



**SIFIR ENERJİLİ YAPILARIN ÇEVRESEL
ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRME
ÖNERİLERİ: GAZİANTEP EKOLOJİK BİNA
ÖRNEĞİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

Feride Çiğdem KARA

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI**

**SIFIR ENERJİLİ YAPILARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN
BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ: GAZİANTEP
EKOLOJİK BİNA ÖRNEĞİ**

Feride Çiğdem KARA

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Temmuz 2023**

Feride iğdem KARA tarafından hazırlanan “SIFIR ENERJİLİ YAPILARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ: GAZİANTEP EKOLOJİK BİNA ÖRNEĞİ ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylım.

Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI

Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu alışma, jürimiz tarafından **Oy BirliĐi** ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Figen BEYHAN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN (GÜ)

Üye : Doç. Dr. TuĐba İNAN GÜNAYDIN (ÖHÜ)

Üye : Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Mehmet MUTLU (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, **Yüksek Lisans** derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Müslüm KUZU

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Feride Çiğdem KARA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIFIR ENERJİLİ YAPILARIN ÇEVRESEL ETKİLERİNİN BELİRLENMESİ VE İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ: GAZİANTEP EKOLOJİK BİNA ÖRNEĞİ

Feride Çiğdem KARA

**Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı**

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI

Temmuz 2023, 87 sayfa

Yüksek enerji verimliliği ve düşük enerji tüketimi prensiplerine dayalı olarak tasarlanan ve inşa edilen pasif evler, konforlu iç mekân koşulları sağlamak için ısıtma ve soğutma ihtiyacını minimize etmek amacıyla özel tasarımsal ve yapısal özelliklere sahiptir. Yapının kullanım evresindeki enerji ihtiyacının düşürülmesinin hedeflendiği pasif ev standardı, yapının enerji tüketiminin neredeyse sıfıra indirilmesini öngören bir standarttır. Fakat enerji krizine ek olarak küresel iklim değişikliği ve çevre sorunları, yapının sadece enerji tüketiminin değil, çevresel etkilerinin de en aza indirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yapı tasarımı ve enerji verimliliğine yönelik yapılan malzeme seçimleri, yapının çevresel etkilerini önemli oranda etkilemektedir. Bu nedenle yapının çevresel etkisi erken tasarım evresinde verilen malzeme kararlarına bağlı olmaktadır. Ayrıca malzeme kararları yapının kullanım evresindeki enerji tüketimine etki etmekle birlikte, gömülü enerjisini de etkilemektedir. Bu bağlamda yapı tasarımı bütüncül bir bakış açısı ile enerji etkin ve düşük çevresel etkiye sahip

olarak tasarlanmalıdır. Çalışmada yapının kullanım evresinde tükettiği enerjiyi odak alan Türkiye'nin ilk pasif evi olan Gaziantep Ekolojik Binası'nın, çevresel etkilerinin azaltılması noktasında, yapıda yüksek çevresel etkiye neden olan malzeme kararları tespit edilmiş, bu malzemelere getirilebilecek alternatif malzeme önerileri ile alternatif yapı kabukları oluşturulmuştur. Öneri yapı kabukları yapının enerji performansını etkilemeyecek ve termofiziksel özelliklerine bağlı olacak şekilde kurgulanmıştır. Yapının mevcut kabuğunda yer alan betonarme duvar ve çimento lifli ahşap yonga levha katmanlarının diğer katmanlara kıyasla yüksek bir çevresel etkiye sahip olduğu tespit edilmiş ve bu katmanların yerine tuğla, bims, gazbeton, kenevir beton ve kerpiç katmanları ile selüloz lif takviyeli çimento levha (fibercement) önerilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en düşük çevresel etki kerpiç ve selüloz lif takviyeli çimento levha ile üretilecek olan kabukta izlense de kerpiç üretiminin günümüzde standardize üretim yöntemine sahip olmaması nedeniyle kerpiçten sonra en düşük çevresel etkiye sahip katmanın bims blok katmanı ile inşa edilmiş pasif ev olacağı belirlenmiştir. Çalışmanın pasif ev tasarımcılarına bütüncül bir bakış açısı oluşturması ve yöntemi ile yol göstermesi beklenmektedir.

Anahtar Sözcükler : Pasif ev, çevresel etki, enerji performansı, bütünlük bakış açısı, Gaziantep Ekolojik Bina.

Bilim Kodu : 80119

ABSTRACT

Master Sc. Thesis

DETERMINING THE ENVIRONMENTAL IMPACTS OF ZERO ENERGY BUILDINGS AND IMPROVEMENT RECOMMENDATIONS: GAZIANTEP ECOLOGICAL BUILDING EXAMPLE

Feride ıđdem KARA

**Karabük University
Institute of Graduate Programs
Department of Architecture**

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Merve TUNA KAYILI

July 2023, 87 pages

Passive houses are buildings designed and constructed based on the principles of high energy efficiency and low energy consumption. They incorporate specific design and structural features to minimize the need for heating and cooling in order to provide comfortable indoor conditions. The passive house standard aims to reduce the energy demand during the building's operational phase to nearly zero. However, in addition to the energy crisis, global climate change and environmental issues necessitate minimizing not only the energy consumption but also the environmental impacts of buildings. Material selection in building design and energy efficiency significantly influence the environmental impacts of the structure. Therefore, the environmental impact of a building is determined by the material decisions made in the early design phase. Additionally, material choices not only affect the energy consumption during the operational phase but also the embodied energy of the building. In this context,

building design should be approached holistically to be energy-efficient and have low environmental impact.

The Gaziantep Ecological Building, Turkey's first passive house, has identified material decisions in the construction that have a high environmental impact and proposed alternative material suggestions and alternative building shells to reduce these impacts. The suggested building shells are designed to have no effect on the energy performance of the structure and depend on their thermophysical properties. It has been determined that the reinforced concrete wall and cement-bonded wood particle board layers in the current shell have a higher environmental impact compared to other layers. As alternatives, brick, lightweight concrete block, aerated concrete, hemp concrete, and cellulose fiber reinforced cement board (fibercement) layers are recommended. When examining the results, it is observed that the shell constructed with brick and cellulose fiber reinforced cement board will have the lowest environmental impact. However, due to the lack of standardized production methods for brick production today, it has been determined that the next lowest environmental impact layer will be a passive house constructed with lightweight concrete block. This study is expected to provide a holistic perspective and guidance for passive house designers with its method.

Key Word : Passive house, environmental impact, energy performance, integrated perspective, Gaziantep Ecological Building.

Science Code : 80119

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI'ya, çalışmanın yürütülebilmesi için gerekli verileri benimle paylaşan Yüksek Mimar Yasemin SOMUNCU, Yüksek Mimar Seda GÜLEÇ ve Yüksek Mimar Tuęba SALMAN GÜRCAN'a, Gaziantep Ekolojik Bina ziyaretimiz sırasında bizimle ilgilenen ve bilgilendiren Gaziantep Pasif Ev çalıőanlarına, çalıőmaya KBÜBAP-21-YL-113 proje no ile destekleyerek araőtırmaya katkıda bulunan KBÜ Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğüne teőekkürü borç bilirim. Yüksek lisans tez savunma jürime katılmayı kabul edip katkılarını sunan değerli hocalarım Prof. Dr. Figen BEYHAN, Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN, Doç. Dr. Tuęba İNAN GÜNAYDIN ve Dr. Öğr. Üyesi Mehmet MUTLU'ya teőekkürü borç bilirim. Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca manevi desteklerini eksik etmeyen babam Mustafa KARA ve annem Hatice KARA'ya ve her zaman yanımda olan Mimar Yusuf DÜLGER'e tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	6
SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK KAPSAMINDA ENERJİ PERFORMANSI VE ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRME	6
2.1. YAPILARDA ENERJİ PERFORMANSI.....	6
2.1.1. Pasif Ev Standardı.....	8
2.1.2. Dünyada Pasif Ev Örnekleri	10
2.1.3. Türkiye’de Pasif Ev Örnekleri.....	14
2.2. YAPILARDA ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRME.....	16
2.2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi.....	16
2.2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yönteminin Yapı ve Yapı Malzemesi Ölçeğinde Ele Alınması.....	22
2.3. YAPILARDA ENERJİ PERFORMANSI VE ÇEVRESEL ETKİNİN BÜTÜNLEŞİK BAKIŞ AÇISI İLE ELE ALINMASI	25
BÖLÜM 3	30
MATERYAL VE METOT	30

	<u>Sayfa</u>
3.1. MATERYAL.....	30
3.1.1. Gaziantep Ekolojik Bina	30
3.1.2. Simülasyon Programları	34
3.2. METOT	37
3.2.1. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Çevresel Etkisinin ve Yüksek Çevresel Etki Değerine Sahip Yapı Bileşenlerinin Belirlenmesi	37
3.2.2. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Enerji Performansının Korunumu ve Önerilen Yapı Kabuğu Bileşenlerinin Kalınlıklarının Belirlenmesi	43
3.2.3. Önerilen Malzeme Katmanlarının Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi ...	47
BÖLÜM 4	49
BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4.1. GAZİANTEP EKOLOJİK BİNA'NIN ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLERİ ...	49
4.1.1. A1-A3 Evresi	49
4.1.2. A4 Evresi	53
4.2. ALTERNATİF YAPI KABUĞU SENARYOLARININ ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLERİ.....	53
4.2.1. A1-A3 Evresi	53
4.2.1.1. Küresel Isınma Potansiyeli	53
4.2.1.2. Asidifikasyon Potansiyeli	56
4.2.1.3. Ötrofikasyon Potansiyeli.....	58
4.2.1.4. Fotokimyasal Ozon Oluşum Potansiyeli.....	60
4.2.1.5. Ozon Tabakası Tahribatı Potansiyeli	61
4.2.2. A4 Evresi	64
BÖLÜM 5	67
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	67

