşenlerle tepkimeye girerek asidifikasyona neden olmaktadır. Asidifikasyon sonucunda oluşan asit yağmurları yağın yağmurlarla birlikte asit yağmuru olarak yeryüzüne geri dönmektedir.

Yukarıdaki tablolar ve elde edilen bilgiler sonucu gazbetonun hammadde elde edilmesi sürecinde pişmiş tuğlaya göre daha fazla çevresel etkiye neden olduğu ortaya çıkmaktadır. Gazbeton yapı malzemesinin çimento hammaddesinin elde edilmesi başlı başına bir çevresel sorun olarak karşımıza çıkmaktadır.

Üretim Aşaması pişmiş tuğla yapı malzemesinin üretim sürecinde çevreye olan etkisi kullanılan fırın tipi ve yakıt türüne göre değişiklik göstermektedir. Pişmiş tuğlanın çevreye önemli zehirli gaz salınımı yaptığı aşama tünel fırın suni kurutma aşaması ve Hoffman fırın pişirme aşamasıdır. İncelenen üretim tesisinde yıllık tüketilen taş kömürü miktarı 4300 ton/yıl' dır. Taş kömürünün yanması sırasında yıllık 12599 ton/yıl CO₂ atmosfere salınmaktadır. Taş kömürü üretim tesisine 244 km mesafeden 25 tonluk kamyonlar ile taşınmaktadır. Taşıma sırasında yaklaşık 850 L dizel yakıt tüketilmektedir.

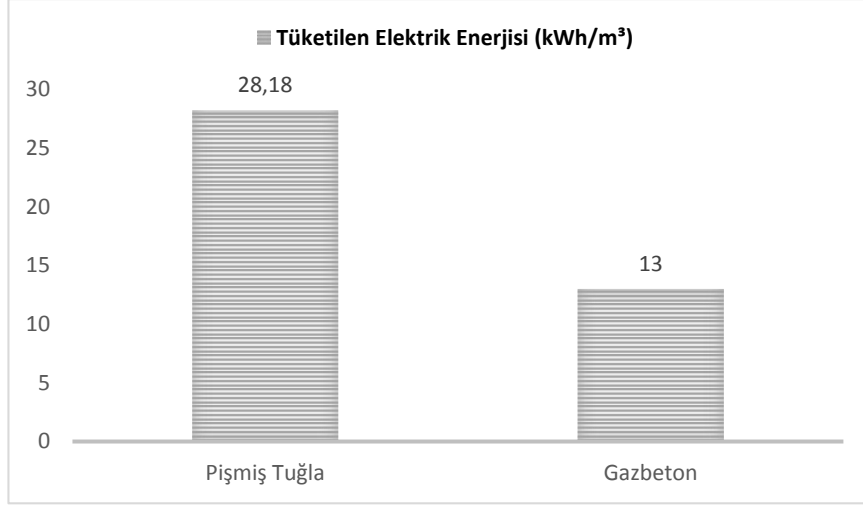
Ülkemizde pişirme fırın tipi olarak en çok Hoffman fırını kullanılmaktadır. 1 m³ pişmiş tuğla üretimi için 39,33 kg/m³ taş kömürü tüketilmektedir. Bunun sonucunda açığa 115,30 kg/m³ CO₂ gazı çıkmaktadır. Gazbeton üretim sırasında yoğunlukla elektrik enerjisi ve otoklavlama aşamasında yoğun doğalgaz tüketilmektedir. 1 m³ gazbeton yapı malzemesi üretilmesi için yaklaşık 7 m³ doğalgaz tüketilmektedir. Gazbeton yapı malzemesi üretim aşamasında atmosfere 37,4 kg/m³ CO₂ gazı salımı gerçekleşmektedir (Şekil 4.17).



Şekil 4.17: 1 m³ pişmiş tuğla ve gazbeton üretimi sırasında açığa çıkan CO₂ miktarı.

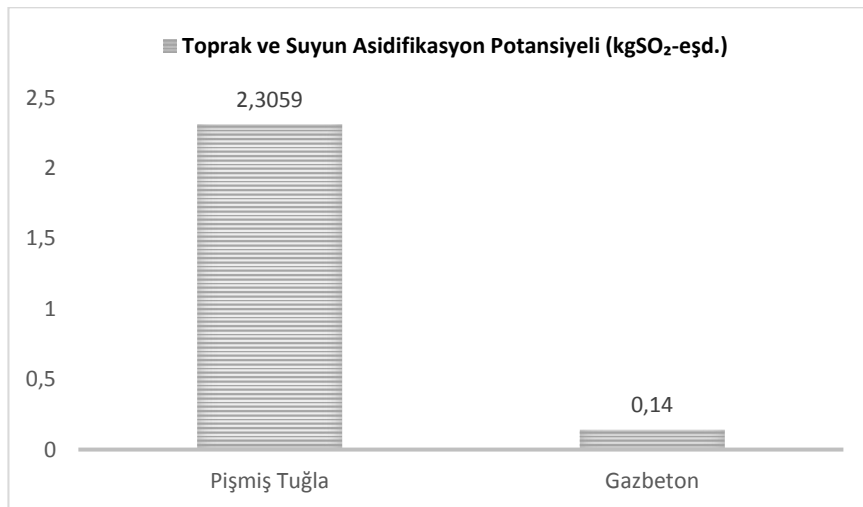
Şekil 4.17’de görüldüğü gibi pişmiş tuğlanın üretim aşamasında çevreye CO₂ salımı gazbeton yapı malzemesine göre daha fazladır. Bunun ana nedeni pişirme ve suni kurutma aşamasında taş kömürü kullanılmasıdır. Kömür yanması sonucunda atmosfere yoğun miktarda CO₂, CO vb. gazların salımı gerçekleşmektedir. Bu pişmiş tuğlanın çevresel etkisini azaltmak için Hoffman fırın yerine suni kurutma fırını kullanılması ve yakıt olarak çevreye daha az CO₂ salımı yayan doğalgaz tüketilmesi çevresel etkinin azaltılması için daha yararlı olmaktadır. Gazbeton yapı malzemesinde en yoğun doğalgaz tüketimi otoklavlama aşamasında olmaktadır. Doğalgaz yanması sonucu çevreye çok az miktarda CO₂ ve SO₂ salımı gerçekleşmektedir. Bu nedenle gazbetonun üretim sürecinde çevresel etkisi pişmiş tuğlaya göre daha azdır.

Gazbeton ve pişmiş tuğla yapı malzemeleri üretim aşamaları enerji yoğun bir süreç gerektirmektedir. 1 m³ gazbeton üretimi için tüketilen elektrik enerjisi miktarı 13 kWh/m³, 1 m³ pişmiş tuğla üretimi için tüketilen elektrik enerjisi miktarı 28,18 kWh/m³ olarak karşımıza çıkmaktadır (Şekil 4.18).



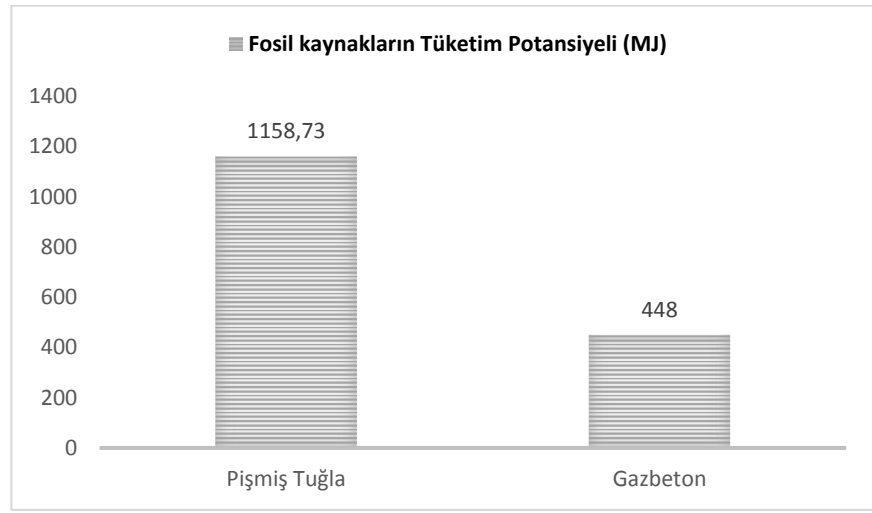
Şekil 4.18: 1 m³ pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemesinin üretimi için tüketilen elektrik enerjisi miktarı.

Pişmiş tuğla üretim aşamasında taş kömürünün yakıt olarak kullanılması sonucu atmosfere CO₂ gazının yanında yoğun miktarda SO₂ gaz salınmasına neden olmaktadır. SO₂ atmosferde asitleşme potansiyelini artırarak asit yağmurlarının oluşmasının ana etkenlerinden biridir. Pişmiş tuğla üretiminde atmosfere 2,3059 kg/m³ SO₂ gazı salınımı gerçekleşmektedir. Gazbeton üretim aşamasında ise 0,140 kg/m³ SO₂ atmosfere salınmaktadır (Şekil 4.19). Gazbeton otoklavlanması sırasında doğalgaz kullanılması nedeniyle atmosfere çok az miktarda SO₂ gazı salımı gerçekleşmektedir.



Şekil 4.19: Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemesinin asitleşme potansiyeli.

Pişmiş tuğla üretiminde en çok enerji harcanan aşama üretim aşaması yani tuğlaların pişirilme aşamasıdır. Üretim tesisinde Hoffman fırınlarda 850 – 1000 °C derecede ham tuğlalar 10 - 12 saat pişirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle Hoffman fırınları gece ve gündüz olmak üzere sürekli çalışmaktadır. Bu aşamada yoğun enerji tüketimi gerçekleşmektedir. 1 m³ pişmiş tuğla üretimi için 1158,73 MJ enerji tüketilmektedir. Gazbeton yapı malzemesi için otoklavlama işlemi 190 °C altında on iki saat süreyle gerçekleşmektedir. Bu sırada 448 mJ enerji tüketilmektedir (Şekil 4.20).

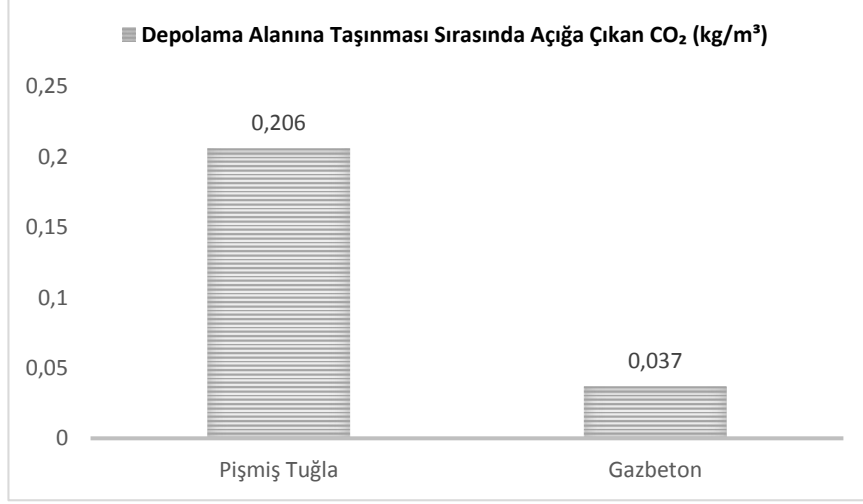


Şekil 4.20: Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin fosil kaynak tüketimi.