	<u>Sayfa</u>
KAYNAKLAR	71
EK AÇIKLAMALAR A.....	85
ÖZGEÇMİŞ	87

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Çalışmada izlenen adımlar	5
Şekil 2.1. 7196 kimlik numaralı pasif ev görünümü	11
Şekil 2.2. 7249 kimlik numaralı pasif ev görünümü	11
Şekil 2.3. 6981 kimlik numaralı pasif ev görünümü	12
Şekil 2.4. 7265 kimlik numaralı pasif ev görünümü	12
Şekil 2.5. 7284 kimlik numaralı pasif ev görünümü	13
Şekil 2.6. 7190 kimlik numaralı pasif ev görünümü	13
Şekil 2.7. 7195 kimlik numaralı pasif ev görünümü	14
Şekil 2.8. Gaziantep Ekolojik Bina görünümü.....	15
Şekil 2.9. Gaziantep Kuluçka Merkezi renovasyon öncesi ve sonrası görünümü ...	15
Şekil 2.10. Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi aşamaları.....	17
Şekil 2.11. Yaşam döngüsü değerlendirme evreleri.....	20
Şekil 2.12. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme evreleri.....	20
Şekil 3.1. Gaziantep Ekolojik Bina görünümü.....	30
Şekil 3.2. Gaziantep Ekolojik Bina plan şeması.....	31
Şekil 3.3. Gaziantep Ekolojik Bina iç mekan görselleri.....	31
Şekil 3.4. Gaziantep Ekolojik Bina duvar kesitinden bir detay.....	33
Şekil 3.5. Gaziantep Ekolojik Binanın Autodesk Revit'te modeli.....	35
Şekil 3.6. One Click LCA arayüzü.....	35
Şekil 3.7. EcoTransit World hesaplama aracı	36
Şekil 3.8. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Design Builder simülasyon programında modellenmesi	37
Şekil 3.9. Çalışmada ele alınan yaşam döngüsü değerlendirme evreleri	38
Şekil 3.10. Yapı bileşenleri ve malzemelerinin çevresel etkiye katkılarının belirlenmesi (One Click LCA arayüzü)	39
Şekil 3.11. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeline etki eden yapı bileşenleri ve katkı oranları	39
Şekil 3.12. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.....	40
Şekil 3.13. Alternatif yapı kabuklarının U değerleri	46

Sayfa

Şekil 3.14. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryolarının yıllık m ² başına düşen ısıtma yükü.....	46
Şekil 3.15. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryolarının yıllık m ² başına düşen soğutma yükü.....	47
Şekil 4.1. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.....	50
Şekil 4.2. Gaziantep Ekolojik Bina'nın asidifikasyon potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.....	50
Şekil 4.3. Gaziantep Ekolojik Bina'nın ötrofikasyon potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.....	51
Şekil 4.4. Gaziantep Ekolojik Bina'nın fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.....	52
Şekil 4.5. Gaziantep Ekolojik Bina'nın ozon tahribatı potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.....	52
Şekil 4.6. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların küresel ısınma potansiyelleri.....	54
Şekil 4.7. Küresel ısınma potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.....	54
Şekil 4.8. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların asidifikasyon potansiyelleri.....	56
Şekil 4.9. Asidifikasyon potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.....	57
Şekil 4.10. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların ötrofikasyon potansiyelleri.....	58
Şekil 4.11. Ötrofikasyon potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.....	59
Şekil 4.12. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların fotokimyasal ozon oluşum potansiyelleri.....	60
Şekil 4.13. Fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.....	61
Şekil 4.14. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların ozon tahribatı potansiyelleri.....	62
Şekil 4.15. Ozon tahribatı potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.....	62
Şekil 4.16. Alternatif duvar malzemesi ve farklı kalınlıklardaki yalıtım malzemelerinin şantiyeye taşınması sonucu açığa çıkan CO ₂ miktarı.....	64
Şekil 4.17. Yapı malzemesininin A4 evresine katkı yüzdeleri.....	65

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Yaşam döngüsü değerlendirme etki kategorileri	18
Çizelge 3.1. Gaziantep Ekolojik Bina mevcut duvar katmanları	32
Çizelge 3.2. Kullanılan YDD kriterleri	38
Çizelge 3.3. Mevcut yapı kabuğu ve öneri yapı kabuğu için sunulan alternatif malzemeler	42
Çizelge 3.4. Alternatif malzeme katmanları ile oluşturulan yapı kabuğu senaryoları	42
Çizelge 3.5. Önerilen duvar malzemelerinin teknik özellikleri	45
Çizelge 3.6. Önerilen yapı kabuğu bileşeni kalınlıkları	45
Çizelge 3.7. Yapı malzemelerinin varsayılan temin yerleri ve mesafeleri	47
Çizelge 4.1. Öneri yapı kabuğu senaryoları ile mevcut durum iyileştirme yüzdeleri	63
Çizelge Ek A.1. Çevresel etki değerlendirmede kullanılan malzeme EPD detayları.	86

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: santigrat (derece)
CO ₂	: karbondioksit
U	: ısı geçirgenlik katsayısı
m ²	: metrekare
kWh	: kilowattsaat
K	: Kelvin
Ψ	: psi
%	: yüzde
SO ₂	: kükürtdioksit
NO	: azotoksit
CO ₂ e	: karboneşit
CFC	: kloroflorokarbon
cm	: santimetre
kg	: kilogram
m ³	: metreküp
km	: kilometre
O ₃	: ozon
N ₂ O	: nitroz oksit
pH	: power of hydrogen (hidrojen kuvveti)
CO ₂ eq	: karbondioksit eşdeğeri
N	: azot
E	: Euler Sayısı

KISALTMALAR

CE	:	Conformité Européenne (Avrupaya Uyum)
EN	:	European Norm (Avrupa Normu)
EPD	:	Environmental Product Declaration (Çevresel Ürün Beyanı)
EPS	:	Expanded Polystyren Foam (Genleştirilmiş Polistiren Sert Köpük)
ISO	:	International Organization for Standardization (Uluslararası Standardizasyon Örgütü)
LCA	:	Life Cycle Assessment (Yaşam Döngüsü Değerlendirme)
LED	:	Light Emitting Diode
LEED	:	Leadership Energy Environmental Design (Enerji ve Çevre Tasarımında Öncülük)
TRACI	:	Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts
TS	:	Türk Standardı
TSE	:	Türk Standardları Enstitüsü
TÜBİTAK	:	Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu
YDD	:	Yaşam Döngüsü Değerlendirme
XPS	:	Extruded Polystyrene Insulation (Ekstrüde Polistiren Sert Köpük)
3D	:	3 Dimension (Üç Boyut)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Günümüz dünyasının en büyük problemlerinden biri olan iklim krizi, sebep olduğu mevsim dışı hava olayları ile hissedilebilirliğini arttırmaktadır. Sıcaklık artışı, su sıkıntısı, orman yangınları, buzul erimeleri, ani yağış ve baskın haberleri sık sık karşımıza çıkmaktadır. Olumsuz hava olaylarının sonuçları habitatı tehdit etmektedir. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 6. Değerlendirme Raporu'na göre iklim krizinin başlıca sebebi olarak insanların atmosfere yaydığı sera gazı gösterilmektedir [1]. Son yıllardaki veriler incelendiğinde açığa çıkan sera gazı miktarları bu durumu desteklemektedir [2]. Sera gazları atmosferde kendiliğinden var olan gazlar olup, atmosferde yer alan kızıl ötesi ışınları absorbe ederek ısı tutma özelliğine sahip gazlardır. Başlıca sera gazları su buharı (H₂O), karbondioksit (CO₂), nitroz oksit (N₂O), metan (CH₄), ozon (O₃) kloroflorokarbonlar (CHC) ve hidroflorokarbonlardır (HCFC). Sera gazları ısı tutma özellikleri sayesinde dünyanın belirli bir sıcaklıkta kalmasını sağlamaktadır. Ancak insan etkileri nedeniyle ile atmosferde sera gazı miktarının kontrolsüz artışı dünyada aşırı ısınmaya sebep olmakta ve beraberinde küresel ısınma ve iklim değişikliğini getirmektedir. 2018 Hükümetlerarası İklim Değişikliği Raporu'na göre Endüstri Devrimi öncesi döneme göre Dünya sıcaklık ortalaması 1,5 °C artış göstermiştir [3]. Sera gazları arasında en çok dikkat çeken ise atmosferde uzunca yıllar varlığını sürdürebilen gaz olan karbondioksit gazı olmaktadır [4]. Küresel ölçekte büyük problemlere yol açan bu durumun bir sonucu olarak ülkeler CO₂ salımlarını azaltabilmek için politikalar geliştirmektedir [5]. Dünya genelindeki istatistikler incelendiğinde, sera gazı emisyonunun en çok fosil yakıtların tüketimi ve enerji üretimi sırasında meydana geldiği ve enerji tüketiminin en fazla sanayi ve inşaat sektöründe olduğu belirtilmektedir [6,7]. Nüfusun hızla artışı ile ortaya çıkan konut ihtiyacı, enerji tüketimi ve fosil kaynak kullanımının azaltılabilmesi için dikkatleri konutların tasarım ilkelerine çevirmiştir. Konutlarda enerji en fazla işletim evresinde yani ısıtma-soğutma ve aydınlatma gibi temel ihtiyaçların karşılanması sırasında

kullanılmaktadır [8]. Yüksek enerji verimliliği ve düşük enerji tüketiminin önem kazanması ile yüksek düzeyde yalıtılmış ve hava sızdırmaz dış kabuğu sayesinde bünyesindeki enerjinin korunumu prensibine sahip pasif evler öne çıkmaktadır. Pasif evler düşük enerji taleplerini yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlayarak yüksek karbon emisyonuna sebep olan fosil kaynak tüketimini de minimuma indirmektedir. Bir yapının pasif ev standartlarına ulaşabilmesi için minimize edilmiş ısıtma ve soğutma ihtiyacının yanı sıra, düşük ısı iletkenliği ve yüksek hava sızdırmazlığı gibi özel tasarım ve yapısal özelliklere de sahip olması gerekmektedir. Yapının kullanım evresindeki enerji ihtiyacının düşürülmesinin hedeflendiği pasif ev standardı, enerji tüketiminin neredeyse sıfıra indirildiği bir standarttır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalar düşük enerjili bina tasarımı için alınan malzeme kararlarının, yapının gömülü enerjisini artırdığı sonucuna varmıştır [9]. Bu veriler doğrultusunda yapının yalnızca kullanım evresinde tüketmiş olduğu enerjiyi azaltma hedefi yeterli olmamaktadır.