Paketleme Aşaması yapı malzemelerinin yaşam döngüsünde “beşikten kapıya” son aşaması olan paketleme aşamasıdır. 1 m³ pişmiş tuğla üretimi sırasında 0,03 m³ kadar tuğla zayıtı olmaktadır. Bu zayıt suni kurutma aşaması öncesi gerçekleşmiş ise tekrar üretime katılabilmektedir. Fakat pişirme sırasında veya paketleme aşamasında meydana gelen pişmiş tuğla zayıtına herhangi bir geri dönüşüm yapılamamaktadır. Pişmiş tuğla kırıkları katı atık olarak depolanmaktadır.

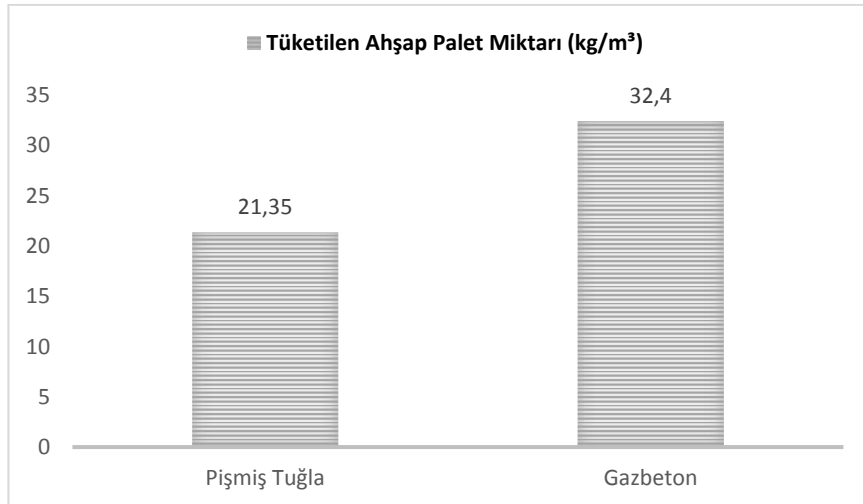
1 m³ pişmiş tuğlanın paketleme alanına veya depolama alanına taşınması sırasında forklift kullanılması sırasında 0,041 L/m³ yakıt tüketilmekte, traktör aracılığıyla taşınması sırasında ise 0,0307 L/m³ yakıt tüketilmektedir. Gazbeton yapı malzemesinin paketleme alanından depolama alanına taşınması için ise 0,013 L/m³ dizel yakıt tüketilmektedir. Pişmiş tuğlanın paketleme-depolama alanına taşınması

sırasında atmosfere $0,206 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2$, gazbeton yapı malzemesinin paketleme işlemi tamamlandıktan sonra depolama alanına taşınması sırasında ise $0,037 \text{ kg/m}^3 \text{ CO}_2$ atmosfere salınmaktadır (Şekil 4.21).



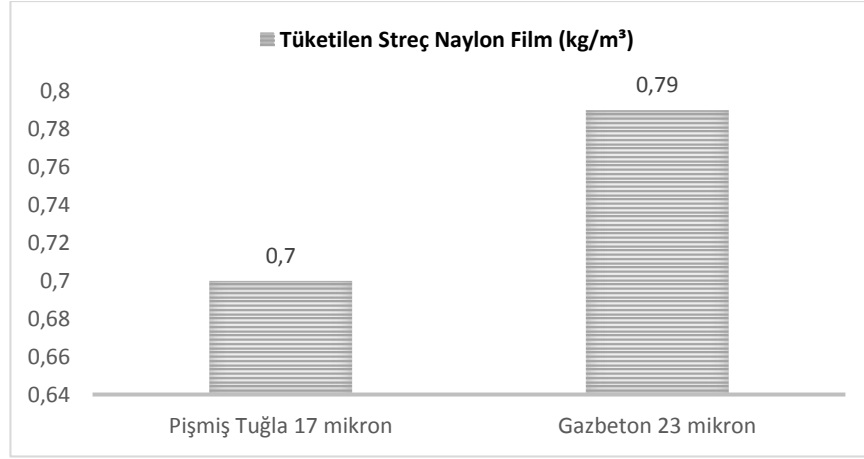
Şekil 4.21: Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin depolama alanına taşınması sırasında açığa çıkan CO₂.

Pişmiş tuğlalar bir süre bekletildikten sonra ahşap paletler üzerinde naylonlar yardımı ile paketlenmektedir. Bu aşamada yıllık yaklaşık 56 bin adet ahşap palet kullanılmaktadır. 1 m^3 pişmiş tuğla için $0,61 \text{ ad/m}^3$ ve $21,35 \text{ kg/m}^3$ ahşap palet tüketilmekte, 1 m^3 gazbeton yapı malzemesi için $0,92 \text{ ad/m}^3$ ve $32,40 \text{ kg/m}^3$ ahşap palet tüketilmektedir (Şekil 4.22).



Şekil 4.22: Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin paketleme aşamasında kullanılan ahşap palet miktarı.