Enerji krizine ek olarak küresel iklim değişikliği ve çevre sorunları yapının sadece enerji tüketiminin değil, çevresel etkilerinin de en aza indirilmesini zorunlu kılmaktadır. Yapı malzemelerinin üretimi esnasında kullanılan prosesler, malzemelerin gömülü enerjisi ve çevresel etkilerini oluşturmaktadır. Bu sebeple yapının tasarımı sırasında alınan malzeme kararları, yapının enerji talebini ve çevresel etkilerini önemli oranda etkilemektedir. Yapıda malzeme seçiminde alınan kararlar yapının gömülü enerjisi, enerji verimliliği ve çevresel etkileri göz önünde bulunduran bütüncül bir bakış açısı ile ilişkilendirilmelidir. Erken tasarım aşamasında bu yaklaşımın benimsenmesi sürdürülebilir bir yapı inşa etmenin temel taşı olmaktadır.

Enerji krizinin getirisi olarak karşımıza çıkan enerji verimliliğinin yanı sıra, yaşanan çevre sorunları ve iklim değişikliği, çevresel etkilerin de azaltılmasını gerektirmektedir. Bu sebeple daha sürdürülebilir bir gelecek için sürdürülebilir yapıların bütüncül bakış açısı benimsemesi oldukça önemli olmaktadır. Yüksek enerji verimliliği prensibine sahip pasif evlerin malzeme kararlarının düşük çevresel etki prensibi ile belirlenmesi, sürdürülebilir yapılara ulaşma hedefine daha uygun olacaktır.

Bu bağlamda çalışmada, yapının kullanım evresinde tükettiği enerjiyi odak alan pasif ev sertifikasına sahip bir yapıda, enerji etkinliğinin yanı sıra çevresel etkilerinin de azaltılmasına yönelik bütüncül bir yaklaşım benimsenmiştir. Çalışmada Türkiye'nin yeni bina kategorisinde ilk ve tek pasif evi olan Gaziantep Ekolojik Binası ele alınmıştır. 2013 yılında tamamlanmış olan yapı, pasif ev sertifikasının yanı sıra LEED Platinum sertifikasına da sahiptir. Günümüzde Ekolojik Yaşam Bilgilendirme Merkezi olarak kullanılmakta olan yapı, Gaziantep'te kurulması planlanan ekolojik kentin temsilcisi olarak görülmektedir [10].

Tez çalışmasında, Gaziantep Ekolojik Binası'nın çevresel etkilerinin azaltılması amacı ile mevcut yapının çevresel etki değerleri, yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile belirlenmiş, yapı kabuğunda yüksek çevresel etkiye sebep olan malzemelere yönelik alternatifler sunularak optimum yapı kabuğu alternatifleri belirlenmiştir. Çalışmada hem enerji verimli hem de çevresel etkileri daha düşük bir pasif evin tasarlanabilirliği irdelenmiştir. Yapının çevresel etkilerinin belirlenmesinde, malzemelerin üretim aşamasından başlayarak kullanım ve kullanım sonrası evrelerini de dikkate alan bütüncül bir yaklaşım olan yaşam döngüsü değerlendirilme yöntemi tercih edilmiştir. Yapı kabuğu için sunulan alternatif malzeme önerileri, yapının enerji performansını düşürmeyecek şekilde kurgulanmıştır. Yapı kabuğu için öneri malzemeler arasında tuğla, gazbeton, bimsblok, fibercement gibi yaygın kullanım alanı olan malzemelerin yanı sıra, kenevir beton, kerpiç gibi sürdürülebilir yapı malzemeleri de sunulmuştur. Alternatif malzeme katmanları oluşturulan yapı kabuğu senaryolarının çevresel etki değerleri belirlenmiş ve senaryolar arasında en düşük çevresel etki değerine sahip yapı kabuğu tespit edilmiştir. Tespit edilen en düşük çevresel etkiye sahip yapı kabuğu önerisi ile mevcut yapı kabuğu çevresel etki değerleri karşılaştırılmış ve elde edilen toplam çevresel etki değeri kazancı belirlenmiştir. Böylece bütünleşik bakış açısı ile yapıda hem termofiziksel özellikleri ve enerji tüketimi ile pasif ev standartlarına uygun, hem de düşük çevresel etkiye sahip pasif ev yapı kabuğu önerisi sunulmuştur.

Pasif ev tasarımcılarına bütüncül bir bakış açısı oluşturmayı hedefleyen bu tez çalışması beş bölümden oluşmaktadır. Tez çalışmasının giriş bölümünden sonra, enerji performansı ve çevresel etki değerlendirme kavramları üzerinde durulmuştur. Bu kavramlar ilk olarak ayrı ana başlıklar altında irdelenmiş, daha sonra ise birlikte ele

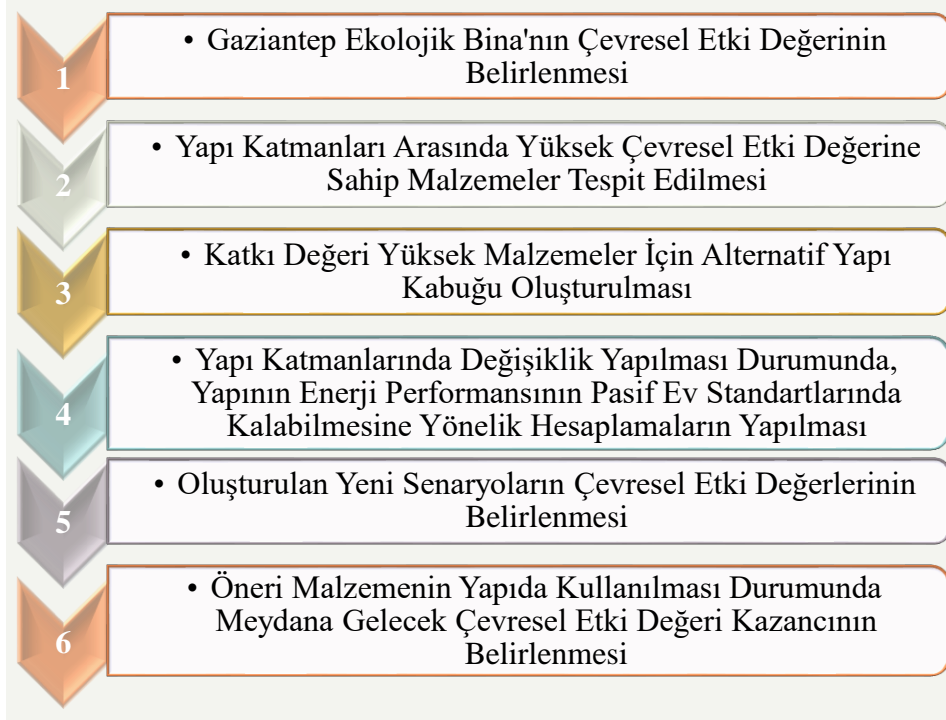
alınarak bütüncül bakış açısının önemi vurgulanmıştır. Enerji performansı başlığı ele alınırken enerji verimliliğinin önemi, pasif ev kavramı ve özellikleri, Türkiye’de ve dünyada yer alan pasif evler gibi çalışmanın amacını destekleyen alt başlıklara yer verilmiştir. Çevresel etki değerlendirme başlığı altında ise, tercih edilen çevresel etki değerlendirme yöntemi olan Yaşam Döngüsü Değerlendirme yönteminin içeriği detaylı bir şekilde açıklanmış ve çalışmanın amacı kapsamında bu yöntemin yapılarda ve tüm bina ölçeğinde kullanımı irdelenmiştir. Bu iki ana başlığın ardından, sürdürülebilir mimarlık kapsamında yapılarda bütünsel bir bakış açısının önemi belirtilmiştir.

Çalışmanın üçüncü bölümünde, çalışmada kullanılan materyale ve çalışmanın yöntemine yer verilmiştir. Bu bölümde, Gaziantep Ekolojik Bina tanıtılmış ve yapı ile ilgili detaylar aktarılmıştır. Çalışmada tercih edilen çevresel etki değerlendirme aracı olan One Click LCA ve EcoTransit World, enerji performansı hesaplama aracı olan Design Builder simülasyon programlarının tercih edilme sebepleri ve çalışma prensiplerine değinilmiştir. Çalışmanın metot kısmında takip edilen adımlar ve çalışmada bulunan kabullere yer verilmiştir. Pasif ev çevresel etki iyileştirilmesi için oluşturulan alternatif senaryolar ve yapı katmanlarında değişiklik yapılması durumunda, yapının enerji performansının pasif ev standartlarında kalabilmesine yönelik hesaplamalara, bu bölümde yer verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü kısmında, kabuller ve tercih edilen hesaplama yöntemleri doğrultusunda ulaşılan bulgulara yer verilmiştir. Bu bölümde mevcut yapı katmanları arasında yüksek çevresel etki değerine sahip malzemeler tespit edilmiş ve çalışmada iyileştirme önerileri sunmak amacı ile yerine öneri getirilebilecek malzemeler belirlenmiştir. Oluşturulan senaryoların çevresel etki değeri sonuçları A1-A3 ve A4 evreleri olmak üzere asidifikasyon, ötrofikasyon, küresel ısınma potansiyeli, fotokimyasal ozon oluşumu ve ozon tabakası tahribatı etki kategorilerinde detaylı bir şekilde irdelenmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümünde ise bulgular kısmında elde edilen veriler ile çevresel etki değeri düşük olan alternatif malzeme katmanı ve yapı kabuğu tespit edilmiş ve bu malzemenin yapıda kullanılması durumunda meydana gelecek çevresel etki değeri

kazancı belirlenmiştir. Çalışmada enerji verimli bir yapının pasif ev standartlarını koruyarak çevresel etkisinin azaltılmasının erken tasarım evresinde alınacak malzeme kararları ile mümkün olduğu kanıtlanmış ve bütüncül bakış açısı benimsenerek alınan yapı tasarım kararlarının sürdürülebilir yapıların oluşmasında önemli olduğu tespit edilmiştir. Tez çalışmasında izlenen adımlar Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Çalışmada izlenen adımlar.