Pişmiş tuğla yapı malzemesinin paketlenmesi aşamasında yıllık 4030 ton naylon tüketilmektedir. Gazbeton yapı malzemesinin paketlenmesi için yıllık 6290 ton naylon tüketilmektedir. 1 m³ pişmiş tuğlanın paketlenmesi için 17 mikron 0,70 kg/m³, 1 m³ gazbeton yapı malzemesinin paketlenmesi için 23 mikron 0,79 kg/m³ naylon tüketilmektedir (şekil 4.23). Dağıtım sonrası ahşap paletlerin farklı şekillerde değerlendirilme ihtimali olsa da naylonlar doğaya atık olarak bırakılmaktadır. Bunun sonucunda çevreye ciddi miktarda naylon atık bırakılmış olmaktadır.



şekil 4.23: Pişmiş tuğla ve gazbeton yapı malzemelerinin paketlenmesi aşamasında tüketilen naylon miktarı.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Günümüzde artan yapı faaliyetleri ile birlikte, yapıların çevreye olan etkileri de artmaktadır. Yapı malzemeleri, yapıların yaşam döngüsü içerisinde çevresel etkilerinin %10-20'sini oluşturmaktadır. Yapıların yaşam döngüsü süresinde çevresel etkilerin azaltılmasında yapı malzeme seçiminin de önemi büyüktür.

Bu çalışmada yaygın olarak kullanılan iki farklı duvar dolgu malzemesinin beşikten kapıya çevresel etkileri, mevcut Çevresel Ürün Beyanları ve üretim tesislerinde üretim aşamaları incelenerek elde edilen veriler üzerinden değerlendirilmiştir. Yapılan alan çalışması ve değerlendirme sonrasında ortaya şu sonuçlar çıkmıştır:

- Yapı malzemelerinin hammadde kaynağının yerel olması ve malzeme üretim alanına yakın olması, çevresel etkilerin azaltılması açısından önemlidir. Hammaddelerin taşınması sırasında, enerji tüketimi ve buna bağlı olarak küresel ısınmaya neden olan sera gazları gibi atmosfere salınan zehirli gazlar azaltılmış olacaktır. Pişmiş tuğlanın hammaddesi olan kilin kolay bulunabilmesi nedeniyle yerel kaynaklardan elde edilmesi de kolay olmaktadır. Gazbeton için bu durum biraz daha farklı olarak karşımıza çıkmaktadır. Gazbeton yapı malzemesinin bazı hammaddelerinin elde edilmesi için ayrı bir üretim süreci gerekmektedir. Bu süreç içerisinde de çevreye ciddi miktarda zehirli gaz salımı gerçekleşmektedir. Gazbetonun çevresel etkisi açısından olumsuz bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Hammadde kaynağı yetkili kurumlar yardımıyla belirlenmeli, hammaddenin kaynağından çıkarılması sırasında bilinçsiz kazı yapılması sonucunda ortaya çıkan topoğrafyanın bozulması, bölgesel iklim değişikliği gibi oluşabilecek çevresel zararlar önlenmelidir.
- Yapıda kullanılan malzemelerin çevreye olan etkileri en çok üretim aşamalarında gerçekleşmektedir. Üretim aşamalarında yapılacak olan iyileştirmeler, yapı malzemelerinin çevresel etkilerini azaltacaktır.

- Yapı malzemelerinin üretimleri sırasında enerji etkin bir yol izlenmelidir. Yapı malzemelerinin üretimleri sırasında fosil kaynaklı enerji yerine yenilenebilir kaynaklı enerji tüketilmesi, yapı malzemelerinin yaşam döngüsü sürecindeki çevresel etkilerini azaltacaktır.
- Pişmiş tuğla yapı malzemesinin üretim aşaması, en çok enerji tüketilen aşamadır. Özellikle fırınlama aşamasında tüketilen katı yakıt, kömürün yanması sonucunda havaya yüksek miktarda CO₂, SO_x ve NO_x gaz salımı gerçekleştirmektedir. Bu gazların salımı sonucunda küresel ısınma, asitleşme ve ötrofikasyon gibi çevresel etkiler meydana gelmektedir. Bu çevresel etkileri azaltmak için kömüre göre daha az çevresel etkisi olan doğalgaz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önemlidir.
- Gazbeton yapı malzemesinin üretimi aşamasında özellikle gazbetonun otoklavlanması sırasında yoğun miktarda doğalgaz tüketilmektedir. Doğalgazın yanması sonucu açığa çok az miktarda CO₂ gazı çıkması, küresel ısınma açısından olumlu bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Fakat doğalgaz yanması sonucu atmosfere yüksek oranda NO_x salımı olmakta, toprak ve suyun asitleşme oranının artmasına neden olmaktadır. Asitleşme oranının azaltılması için otoklavlama sırasında yenilenebilir enerji tercih edilmesi gazbetonun çevresel etkisi açısından önemlidir.
- Yapı malzemelerinin üretimleri sırasında önemli miktarda su tüketimi gerçekleşmektedir. Kaynak olarak su, yenilenemeyen sınırlı kaynaklardandır. İçme suyu olarak kullanılan tatlı su miktarı ise daha azdır. Bu nedenle, yapı malzemelerinin üretim aşamalarında oluşan atık suyun yeniden kullanılması, arıtılmaları ve tekrar kaynaklarına kazandırılmaları önemlidir. Üretim aşamalarında suyun değerlendirilebilmesi için atık suyun tekrar kullanılması, yağmur sularının toplanması olumlu bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Pişmiş tuğla ve gazbetonun üretimi sırasında günlük olarak yüksek miktarda su tüketimi gerçekleşmektedir. Pişmiş tuğlanın üretimi sırasında atık su miktarı çok düşüktür. Gazbeton üretimi sırasında otoklavlama aşamasında oluşan su buharının tekrar kullanılabilmesi olumlu ve önemli bir durumdur.
- Beşikten kapiya sürecinde son aşama olan paketleme aşamasında ürünlerin dağıtımına hazır hale gelmesi için yapı malzemeleri paketlenmektedir. Yapı