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK KAPSAMINDA ENERJİ PERFORMANSI VE YAPILARDA ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRME

Çağımızın en önemli problemi olan iklim krizinin başlıca sebebi olarak sera gazı emisyonları görülmektedir. İnsanlığın enerji ihtiyacını karşılamak amacı ile fosil kaynak kullanımı sera gazı emisyonlarında ciddi artışa sebep olmaktadır. İklim krizinin önüne geçmek için çevrede sebep olunan tahribatın azaltılması şarttır. Enerji veriminin artması ve fosil kaynak yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı alınacak önlemler arasında yer almaktadır. Günümüzde yapılarda enerji verimliliğinin artırılmasına odaklanan çalışmalar [11-14] oldukça fazladır. Ancak yapılarda enerji verimliliğinin artmasının yanı sıra çevresel etkilerin de azaltılması iklim krizine neden parametrelerin ortadan kalkması için oldukça önemli olmaktadır. Bu yaklaşım sürdürülebilir yapı anlayışı ile bağdaşarak yapının çevreye duyarlı, ekolojik ve sürdürülebilir olarak değerlendirilebilmesi için bütüncül bir bakış açısını gerektirmektedir. Pasif evler, düşük enerji tüketimi ile öne çıkmakta ve günümüz yapı sektörünün enerji problemine bir çözüm önerisi olarak görülmektedir. Ancak pasif evler yalnızca yapıda kullanım evresinde tüketilen enerjinin minimize edilmesini hedeflemekte ve yapıların çevresel etkileri hususunda kaygılanmamaktadır. Çevreci ve sürdürülebilir anlayış için ise bütüncül bakış açısı benimsenmesi şarttır. Bu bağlamda çalışmanın bu bölümünde yapılarda enerji performansı ve çevresel etkiler önce ayrı ayrı ana başlıklar ile ele alınarak detaylı bir şekilde açıklanmış, sonrasında ise bu iki kavram birlikte değerlendirilerek bütüncül bakış açısının önemi vurgulanmıştır.

2.1. YAPILARDA ENERJİ PERFORMANSI

Binalar 2021 yılı Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) verilerine göre küresel enerji tüketiminin %30'undan, küresel emisyonların doğrudan %27'sinden, doğrudan ve

dolaylı yollardan 1/3'ünden sorumlu tutulmaktadır. Bu emisyonların %8'i binalarda fosil yakıt kullanımından, %19'u kullanılan elektrik ve ısı üretiminden ve dolaylı yoldan %6'sı ise bina yapımında kullanmak için üretilen çimento, çelik ve alüminyum imalatından kaynaklanmaktadır [15]. Türkiye'de ise 2020 yılında tüketilen enerjinin %25,29'unun mesken kaynaklı olduğu, sera gazı emisyonlarının ise %55,49'unun enerji üretimi kaynaklı olduğu açıklanmıştır [7,16]. Bu veriler doğrultusunda küresel ısınmanın temel sebebi olarak görülen sera gazı emisyonlarına enerji tüketiminin katkısı oldukça yüksektir ve sektörler göre dağılım incelendiğinde ise binalar bu enerji tüketimine büyük oranda katkıda bulunmaktadır. Enerji tüketimini azaltma politikalarının hız kazanması ile gözler sektörel kullanımda önemli bir yer tutan inşaat sektörüne çevrilmiştir. Enerjinin verimli kullanımı anlayışının benimsenmesi ile ulaşım ve endüstriyel enerji tüketiminde azalma beklense de inşaat sektöründe artan nüfus ve beraberinde gelen şehirleşme ile enerji talebindeki artışın devamı beklenmektedir [17]. Bu sebeple enerjinin verimli kullanımı, ısı kayıplarının önüne geçilmesi, fosil yakıt yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının tüketimi sürdürülebilir bir çevre anlayışı için oldukça önemli olmaktadır. Yeni yapılan binalarda enerji performansı dikkate alınarak tasarım yapılması ve mevcut yapı stokunun ise iyileştirilmesi enerjinin verimli kullanımı açısından ön plana çıkmaktadır. Yapılan çalışmalarda yapıda ısıtma için tüketilen enerjinin bina yaşı ile birlikte artış gösterdiği ortaya konmuştur [18]. Bu sebeple mevcut yapı stokunun iyileştirilmesi enerjinin verimli kullanımı açısından oldukça önemlidir. Ancak mevcut yapı stokunun iyileştirilebilmesi için yapıda malzemelerin değiştirilebilme olanağına özellikle statik sebeplerin engel olması ve sınırlı değiştirilebilme sebebi bu durumu zorlaştırmaktadır. Bu sebeple erken tasarım aşamasında enerji performansı kararları göz önünde bulundurularak tasarım ve malzeme tercihlerinin yapılması istenilen enerji performansına kolaylıkla ulaşılması açısından oldukça önemlidir [19-21]. Mevcut yapıların enerji performansında istenilen tüketim miktarlarına ulaşılması ise yüksek yalıtım kalınlıkları ile mümkün olabilmektedir [22-25].

Binalarda enerji tüketimi iklim faktörü, yapıların fiziksel özellikleri, kullanıcı profili ve kaynak tipine göre değişkenlik gösterebilmektedir [26]. Yapılar kullandıkları enerjinin %80'ini işletme yani kullanım aşamasında tüketmektedir [27]. Bu enerjinin büyük bir kısmı ise aydınlatma, ısıtma, soğutma ve iklimlendirme gibi temel

ihtiyaçların karşılanmasında kullanılmaktadır [8]. Binalarda enerji ihtiyacını azaltma amacı ile enerji verimli binalara verilen önem artmıştır. Yer aldığı iklim şartlarını göz önünde bulunduran ve içinde bulunduğu çevre ile uyumlu tasarım kararları ile binalarda enerji talebini azaltmak mümkün olmaktadır. Toplumda enerji ihtiyacındaki artış ve bu enerjinin büyük bir kısmının meskenler tarafından ısıtma ve soğutma amacı ile kullanılıyor oluşu minimize edilmiş enerji tüketimi ile ön plana çıkan iyi yalıtılmış pasif evlere yönelimin hızlanmasına sebep olmuştur [28]. Talep ettiği düşük miktardaki enerjiyi de yenilenebilir enerji kaynakları ile sağlayan pasif evler, bu bakış açısı doğrultusunda yaygınlaşmaya başlamıştır.

2.1.1. Pasif Ev Standardı

Pasif evler, Pasif Ev Enstitüsü tarafından mevcut bina stokuna göre %90, yeni yapılara göre %75 daha az ısıtma ve soğutma enerjisine ihtiyaç duyan, kullandığı enerji kaynaklarını daha verimli kullanan, kullanıcıya konforlu bir yaşam alanı sunan ve her yerde uygulanabilir bir inşaat konsepti olarak tanımlanmaktadır [29]. Pasif ev kavramı ilk olarak Almanya’da ortaya çıkmış ve Almanca ‘Passivenhausen’ kelimesinden gelmektedir. Günümüzde de önde gelen standartlardan biri olan Pasif Ev Standardı 1991 yılında geliştirilmiş ve sertifikalandırma işlemi Almanya’da yer alan bağımsız bir araştırma kuruluşu olan Pasif Ev Enstitüsü (PHI) tarafından yapılmaktadır [30]. Pasif Ev Enstitüsü’nün Pasif Ev Tasarım Standardı’nın yanı sıra geliştirdiği Düşük Enerjili Bina Standardı (PHI) ve Mevcut Binanın Renovasyonu Standardı (EnerPHİT) olmak üzere üç tip standardı bulunmaktadır. Mevcut yapıların iyileştirilmesinde her yapı malzemesine müdahale edilememesi durumundan kaynaklı yapının enerji kullanımını Pasif ev standartlarına ulaştırmak zor olacağından, Pasif Ev Enstitüsü mevcut yapıların iyileştirilmesi için pasif eve göre daha yüksek enerji talebi olan ayrı bir standart geliştirmiştir. Pasif Ev Standartları pasif evlerin performans standartlarını ortaya koymakta olup, yapıda kullanılacak inşaat yöntemi için bir kalıp sunmamaktadır. Sunulan şartları sağladığı koşulda yapım yöntemi uygulayıcıya göre değişebilmektedir [31].