malzemelerinin paketlenmesi sırasında naylon tüketimi gerçekleşmektedir. Yapı malzemelerinin kullanılması sonucu kullanılan naylonlar atık olarak çevreye bırakılmaktadır. Plastik ve naylonların doğada çok uzun yıllar çözünmeden kaldığı düşünüldüğünde, paketlenme için kullanılan atık naylonlar çevreye ve toprağa çok ciddi oranda zarar vermektedir. Bunun önüne geçmek için doğada çözünebilen malzemeler kullanmak ya da paketlenmek için farklı yöntemler geliştirmek önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Paketlenme aşamasında naylonların yanı sıra ahşap palet kullanılmaktadır. Ahşap paletler naylonlara göre daha kolay geri dönüştürülebilmekte ve tekrar kullanılabilir.

- Üretim sonucunda oluşan atıkların çevresel etkisi yapı malzemelerinin üretim sürecinde önemli bir yeri bulunmaktadır. Pişmiş tuğlanın şekillendirme aşamasında oluşan atıklar tekrar üretim sürecine dahil edilebilmektedir. Kurutma veya fırınlama aşamasında oluşan atıklar ise iş makinesi yardımıyla tuğla kırığı haline getirilerek üretim sürecinin başlangıç noktası olan hammadde hazırlık aşamasına katılmakta ve tekrar üretim sürecine dahil edilebilmektedir. Pişmiş tuğla üretiminde oluşan atıkların bu şekilde tekrardan üretime dahil edilmesi çevresel etki açısından olumlu olarak değerlendirilebilir. Gazbetonun üretiminde yaş kesim sırasında su ile karıştırılarak gazbeton çamuru haline getirilir ve tekrardan hammadde olarak kullanılabilir. Otoklavlanmış gazbetonların birbirinden ayrılması işlemleri ve paketlenme aşamasında ortaya çıkan kalitesiz gazbetonlar ise gazbeton tozu haline getirilerek tekrar üretim sürecine dahil edilmektedir. Gazbeton üretimi sırasında açığa çıkan atıkların üretim sürecine tekrardan kazandırılması çevresel etki açısından önemli bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır.
- Çevresel özelliklerin yanı sıra iki malzemenin fiziksel özelliklerine bakıldığında tuğlanın ısı iletkenlik katsayısının gazbetona göre daha yüksek değerde olduğu görülmektedir. Bu durum yapı kullanım sürecindeki enerji tüketimini etkileyecek ve yaşam döngüsü sürecindeki çevresel etkileri artıracaktır. Bu nedenle tuğla yapı malzemesinin üretim sürecinde yapılacak deneysel çalışmalarla ısı iletkenlik katsayısı düşürülebilir.

- Çevresel Ürün Beyanları yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin karşılaştırılmasında ve özellikle gelişmekte olan ülkeler için malzemeye ait çevresel envanter verilerinin oluşturulmasında faydalı olabilmektedir. Bu konuda Türk yapı malzeme sektörü üreticilerinin bilinçlendirilmesi ve teşviki gereklidir. Gazbeton üreticilerinde uluslararası standartları esas alan ÇÜB sertifikaları görülmektedir. Ancak yerel tuğla üreticilerinde hiçbir çevresel beyana erişilememiştir. Yasa ve yönetmelikler geliştirilerek, malzeme sektöründe çevresel bilinç artırılarak çevresel verilerin beyanı ve takibinin sağlanması uluslararası pazarlarda yer almak için ve daha önemlisi yaşanabilir bir dünya için gereklidir.
- Bu çalışma tuğla ve gazbeton yapı malzemesinin beşikten kapaıya sürecini kapsamaktadır. Ancak bir malzemenin çevresel etkilerini tam anlamıyla değerlendirmek için tüm yaşam döngüsünü kapsayan süreçler önemlidir. İleride yapılacak çalışmalar ile Türkiye ölçeğinde tuğla ve gazbetonun inşaat aşaması, kullanım süreci ve yapı kullanım sonu sürecini dahil eden çevresel etki değerlendirmesi yapılabilir.

KAYNAKLAR

- Adigüzel D., (2011), "Türkiye'de İç Mimarlık Eğitiminde Çevresel Yaklaşım", Yüksek Lisans Tezi, Kadir Has Üniversitesi.
- Akman S., (2003), "Yapı Malzemelerinin Tarihsel Gelişimi", TMH – Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 426, 30-36.
- Ayaz E., (2002), "Yapılarda Sürdürülebilirlik Kriterlerinin Uygulanabilirliği ", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Balaras C. A., Droutsas K., Dascalaki E., Kontoyiannidis S., (2005), "Heating Energy Consumption And Resulting Environmental Impact Of European Apartment Buildings", Energy and Buildings, 37, 429-442.
- Baştaoğlu E., (2017), "LEED Yeşil Bina Sertifika Sistemi Uygulamalarının Değerlendirilmesi: Avrupa ve Türkiye", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Bayraktar F. T., (2010), "Türkiye'de Yapı Malzemesi Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi İçin Bir Sistem Önerisi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Berardi U., (2013), "Clarifying The New Interpretations Of The Concept Of Sustainable Building", Sustainable Cities and Society, 8, 72 – 78.
- Bisegna F., Mattoni B., Gori P., Asdrubali F., Guattari C., Evangelisti L., Sambuca S., Bianchi F., (2016), "Influence of Insulating Materials on Green Building Rating System Results", energies, 9(9), 712.
- Bribián I. Z., Capilla A. V., Usón A. A., (2011), "Life Cycle Assessment Of Building Materials: Comparative Analysis Of Energy And Environmental Impacts And Evaluation Of The Eco-Efficiency Improvement Potential", Building And Environment, 46, 1133 – 1140.
- Canarslan Ö., (2007), "Evaluation Indicators For Selection Of Sustainable Building Materials", Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi.
- Canarslan Ö., Elias – Özkan S. T., (2007), "A Discussion On The Selection Of Sustainable Building Materials", 7th International Postgraduate Research Conference, 327-334, Salford, U.K., 26 – 27 Mart.
- Carabaño R., Hernando S. M., Ruiz D., Bedoya C., (2017), "Life Cycle Assessment (LCA) Of Building Materials For The Evaluation Of Building sustainability: The Case Of Thermal Insulation Materials", Revista de la Construcción - Journal of Construction, 16(1), 22 – 32.
- Civan U., (2006), "Akıllı Binaların Çevresel Sürdürülebilirlik Açısından Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.
- Çamur C., (2010), "Isı Yalıtım Malzemelerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemiyle Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