Pasif evler yenilenebilir enerji kullanım ve üretim miktarına göre üç ayrı şekilde sertifikalandırılmaktadır. Yapının ihtiyacı kadar enerjiyi yenilenebilir enerji

kaynaklarından üretebilen pasif evler ‘Plus’, yapının kendi ihtiyacını ve fazlasını üretebilen pasif evler ‘Premium’, diğer pasif evler ise ‘Klasik’ olarak sertifikalandırılmaktadır. Düşük enerji tüketimleri ile ön plana çıkan pasif evlerin, bu bağlamda bazı gereksinimleri sağlaması gerekmektedir. Bu gereksinimler, iyi yalıtılmış hava sızdırmaz bir yapı kabuğu ile birlikte iyi işçilik ile yapılmış ısı köprüsüz tasarım ve uygulama ve yüksek verimli ısı kazanımlı havalandırma sistemleridir. Pasif evlerin yıllık m^2 başına düşen ısıtma ve soğutma miktarının $15 \text{ kWh}/m^2$ ’ye eşit veya küçük olması beklenmektedir. Ayrıca yıllık ısıtma, soğutma, sıcak su ve elektrikli ev aletlerinin kullanımını içeren birincil enerji talebinin $120 \text{ kWh}/m^2$ ’den küçük veya eşit olması gerekmektedir. Gereksinimleri arasında yüksek yalıtımlı yapı kabuğu yer alan pasif evlerin dış çevre koşullarından etkilenmemesi için duvarlarının ısı geçirgenlik katsayısının (U_d) $0,15 \text{ W}/m^2K$ ’den küçük olması beklenmektedir. Aynı şekilde açıklıklardan meydana gelebilecek ısı kayıplarının önüne geçilebilmesi için pencere ve kapıların ısı geçirgenlik katsayısının $0,8 \text{ W}/m^2K$ ’den küçük olması beklenmektedir. Yapıda istenmeyen hava kaçakları, nem ve küf oluşumunun önüne geçmek amacı ile pasif evlerin hava sızdırmazlık değeri olan hava değişim miktarı 50 Pascal basınçta $0,6 \text{ l/h}$ ’dan küçük olması istenmektedir. Pasif evlerde kontrolsüz ısı kayıplarının önüne geçilmesi için ısı köprüsü oluşumu engellenmelidir ($\Psi \leq 0.01 \text{ W}/(mK)$ [32]. Isı köprüsüz bir yapı inşası için iyi işçilik ve detay çözümleri gerekmektedir. Pencere, kapı, merdiven ve balkonlar ısı köprüleri açısından dikkat edilmesi gereken noktalardır [31]. Pasif evlerde oluşturulan iyi yalıtılmış ve hava sızdırmaz yapı kabuğu dış ortam hava koşullarından minimum düzeyde etkilenerek yapı iç ortam ısısının korunumunu sağlayarak düşük miktarda ısıtma ya da soğutma enerji talebini gerektirir. Pasif evlerde kullanılan geri kazanımlı havalandırma sisteminin verimi ise ≥ 75 olması beklenmektedir [32]. Pasif evlerde kontrolsüz hava akımları ve sıcaklık dalgalanmaları mümkün olmadığı için kullanıcıya konforlu bir iç mekân sağlamaktadır. Ayrıca pasif evlerde tercih edilen ısı geri kazanımlı havalandırma sistemi sayesinde iç mekâna sürekli taze hava girişi sağlanmaktadır. Bu sistemde ısı geri kazanımı, dışarıdaki temiz havanın içeri alımı esnasında yapı içerisinden dışarı atılmakta olan kirli ve sıcak havayla ısı alışverişi ile sağlanır [33].

Pasif evler ilk olarak soğuk iklim bölgelerinde yer alan konutların ısıtma yüklerini azaltmak amacı ile kullanılsa da zamanla geliştirilerek sıcak iklim bölgelerine göre de

uyarlanmıştır [34]. Pasif evlerin yalıtım kalınlıkları buldukları yerin iklim şartlarına göre şekillenmektedir. Pasif evler buldukları çevre ile uyumlu olarak tasarlanmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşten faydalanabilmek için güney cephelerinde geniş açıklıklar yer alırken, kuzey cephede ihtiyaçları karşılayacak kadar açıklık bırakılır. Pasif evlerde araları soygazla doldurulmuş üçlü cam sistemlerine sahip özel pencereler tercih edilerek kış aylarında güneşten kazanç sağlanırken, camlar arasındaki gazlar sayesinde içerideki sıcak havanın soğumasına engel olunur. Yazın ise güneş ışınları daha dik açıyla geldiği için güneş kaynaklı ısı kazancının güneş kırıncılığıyla engellenmesi mümkün olur.

Pasif evlerin ilk yatırım maliyetleri yüksek olsa da minimum enerji kullanımı sayesinde yapı işletim maliyetleri düşmektedir [32]. Tüm bina ömrü düşünüldüğünde yapı ilk yatırım maliyetini amorti etmektedir [35-38] Ayrıca pasif evlerde kullanılan özel sistemlerin kolay ulaşılabilirliği, pasif ev maliyetini etkilemektedir [39].

2.1.2. Dünyada Pasif Ev Örnekleri

Dünyada iklim krizi ile yüksek enerji verimliliği ve düşük enerji tüketimi ile ön plana çıkan pasif ev kavramı önem kazanmış ve pasif evlerin inşası yaygınlaşmıştır. Passive House Database (Pasif ev veritabanı) incelendiğinde sertifika almış 2.197 kayıtlı yapı olduğu görülmektedir [40]. Pasif ev veri tabanı incelendiğinde, dünya genelinde veri tabanına kayıtlı 5.569 bina olduğu görülmektedir. Ancak dünya genelinde pasif ev standartlarına göre inşa edilen 50.000'den fazla yapı olduğu öne sürülmektedir [41]. Bu yapılardan bazıları incelendiğinde, yüksek yalıtım kalınlıkları ile düşük enerji tüketimleri öne çıkmaktadır.

Güney Avustralya'nın Mount Berker şehrinde yer alan 7196 künye numaralı 2022 yılında yapımı tamamlanmış, yeni yapı kategorisinde sertifika almış konut, olabildiğince yerel malzeme kullanılarak, yere özgü malzemeler ile pasif ev yapmanın mümkün olduğunu kanıtlamak için inşa edilmiştir. Şekil 2.1.'de görülen 167 m² alana sahip yapı, iki katlı ve müstakil ev olarak kullanılmaktadır. Ilıman iklim bölgesinde yer alan yapı ahşap iskelet sistemi ile yapılmış olup, duvarları 35 cm kalınlığında yalıtım malzemesi ile yalıtılmıştır. Pasif Ev Plus sertifikası alan yapı, ihtiyacı olan

enerjiyi yenilenebilir enerji kaynaklarından da üretebilmektedir. Yapının metrekare başına yıllık ısıtma talebi 13 kWh/m²a iken soğutma talebi 10 kWh/m²a olmuştur [40].



Şekil 2.1. 7196 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

Yeni Zelanda'nın Wanaka bölgesinde yer alan, Şekil 2.2'de görülen 147 m² inşaat alanına sahip 7249 künye numaralı yapı, bulunduğu bölgede pasif ev sertifikası alan ilk ofis yapısıdır. 2023 yılında inşa edilen bu yapı aynı zamanda Pasif Ev Plus sertifikası da almıştır. Sıcak ılıman iklim bölgesinde yer alan yapıda ahşap yapım sistemi kullanılmış ve duvarları 19 cm kalınlığında mineral yün ile yalıtılmıştır. Yapının yıllık ısıtma talebi ise 14 kWh/m²a olmuştur [40].



Şekil 2.2. 7249 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

Japonya'nın sıcak ılıman iklime sahip Aomori şehrinde yer alan yapı, 2022 yılında tamamlanmış olup 102 m² alana sahip müstakil bir yapıdır. Şekil 2.3'te görülen ahşap sistem ile inşa edilmiş yapının duvar U değeri 0,101 W/(m²K)'dir. Yapıda bölgenin karakteristiğini yansıtmak amacı ile yerel ve ahşap malzemeler tercih edilmiştir. Yapının yıllık ısıtma yükü 8 kWh/m² iken, soğutma yükü ise 12 kWh/m²'dir [40].



Şekil 2.3. 6981 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

Amerika Birleşik Devletleri'nin Massachusetts eyaletinde 2022 yılında yapılmış olan üç müstakil konuttan biri olan Şekil 2.4'te görülen 7265 künye numaralı yapı, şehrin pasif ev sertifikalı ilk müstakil konutudur. 165 m² olan yapı, serin ılıman iklim bölgesinde yer almakta olup ve ahşap yapım sistemi ile inşa edilmiştir. Duvarlarında EPS yalıtım malzemesi kullanılan yapının duvar U değeri 0,106 W/(m²K)'dir. Yapının yıllık ısıtma talebi 10 kWh/m² a iken, soğutma talebi ise 13 kWh/m²'a'dir [40].



Şekil 2.4. 7265 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

Güney Kore'nin Suncheon-si şehrinde yer alan, Şekil 2.5'te görülen 7284 künye numaralı yapı ise 2022 yılında yapılmış olup, 149 m² alana sahiptir. Sıcak ılıman iklim bölgesinde yer alan yapının duvarlarında 20 cm kalınlığında betonarme duvar ve aynı kalınlıkta EPS yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Yapının duvar U değeri 0,133 W/(m²K) iken, ısıtma talebi 10 kWh/m²a, soğutma talebi ise 17 kWh/m²a olmuştur [40].



Şekil 2.5. 7284 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

Avusturya'nın Innsbruck şehrinde yer alan, pasif ev sertifikası almış 6525 m² alana sahip bir apartman binası olan yapı, 2022 yılında yapılmıştır. Şekil 2.6'da görülen yapı serin ılıman iklim bölgesinde yer almakta ve dört bina olarak tasarlanan kompleksin tek bloğunda 97 adet daire bulunmaktadır. Yapının duvarlarında 20 cm kalınlığında betonarme duvar malzemesinin yanı sıra, 24 cm kalınlığında taş yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Yapının duvar U değeri 0,14 W/(m²K) iken, ısıtma talebi 15 kWh/m²a'dır [40].



Şekil 2.6. 7190 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

İspanya'nın Zaragoza şehrinde yer alan pasif ev, yeni yapı kategorisinde sertifika almış Şekil 2.7'de görülen 7195 künye numaralı yapı, 137 konuttan oluşan ve 12.496 m² alana sahip apartman binasıdır. Yapıda yer alan her daire 85 m² alana sahiptir ve 3+1 olarak tasarlanmıştır. Konutların tasarımı yapılırken dairelerin iki farklı yöne bakması

sağlanarak çapraz havalandırmadan yararlanılmıştır. 2022 yılında inşa edilmiş olan yapı iki farklı kuru inşaat sistemi kullanılarak inşa edilmiştir. Yapının duvar U değeri 0,21 W/(m²K) iken, yıllık ısıtma talebi 11 kWh/m²a, soğutma talebi ise 10 kWh/m²a olmuştur [40].



Şekil 2.7. 7195 kimlik numaralı pasif ev görünümü [40].

Pasif evler kuzey Avrupa ülkeleri gibi soğuk iklim bölgelerinde yaygınlaşmış olsa da enerji veriminin önem kazanması ile ülkemiz de dahil olmak üzere dünyanın birçok yerinde ilk örnekleri inşa edilmiştir [35].