ÇEDBİK-Konut Sertifika Kılavuzu, (2018), <https://cedbik.org/static/media/page/12/attachments/edbik-konut-sertifika-kilavuzu-2018-v-1-06-06-2018.pdf?v=06061801475>, Çevre Dostu Yeşil Binalar Derneği (ÇEDBİK), (Erişim Tarihi: 15/12/2018).

Demirarslan D., Demirarslan K. O., (2017), “Çevre Koruma Bilinci Bağlamında İç Mekânın Tasarımında Disiplinler Arası Bir Yaklaşım: İç Mimarlık ve Çevre Mühendisliği İlişkisi”, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 3(2), 112-128.

Dilaver D., (2005), “Yapı Ürünlerinin Çevre İle İlişkisi Kapsamında Çevre Dostu Üretimi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Ding G. K.C., (2014), “Life Cycle Assessment (LCA) Of Sustainable Building Materials: An Overview”, In: F. Pacheco-Torgal, L.F. Cabeza, J. Labrincha, A. De Magalhães, Editors, “Eco-efficient Construction and Building Materials - Life Cycle Assessment (LCA), Eco- Labelling and Case Studies Book”, Woodhead Publishing.

Doan D. T., Ghaffarianhoseni A., Naismith N., Zang T., Ghaffarianhoseni A., Tookey J., (2017), “A Critical Comparison Of Green Building Rating Systems”, Building And Environment, 123, 243 - 260.

Duman A., (2013), “Sayısal Mimarlıkta Bütünleştirilmiş Tasarım Sürecinin Mimari Yapı Üretim Ortamlarını Dönüştürme Potansiyelleri: Türkiye İçin Bir Değerlendirme”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Esin T., (2007), “ A Study Regarding The Environmental Impact Analysis Of The Building Materials Production Process (In Turkey)”, Building And Environment, 42, 3860-3871.

EN 15804 (2014), Sustainability Of Construction Works. Environmental Product Declarations. Core Rules For The Product Category Of Building Materials, EN15804+A1:2014.

Farrell, A., Hart M., (1998), “What does sustainability really mean?”, Journal of Environment, 40(9), 1 – 21.

Franzoni E., (2011), “Materials Selection For Green Buildings: Which Tools For Engineers And Architects?”, Procedia Engineering, 21, 883 – 890.

Geçim G., (2018), “Yapı Yaşam Döngüsünde Sürdürülebilir Yapı Değerlendirme Sistemlerinin Karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Gölemen S., (2014), “Mevcut İlköğretim Binalarında Sürdürülebilirlik Olanaklarının Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi.

Haapio A., Viitaniemi P., (2008), “Environmental Assessment of Buildings”, Article Dissertation, Helsinki University of Technology.

Hussain A., Arif Kamal M., (2015), “Energy Efficient Sustainable Building Materials: An Overview”, Key Engineering Materials, 650, 38-50.

ISO, (2011), Environmental labels and declarations. Type III Environmental Declartions, Principles And Procedures, ISO 14025:2011-10, International Organizaion for Standardization.

ISO, (2006), Environmental management-life cycle assessment principles and framework, ISO 14040, International Organization for Standardization.

İnanç T., (2010), "Geleneksel Kırsal Mimari Kimliğin Ekoloji Ve Sürdürülebilirlik Bağlamında Değerlendirilmesi Rize Çağlayan Köyü Evleri Örneği", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

John G., Clements-Croome D., Jeronimids G., (2005), "Sustainable Building Solutions: A Review Of Lessons From The Natural World", 40, 319 – 328.

Karaman Öztaş S., (2018), "Türk Yapı Malzemesi Sektörünün Çevresel Ürün Bildirimi İle Deneyimleri", TMD Uluslararası Hakemli Tasarım Ve Mimarlık Dergisi, 14, 203 – 223.

Köteşli Aydın T., (2013), "Yeşil Bina Sertifikasyonları Kapsamında Yerel Sistem Gerekliliğinin Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Kumbur H., Özer Z., Özsoy H. D., Avcı, E. D., (2005), "Türkiye’de Geleneksel ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Potansiyeli ve Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması", TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası 3. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Mersin, TÜRKİYE, 19-21 Ekim 2005.

Kus H., Edis E., Özkan E., (2008), "Comparative Environmental Assessment Of Masonry Wall Units Regarding Manufacturing Process" World Sustainable Building Conference 2008, Eylül 2008, s. 278-289.