2.1.3. Türkiye’de Pasif Ev Örnekleri

Türkiye’de Pasif Ev Enstitüsü (PHI) tarafından akredite edilmiş bir adet kuruluş bulunmaktadır. Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği (SEPEV) Türkiye’deki tek kurs ve sınav sağlayıcı kurumdur. Pasif ev veri tabanı incelendiğinde dünya genelinde veri tabanına kayıtlı 5.569 bina olduğu görülmektedir. Ancak dünya genelinde pasif ev standartlarına göre inşa edilen 50.000’den fazla yapı olduğu öne sürülmektedir [41]. Türkiye’de ise biri yeni yapı diğeri ise mevcut bina iyileştirilmesi olmak üzere iki adet pasif ev bulunmaktadır. Bu iki yapı da Gaziantep ilinde yer almaktadır.

Yeni bina kategorisinde Türkiye’de ilk ve tek pasif ev olan Gaziantep Ekolojik Bina’nın yapımı 2013 yılında tamamlanmış, 2014 yılında ise yapı kullanıma başlanmıştır. Şekil 2.8’de görülen yapı 320 m²’lik inşaat alanına sahip olup, tek katlı ve kompakt bir yapı anlayışı ile tasarlanmıştır. Günümüzde yapıda her yaş grubuna ekolojik ve sürdürülebilir yaşam hakkında eğitimler verilmekte olup, yapı tanıtım ve bilgilendirme merkezi olarak kullanılmaktadır. Gaziantep Ekolojik Bina aynı zamanda

LEED Platinum sertifikasına da sahiptir. Bina, referans bir binaya göre %90 enerji, %65 su tasarruflu olarak nitelendirilmektedir [41]. Gaziantep Ekolojik Bina, Gaziantep'te 3.200 hektarlık alanda kurulması planlanan 'Ekolojik Kent' için örnek bir bina olarak görülmektedir [42].



Şekil 2.8. Gaziantep Ekolojik Bina görünümü.

Mevcut yapı renovasyon sertifikası olan EnerPHIT sertifikası alan Türkiye'de ki ilk yapı olan Gaziantep Kuluçka Merkezi, 2016 yılında sertifika şartlarına bağlı kalınarak iyileştirilmiştir. Renovasyon öncesi ve sonrası görünümü Şekil 2.9'da verilen yapıda iyileştirme esnasında üçlü cam sistemleri, pasif ev sertifikalı pencere sistemi, pasif ev sertifikalı havalandırma cihazı, hava kaynaklı ısı pompası, fotovoltaik paneller, ısı sızdırmaz membranlar ve bantlar, LED aydınlatma sistemleri kullanılmış ve duvar ve çatı yalıtımı sağlanarak yapı kabuğu gerekli U değerine ulaştırılmıştır [41]. Bu uygulamalar sayesinde yapının ısı giderinde %87, genel enerji giderlerinde ise %75 tasarruf sağlanmıştır [43].



Şekil 2.9. Gaziantep Kuluçka Merkezi renovasyon öncesi ve sonrası görünümü [41].

2.2. YAPILARDA ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRME

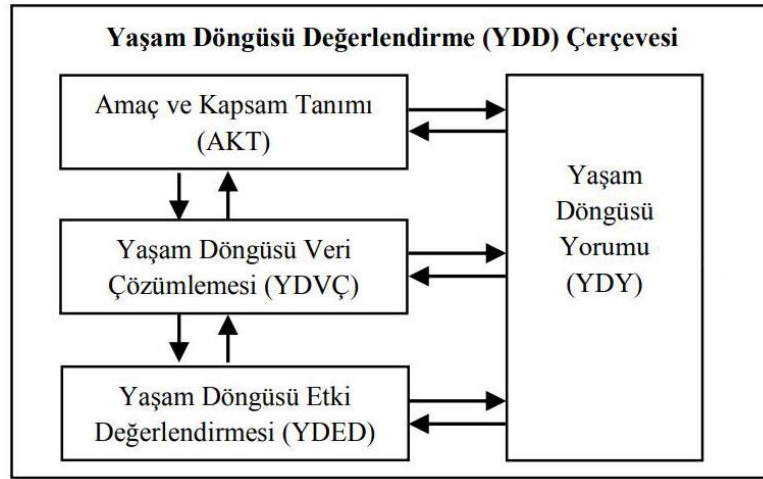
Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı'na göre (EPA) çevresel etki, bir tesisin faaliyetlerinden, ürünlerinden veya hizmetlerinden kaynaklı çevrede meydana gelen olumlu ya da olumsuz değişiklikler olarak tanımlanmakta olup, insanların çevre üzerindeki etkileri olarak özetlenebilmektedir [44]. Yapı ile ilişkili faaliyetlerin dünya genelinde kaynak tüketimine ve zararlı emisyonlara katkısı, yapıların çevresel etkilerine dikkat çekmektedir. Yapıların çevre üzerindeki etkileri, kaynak tüketimi ve ekosisteme yansımaları, ortaya çıkan atıklar ve emisyonlar, insan sağlığı ve yaşam kalitesini bütüncül bir bakış açısıyla ele alarak yapı ve yaşam kalitesini artırırken, yapı yapım süreçlerindeki kaynak tüketimini ve çevresel etkilerini azaltmayı hedeflemektedir [45]. Yapıların çevre üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla bazı çevresel etki değerlendirme araçları geliştirilmiştir. Bu araçlar çevre yönetmelikleri ve standartlarındaki şartları dikkate alarak tüm yapı ve yapıya ait malzemelerin çevresel performansının değerlendirilebilmesi için ihtiyaç duyulan göstergeleri içermektedir [46]. Öne çıkan çevresel etki değerlendirme araçları; yaşam döngüsü değerlendirmesi, yeşil bina sertifika sistemleri, karbon ayak izi analizi ve ekoetikettir. Bu çalışmada çevresel etki değerlendirme yöntemi olarak, Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemini diğer yöntemlerden ayıran en önemli özelliği ise belirli bir tesise, faaliyete ya da sürece odaklanmadan ele alınan konuya beşikten mezara bütüncül bir bakış açısı ile ele almasıdır [47].

2.2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi

Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, her türlü faaliyetin yaşam döngüsü süreçlerinin tamamının çevreye etkilerinin incelenerek değerlendirildiği ve bu değerlendirilme sonucunda ürün seçiminde karar vermeye yardımcı olabilecek bir araç olarak tanımlanmaktadır [48]. ISO 14040 standartlarına göre yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ise, bir ürünün yaşam döngüsü boyunca potansiyel çevresel etkilerinin belirlenmesi için ürün prosesinin tüm girdi ve çıktılarının tespit edilip envanter analizi ve etki değerlendirme sonuçlarının değerlendirilip yorumlanması ile iyileştirme ve alternatifler arasında seçim yapma imkânı tanıyan bir yöntemdir [49].

Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, bir bütünü oluşturan hammaddelerin temini ve işlenmesinden başlayarak üretim alanına taşınması, üretilmesi, kullanılması ve kullanım ömrünü tamamladıktan sonra bertaraf edilmesi aşamalarını kapsamaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirme standartları Uluslararası Standartlar Organizasyonu'nun (ISO) yayımladığı ISO 14000 standartlarının çevrilmesi ile TS EN ISO 14040 ve 14043 'Çevre Yönetimi, Hayat Boyu Değerlendirme, Prensipler ve Çerçeve' Standartları olarak TSE Standartlarına girmiştir [46].

ISO 14040 ve 14044 standartlarına göre yaşam döngüsü değerlendirme; amaç ve kapsam tanımı, envanter analizi yani veri çözümleme, etki değerlendirme ve yorumlama olmak üzere 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar Şekil 2.10'da verilmiştir.



Şekil 2.10. Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi aşamaları [50].

İlk aşamayı oluşturan amaç ve kapsam tanımında, çevresel etkisi değerlendirilecek ürün sistemi belirlenmeli ve bu sistem için kabul edilecek varsayımlar, sistem sınırları, işlevsel birim, etki kategorileri ve etki değerlendirme yöntemi tanımlanmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminde işlevsel birim seçimi, sonuçların karşılaştırılması açısından oldukça önemlidir ve fiziksel miktardan ziyade fonksiyonla alakalı bir birim olmalıdır [51]. Sistem sınırları ve etki kategorileri çalışmanın amaç ve kapsamıyla bağlantılı olacak şekilde seçilmelidir. Yaşam döngüsü envanter analiz aşamasında ürünün tüm süreçlerinde enerji, hammadde, hava, su gibi ihtiyaçları gibi girdiler ve açığa çıkan emisyonlar gibi çıktılar tanımlanmaktadır. Etki

değerlendirmede ise envanter analizi sonuçları kullanılarak çevresel etkilerin etki kategorilerine göre değerlendirilmesi yapılmaktadır. Çevresel etki göstergeleri ürünlerin çevresel etkilerinin belirlenmesinde kullanılmakta olup, ortak bir gruptandırılmaya tabi tutulmadığı için kurumlara göre farklı adlandırılabilmekte ve sınıflandırılabilir [52]. Farklı kurumlara göre kabul görülen etki kategorileri Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Yaşam döngüsü değerlendirme etki kategorileri [52].