Lippiatt, B. C., (2002), "BEES© 3.0, Building for Environmental and Economic Sustainability Technical Manual and User Guide", National Institute of Standards and Technology (NIST).

López-Aguilara H.A., Huerta-Reynoso E.A., Gómezb J.A., Olivarez-Ramírez J.M., Duarte-Mollera A., Pérez-Hernández A., (2016), "Life Cycle Assessment Of Regional Brick Manufacture", *Materiales de Construcción*, 66(322), e081-e088.

Mammadov A., Cılız N., (2017) "Yaşam Döngüsü Analizi: Tanımı, Amacı, Sürdürülebilirlik Kavramlarıyla İlişkisi Ve Sanayideki Yeri", T.C. Bilim, Sanayi Ve Teknoloji Bakanlığı Kalkınmada Anahtar Verimlilik Dergisi, 29(345), 4 – 9.

Minkov N., Schneider L., Lehmann A., Finkbeiner M., (2015), "Type III Environmental Declaration Programmes And Harmonization Of Product Category Rules: Status Quo And Practical Challenges", *Journal of Cleaner Production*, 94, 235 – 246.

Özçuhadar T., (2007), "Sürdürülebilir Çevre İçin Enerji Etkin Tasarımın Yaşam Döngüsü Sürecinde İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Özgören H., (2010), "Çevre Performans Sertifikalarının Fiziksel Çevre Ve Malzeme Açısında Değerlendirilmesi", Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Öztaş Karaman S., (2014), "Türk Yapı Malzemesi Sektörü İçin Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi", Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Öztürk A., (2015), “Yeşil Bina Sertifikasyon Sistemlerinin Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Paulsen J., (2001), “Life Cycle Assessment For Building Products”, Doctoral Thesis, Vetenskapochkonst Kungl Tekniska Högskolan.

Saghafi M. D., Teshnizi Z. S. H., (2011), “Recycling Value Of Building Materials In Building Assessment Systems”, Energy And Buildings, 43, 3181 – 3188.

Shahzad Baig K., ve Yousaf M., (2017), “Coal Fired Power Plants: Emission Problems and Controlling Techniques”, Journal of Earth Science & Climatic Change, 8:404, 1-9.

Shuttleworth A., (2013), “Environmental Product Declarations (EPDs): An Evaluation Of Their Potential Benefits And Impacts In The Context Of The UK Construction Industry”, Master's Thesis, University Of Cambridge.

Şentürk H., (2008), “Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkileri: Bütünleşik Ürün Politikası Bağlamında Bir İrdeleme”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

Terzi S., (2009), “Sürdürülebilir Çevre Açısından Uygun Yapı Ürünlerinin Seçimi”, Yüksek Lisans Tezi,

Tıgılı F., (2018), “Yeşil Bina Kavramının Günümüzdeki Durumuna Eleştirel Bir Bakış Ve Net Sıfır Enerjili Binalar İçin Bütünleşik Tasarım Sürecinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.

Tonguç B., Özbayraktar M., (2017), “Sürdürülebilir Okul Öncesi Eğitim Yapılarının Sosyal Ve Kültürel Sürdürülebilirlik Açısından İncelenmesi, Journal of Architectur and Life, 2(1), 27 – 46.

Tokgöz D., (2010), “Hava Tabakalı Dış Duvarlar Tuğla Örneği”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

TSE, (2015), Kâgir Birimler - Özellikler - Bölüm 1: Kil Kâgir Birimler (Tuğlalar), TS EN 771-1+A1, Türk Standartları Enstitüsü.

TSE, (2011), Ön Yapımlı Donatılı Gazbeton Yapı Elemanları, TS EN 12602, Türk Standartları Enstitüsü.

Tuna M., (2010), “Bina Derecelendirme Sistemlerinde Çevresel Etki Sınıflarının Önemi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.

Tuna Taygun G., (2005), “Yapı Ürünlerinin Yaşam Döngüsü Değerlendirmesine Yönelik Bir Model Önerisi”, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi.

Tuna Taygun G., Balanlı A., (2005), “Yaşam Döngüsü Süreçlerinde Yapı Ürünü – Çevre Etkileşimi”, MEGARON – YTÜ Mimarlık Fakültesi e-Dergisi, 1(1), 40-50.

Türker M., (2010), “Green Building Rating Systems”, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi.

Türkiye İMSAD Yapı Sektörü Raporu, (2017), https://www.imsad.org/Uploads/Files/Turkiye_IMSAD_Yapi_Sektoru_Raporu2017.pdf, 121 – 122, Türkiye İnşaat Malzemesi Sanayicileri Derneği.

Ulusoy A., (2008), “Uçucu Kül – Tekstil Fabrikası Atık Külü Ve Bazaltik Pomzanın Tuğla Üretiminde Katkı Olarak Kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi.

Veleva, V., (2001) “Developing indicators of sustainable production”, Master Thesis, University of Massachusetts Lowell.

Vigon, B. W. , Tolle, D. A., Cornaby, B. W., Latham, H. C., Harrison, C. L., Boguski, T. L., Hunt, R. G., Sellers, J. D., (1994), “Risk Reduction Engineering Laboratory, Life – Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles”, Lewis Publishers, 65.

Yanar N., (2017), “Mimari Tasarımda “Sürdürülebilirlik Ve Ekoloji” Anlayışının Konya Bağlamında İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

Yılmaz Z., Ciravoğlu A., (2010), “Ülkemizde Mimarların Yapı Malzemesi Tercihlerinin Yaşam Döngüsü Açısından Değerlendirilmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Yapı Fiziği ve Sürdürülebilir Tasarım Kongresi, 215-222, İstanbul, TÜRKİYE, 4-5 Mart.