Etki Sınıfları	CML 2001	SETAC	BEES/EPA	BRE	TRACI	GaBi	ISO 14047
Abiyotik Tüketim	Abiyotik kaynak tüketimi	Cansız kaynak tüketimi Alan kullanımı	Fosil yakıt tüketimi	Fosil yakıt tüketimi	Fosil yakıt tüketimi	Kaynak tüketimi	Abiyotik kaynak tüketimi
			Su kirlenimi	Su kirlenimi		Alan kullanımı	
			Habitat tahribatı	Atık mineral çıkarımı			
İklim Değişimi	Küresel ısınma potansiyeli	Küresel ısınma	Küresel ısınma	İklim değişikliği	Küresel ısınma	Küresel ısınma	İklim değişikliği
Ozon Tabakası Tahribi	Stratosferik ozon tüketimi	Ozon tabakasının incelmeye	Ozon tüketimi	Ozon tüketimi	Ozon tüketimi	Stratosferdeki ozon tüketimi	Stratosferdeki ozon tüketimi
İnsan Sağlığı	İnsan zehirlenme potansiyeli	İnsan zehirlenmesi	İnsan sağlığı İç mekân hava kalitesi Hava kirlenimci	İnsan sağlığı (Hava ve su zehirlenmesi)	İnsan sağlığı Kanseri	İnsan sağlığı	İnsan zehirlenmesi
Ötrofikasyon	Ötrofikasyon potansiyeli	Ötrofikasyon	Ötrofikasyon	Ötrofikasyon	Ötrofikasyon	Ötrofikasyon	Besin birikimi
Ekolojik Zehirlenme	Tatlısu zehirlenme potansiyeli	Ekolojik zehirlenme Kirlilik Ekosistemlerin ve peyzajın bozulması Canlı kaynak tüketimi	Ekolojik zehirlenme	Eko zehirlenme	Eko zehirlenme	Ekolojik zehirlenme	Ekolojik zehirlenme Canlı kaynakların tüketimi
	Deniz suyu zehirlenme potansiyeli						
	Kara zehirlenme potansiyeli						
Duman	Fotokimyasal ozon potansiyeli	Sis	Duman	Duman	Sis	Fotokimyasal ozon gazı üretim potansiyeli	x
Asidifikasyon	Asidifikasyon potansiyeli	Asit yağmurları	Asidifikasyon	Asidifikasyon	Asidifikasyon	Asidifikasyon	Asitleşme
Radyasyon	Radyoaktif radyasyon	x	x	x	x	İyonize olmayan radyasyon	x

Bu çevresel etki göstergelerinden atmosferde varlığını uzun yıllar sürdüren CO₂ referans alınarak hesaplanan küresel ısınma potansiyeli (GWP) sera gazı etkisi ile dünya ısı artışına sebep olan katkıyı ifade eden bir gösterge olarak kabul edilmektedir [53]. Küresel ısınma potansiyeline karbondioksitin yanı sıra en büyük katkı, metan gazı tarafından olmaktadır [54].

Bir diğerk etki kategorisi olan asidifikasyon potansiyeli toprakların, yer altı ve yüzey sularının asitleşmesine sebep olan gazların miktarının bir göstergesidir [55]. Fosil yakıt tüketimi ile sera gazlarından olan SO₂ ve NO'nun açığa çıkması ve bu gazların atmosferde yükselerek diğerk kirleticilerle birleşerek yağmur ya da kuru yollarla yeryüzüne inmesi ile asitleşme meydana gelmektedir. Toprağın ve suyun habitatının bozulmasına sebep olan bu olay özellikle toprakta meydana gelmesi durumunda bitki yetişmesine elverişsiz fakir toprakların oluşmasına neden olmaktadır [56].

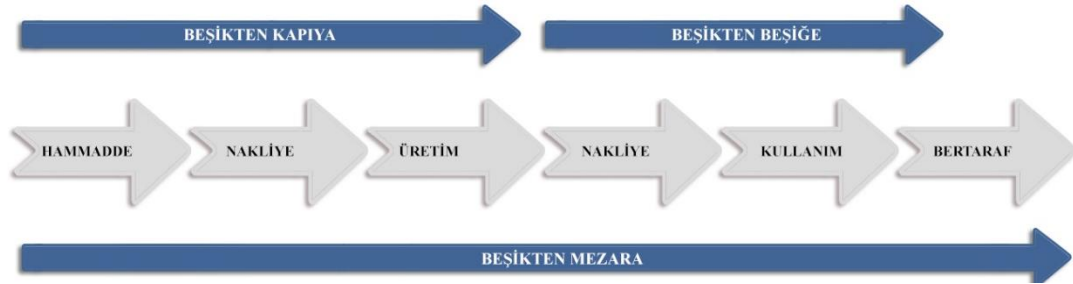
Ötrofikasyon ise, su ekosistemlerinde besin maddelerinin kontrolsüz artışından kaynaklı bitki popülasyonunun hızla artması ve beraberinde gelen oksijen yetersizliğiyle su ekosisteminin ölmesi olarak tanımlanmaktadır [57]. Azot ve fosfor akışının artması, ötrofikasyonun da arttırmasına sebep olmaktadır [58].

Ozon tabakası dünyayı güneşin zararlı ışınlarından koruyan bir tabaka olup, tamamen insan kaynaklı sebeplerden tahrip olmaktadır. Bu tahribe sebep olan ve kloroflorokarbon olarak adlandırılan bu gazlar insanlar tarafından sprelerde, soğutucularda klima sistemlerinde ve yalıtım malzemesi üretiminde kullanılmaktadır [59]. Ozon tabakasının delinmesi, güneşin zararlı ışınlarının dünyaya ulaşmasına ve ekosistemin bu etkilerle bozulmasına sebep olmaktadır.

Ozon (O₃), atmosferde kendiliğinden var olan ve dünyayı güneşin zararlı ışınlarından koruyan bir gazken, yer seviyesinde oluşan ozon ise uçucu organik bileşikler ve azot oksitlerin güneş ışınlarıyla tepkimeye girmesi sonucunda oluşan ikincil bir kirletici olarak tanımlanmaktadır [60]. Ozon, insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere sebep olurken, maruz kalma durumunda ciğerklere kadar ulaşarak özellikle solunum yollarında önemli tahribatlara neden olmaktadır [61].

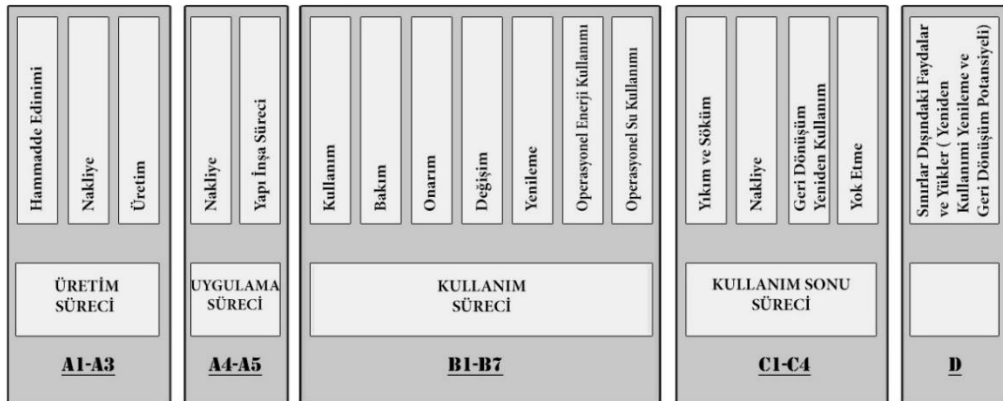
Yapı sektöründe malzemelerin üretilmesi, inşaat yapım süreci, yapının kullanılması yani işletme, bakım ve yıkım gibi farklı yaşam süreçlerinde enerji tüketerek küresel sera gazı emisyonunu arttırması, yapıların yaşam döngülerinin detaylı bir şekilde incelenmesini gerekli kılmıştır [62].

Yapıda, yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, kapsamlarına göre dörde ayrılmaktadır [63]. İlki, hammaddenin elde ediniminden (beşik) ürünün nakliye dahil tüketiciye ulaştırıldığı (kapı) evreleri kapsamakta ve ‘beşikten kapıya’ olarak adlandırılmaktadır. ‘Beşikten mezara’ olarak adlandırılan bir diğer kapsam ise, hammadde elde ediniminden (beşik) başlamakta ve atıkların tasfiye edilmesi (mezar) aşamalarını içermektedir. Diğer bir kapsam ise ‘beşikten beşiğe’ olarak adlandırılan ve hammadde elde ediniminden (beşik) başlayarak atıkların geri dönüşümüne kadar olan aşamaları, yani atıkların geri kazanımının söz konusu olduğu yaklaşımı içermektedir (Şekil 2.11). Son yaklaşım olan ‘kapıdan kapıya’ olan süreçte ise, ürünün ya da sürecin tek bir aşamasına odaklanarak çevresel etki değerlendirilmesi yapılmaktadır.



Şekil 2.11. Yaşam döngüsü değerlendirme evreleri.

Yapılarda yaşam döngüsü değerlendirme evreleri 4 aşamadan oluşmaktadır. Bu süreç malzemelerin üretimini, uygulanmasını, kullanımını ve kullanım sonrası atıkların bertaraf edilmesini içermektedir. Bu aşamalar ve detayları Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Yapı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme evreleri.

A1-A3 evresi, bir yapı malzemesinin üretilmesi için gerekli hammaddelerin çıkarımı, üretim alanına taşınması ve üretimi sırasında gerekli tüm enerji ve diğer gereksinimleri içermektedir. Bu aşama ‘beşikten kapıya’ olarak adlandırılmaktadır. Bu aşama doğa tahribatına ve yüksek enerji tüketimine sebep olması nedeniyle çevreye zarar verme potansiyeli en yüksek aşama olarak görülmektedir [64]. A4 evresi, yapıyı oluşturan bütün yapı elemanlarının üretimi tamamlandıktan sonra şantiye alanına taşınması ve depolanmasını, A5 evresi ise şantiye alanında yapılan üretimleri bu üretimler sırasında çıkan atıkların bertaraf edilmesini, yapının oturacağı zemin ile ilgili işlemleri ve diğer kurulum işlemlerindeki tüm girdileri içermektedir.