Yüksek İ., Mıhlayanlar E., (2015), “Yaşam Döngüsü Sürecinde Yapı Malzemesi Çevre Etkileşimi”, 2. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu, 975-983, Ankara, Türkiye, 28-30 Mayıs.

Web 1, (2019), <https://www.dunyaenerji.org.tr/2018-enerji-gorunumu-2040a-bakis/>, (Erişim Tarihi: 25/01/2019).

Web 2, (2018), <https://www.leidenuniv.nl/cml/ssp/projects/lca2/>. (Erişim Tarihi: 23/11/2018).

Web 3, (2018), <https://www.breeam.com/discover/why-choose-breeam/>, (Erişim Tarihi: 15/12/2018).

Web 4, (2018), <https://tools.breeam.com/projects/explore/index.jsp>, (Erişim Tarihi: 15/12/2018).

Web 5, (2018), https://www.breeam.com/BREEAM2011SchemeDocument/content/09_material/material.html, (Erişim Tarihi: 15/12/2018).

Web 6, <https://www.usgbc.org/articles/about-leed-v4>, (Erişim Tarihi: 16/12/2018).

Web 7, (2018), <https://www.usgbc.org/credits/healthcare/v4/material-%26-resources>, (Erişim Tarihi: 29/12/2018).

Web 8, (2018), <https://www.usgbc.org/node/2614336?return=/credits/healthcare/v4/material-%26%3B-resources>, (Erişim Tarihi: 16/12/2018).

Web 9, <https://living-future.org/declare/declare-about/red-list/>, (Erişim Tarihi: 02/02/2019).

Web 10, <https://living-future.org/lbc/materials-petal/>, (Erişim Tarihi: 02/02/2019).

Web 11, (2019), <http://ozdemirtoprak.com/blog/tugla-uretimi-ve-tugla-uretim-asamalari/>. (Erişim Tarihi: 20/01/2019).

- Web 12, (2019), <http://www.lemga-benelux.com/medien/downloads/fra-ecobalans.pdf>, (Erişim Tarihi: 23/04/2019).
- Web 13, (2019), <https://www.wkb-systems.com/4/ueruenler/gaz-beton-ueretimi/otoklav-islemi.html>, (Erişim Tarihi: 23/04/2019).
- Web 14, (2019), <http://www.level.org.nz/material-use/life-cycle-assessment/environmental-product-declarations>, (Erişim Tarihi: 23/03/2019).
- Web 15, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Pişmiş Tuğla, İngiltere, <https://www.mbhplc.co.uk/bda/EPD.pdf>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 16, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Pişmiş Tuğla, Berlin, https://www.vandersandengroup.com/sites/default/files/uploads/environmental_product_declaration_bricks_pavers_and_brick_slips_vandersanden.pdf, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 17, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Pişmiş Tuğla, Danimarka, <http://www.epddanmark.dk/site/images/gallery/md-14004-da/md-14004-da.pdf>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 18, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Pişmiş Tuğla, Danimarka, http://www.epddanmark.dk/site/images/gallery/MD-14003-DA/MD-14003-EN_rev1.pdf, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 19, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Gazbeton, Türkiye, <http://www.akg-gazbeton.com/SF/591/AKG-EPD-2018-2023.pdf>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 20, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Takviyesiz Gazbeton, Berlin, <http://www.hplush-projektering.se/documents/9703013/18420066/EPD.pdf>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 20, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Takviyesiz Gazbeton, Berlin, <http://www.hplush-projektering.se/documents/9703013/18420066/EPD.pdf>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 21, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Takviyesiz Gazbeton, İngiltere, <https://epd-online.com/PublishedEpd/Download/9480>, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 22, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Gazbeton, İngiltere, http://www.greenbooklive.com/filelibrary/EN_15804/EPD/Hanson-EN-EPD-0001.3.pdf, (Erişim Tarihi: 1/10/2018).
- Web 23, (2018), Çevresel Ürün Bildirgesi, Takviyesiz Gazbeton, Almanya, https://www.ytong.ro/ro/docs/Ytong_Autoclaved_Aerated_Concrete_2018.pdf, (Erişim Tarihi: 17/10/2018).
- Web 24, (2019), <http://www.greenspec.co.uk/building-design/embodied-energy/> (Erişim Tarihi: 24/06/2019).
- Web 25, (2018), <https://ytong.com.tr/dosyalar/user/Turk%20Ytong%20EPD%20Brosur%20TR.pdf>, (Erişim Tarihi: 12/05/2018).
- Web 26, (2019), <https://www.worldcoal.org/>, (Erişim Tarihi: 12/05/2019).

Zal B., (2010), "Zeolit, Tras Ve Uçucu Kül İle Tuğla Üretimi Ve Standart Tuğla İle Karlaştırılması", Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi.

ÖZGEÇMİŞ

Sinan İRİŞ 1989 yılında Konya'da doğdu. 2014 yılında Kocaeli Üniversitesi Mimarlık ve Tasarım Fakültesinden Mimarlık Bölümünden mezun oldu. Lisans öğrenimi sırasında çeşitli yarışmalara katıldı. 2010 yılında MimED-Mimarlık Eğitimi Derneğinin düzenlemiş olduğu yarışmada Jüri Özel ödülüne layık görüldü. 2013 – 2015 yılları arasında özel sektörde mimar olarak çalıştı. 2015 yılında İzmit Belediyesi Etüt Proje Biriminde Mimar olarak çalışmaya başlamış olup, 2018 yılında İzmit Belediyesi Fen İşleri Müdürlüğünde çalışma hayatını sürdürmektedir. Ayrıca Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı'nda yüksek lisansını tamamladı.