B evresi ise yapının inşa sürecinin tamamlanmasının ardından devreye alınmasıyla başlayarak, yapının kullanım ömrünü tamamlayıp yıkılacağı zamana kadar geçen süreci içermektedir. B1 yani yapının kullanım aşaması, yapı içindeki faaliyetlerden, kullanım şartlarından kaynaklı etkileri, B2 bakım evresi bakım için kullanılacak ürünlerin imalatı, taşınması ve yapılacak temizlik işlemlerini tanımlamaktadır. B3 onarım evresi ise yapının tamir ihtiyacı olan parçasının sökülmesi ve bertaraf edilmesini, yeni üretilen parçanın üretimi ve yapıya taşınmasını, onarılması işlemlerinin çevresel etkilerini içermektedir. B4 değişim evresi ise yapının kullanım ömrünü tamamlayan yapı elemanlarının sökülmesi, sökülen parçanın atık yönetimini, yeni üretilen parçanın üretilip yapıya taşınması ve uygulanması aşamalarını içermektedir. B5 yenileme evresi ise, yapının olası modifikasyon işlemlerini kapsamaktadır. B6 opsiyonel enerji kullanımı ise binadaki ısıtma, iklimlendirme, sıcak su temini, havalandırma, aydınlatma ve otomasyon sistemleri için kullanılan enerjinin çevresel etkilerini tanımlamaktadır. Binayla bütünleşik sistemlerden olan asansör ve yürüyen merdivenler için de harcanan enerji, bu bölümde ele alınmaktadır. B7 ise, bina ile bütünleşik sistemler olan içme suyu, evsel sıcak su, arazi ve yeşil çatıların sulanması, iklimlendirme sistemleri tarafından kullanılan su ve varsa yüzme havuzu için kullanılan suları içermektedir.

C evresi ise yapının kullanım ömrünü tamamlamasının ardından yıkımını ve oluşan atıkların bertaraf edilme şekillerine göre (geri dönüşüm, yeniden kullanım, depolama, yakma) açığa çıkardığı çevresel etkileri içermektedir. D evresi ise atıkların yeniden

kullanımı ya da geri dönüşümü tercih edilmesi durumunda kazanılan net çevresel faydayı ifade etmektedir.

Yapılar, en fazla enerjiyi işletim aşamasında tükettikleri için çalışmalar [65-70] çoğunlukla bu aşama üzerinde yapılmakta, inşaat öncesi evreyi içeren az sayıda çalışma yer almaktadır [71-73]. Ancak sistem ve malzemelerin etkilerinin azaltılması ve potansiyel alternatiflerin oluşturulması için bu evre göz ardı edilmemelidir [74]. Yapılarda binanın kullanımı aşamasında tüketilen enerji olarak ifade edilen işletim enerjisi, diğer devreye alınmasına kadarki tüketilen enerji olan gömülü enerjiyle kıyaslandığında işletim enerjisi yapıda tüketilen enerjinin daha büyük bir kısmını oluştursa dahi, enerji verimli binaların ortaya çıkması ile gömülü enerji oranının arttığı görülmüştür [75]. Düşük enerjili binaların tasarımı yapının nihai enerji talebini iyileştirse de gömülü enerjide bir artışa neden olmaktadır [76]. Binalarda enerji kullanımı sera gazı emisyonlarına neden olmakta ve enerji kullanımındaki artış yapının çevresel etkisini de arttırmaktadır [77]. Bu sebeple enerji etkin binaların tasarlanması sırasında gömülü enerjisi ve çevresel etkisi düşük yapı malzemelerinin seçimi oldukça önemlidir.

2.2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yönteminin Yapı ve Yapı Malzemesi Ölçeğinde Ele Alınması

Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi yapılarda uygulanırken 2 farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Birinci yaklaşımda yapı tüm bina ölçeğinde ele alınırken, diğerinde ise sadece yapı malzemeleri ele alınmaktadır. 2010 yılında yapılan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi olmuştur.

- Bina ölçeğinde yaşam döngüsü değerlendirmenin işlevsel birimi yapının kullanılabilir yüzey alanının m^2 'si iken, malzeme ya da yapı bileşeni ele alındığında işlevsel birim son ürün üzerine olmaktadır.
- Bina ölçeğinde ele alındığında daha çok varsayım üretilirken daha karmaşık işlemler içermektedir. Yapı malzemesinde ise işlemler tek bir ürün üzerine odaklanmaktadır.

- Bina ölçeğinde inceleme için veriler mimar ve mühendislerden elde edilirken, yapı malzemeleri için YDD endüstriyel tabanlı bir değerlendirme olup, verilere bu sektörden ulaşılmaktadır.
- Bina ölçeğinde YDD’de daha az çevresel etkiye sahip malzemenin yapıda kullanımı gibi çalışmaları içerirken, malzeme ölçeğinde YDD ise ürünlerin karşılaştırılması ve ürünlerin çevresel etkilerinin iyileştirilmesi gibi öneriler içermektedir [78].

Literatürde bulunan yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları incelendiğinde ise tüm bina ölçeğinde yapılan çalışmaların yapının çevresel etkisinin iyileştirilmesi için alternatifler sunduğu, sistemler arası kıyaslamaların yapıldığı ve daha kapsamlı ele aldığı görülmüştür [79-84]. Literatür incelendiğinde; günümüzde hafif çelik yapıların sürdürülebilir yapı anlayışı doğrultusunda tercih edilir hale geldiğini belirten çalışma, bu yöntem ile inşa edilen yapılardan kaynaklı emisyonların ele alınmamasına dikkat çekmiş ve çalışmada yerinde dökme yöntem ile inşa edilen yapı ile hafif çelik konstrüksiyon ile inşa edilen yapının yaşam döngüsü kıyaslanarak iki sistemin sebep olduğu emisyonlar değerlendirilmiştir [79]. Yapıların sebep olduğu sera gazı emisyonunu azaltma hedefi ile yaygın olarak kullanılan beton, çimento, inşaat demiri gibi yapı malzemelerine öneri sertifikalı yapı malzemesi sunan çalışma, elde edilen çevresel etki kazancını ifade etmek amacı ile bu malzemeleri yapı ölçeğinde yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile eğitim yapılarında ele almıştır [80]. Faz değiştiren malzemelerin yapıda çatı ve duvarda kullanımı sonucu meydana gelen çevresel etki değerini konu alan çalışma, meydana gelen çevresel etki geri ödeme süresini değerlendirme amacı ile öneri malzemeleri yapı ölçeğinde ele almıştır [81]. Sürdürülebilirlik bağlamında alternatif malzemeler arasında etkili bir karar verme yöntemi olarak yaşam döngüsü değerlendirmeyi yöntemini öne süren çalışma, kil tuğla ile kireç tuğla çevresel etkilerini geleneksel bir yapı üzerinden değerlendirmiştir [82]. Yapıda geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı sera gazı emisyonu etkisini ele alan çalışmada mevcut malzeme yerine geri dönüştürülmüş alternatiflerin kullanımı durumunda çevresel etki sonucu, bir kamu binası üzerinden ele alınmıştır [83]. Enerji verimli bina inşası sırasında alınan malzeme kararlarının sebep olduğu gömülü enerji, yapı kullanım evresinde işletim enerji kazancı ile kıyaslanmış ve Yunan konutları üzerinden ele alınan bu çalışmada, enerji geri ödeme süresi hesaplanmıştır [84].

Yapı malzemeleri ile ilgili yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında ise yapı malzemesinin iyileştirilmesi, yeni yapı malzemesinin denenmesi, yapı elemanı üzerinde değişiklikler yapılması hedeflenmiştir [85-90]. Katı atıkların yalıtım malzemesine katkı olarak kullanımını ele alan çalışma, atık kullanımını enerji, ekonomi, malzeme performansı gibi çok yönlü ele alsa da öneri malzeme çevresel etki değerlendirmesi için Çin’de tipik örnek bir şehri ele alarak teorik bir hesaplama modeli tercih etmiştir [89]. Bazı çalışmalarda yapı üretim sürecinin karmaşık olması ve alt süreçlerden oluşmasından dolayı yapı elemanı ölçeğinde detaylı bir şekilde ele alınması gerektiği belirtilmiştir [91]. Kereste, saman, kenevir gibi biyo-bazlı malzemelerin yapıda kullanımını sağlayarak çevresel etkide azalma hedefleyen çalışmada biyo-bazlı yapı malzemeleri yapı elemanı ölçeğinde ele alınmıştır [85]. Çin’de alüminyum üretimi sırasında tüketilen enerji ve açığa çıkan sera gazı emisyonu azaltımı için alüminyum üretim aşamaları ele alınmış ve katkı oranı yüksek aşamalar için iyileştirme önerileri sunulmuş, alüminyum üretiminde geri dönüştürülmüş malzeme kullanımı değerlendirilmiştir [86]. Yine Çin’de Çin yerel inşaat malzemelerinin insan sağlığı üzerindeki etkileri ortaya koyma hedefi ile Çin’e özgü karakterizasyon faktörleri kullanan çalışmada değerlendirmeler yapı malzemesi ölçeğinde olmuştur [87]. Karton bardak atıklarının beton üretiminde kuma alternatif olarak ve sunta üretiminde ağaç yongası olarak kullanımını ele alan çalışmada, çevresel etki değeri kazancı yapı malzemesi üretim süreçleri üzerinden incelenmiştir [88]. Biyokütle tabanlı arojel malzemenin çevresel etki değerini ortaya koyma hedefi olan çalışmada, arojel malzemenin üretim prosesi incelenerek tüm aşamaların çevresel etkiye katkı oranları belirlenmiştir.

Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi yapı malzemesi ölçeği yaklaşımında, ürün bazında detaylı bir inceleme hedeflenirken; tüm bina ölçeği yaklaşımında, örnek bir yapıda iyileştirmeler sağlanarak diğer yapılara referans olma hedefi bulunmaktadır.

2.3. YAPILARDA ENERJİ PERFORMANSI VE ÇEVRESEL ETKİNİN BÜTÜNLEŞİK BAKIŞ AÇISI İLE ELE ALINMASI

Yapılarda yüksek oranda enerji tüketimi, yapıların enerji açısından iyileştirilmelerini zorunlu kılmaktadır. Küresel iklim değişikliği sebebi ile yapıların enerji performanslarının iyileştirilmesi üzerine çalışmalar [92-97] hız kazanmıştır. Çalışmalarda yapıların enerji tüketimleri hesaplanmış ve yapı kabuğunda değişiklikler yapılarak yapıların enerji kullanımının azaltılması hedeflenmiştir. Ancak binalardaki enerji iyileştirmesi için yapı kabuğu tasarımına odaklanan sistemler, çevresel etkiyi daha az göz önünde bulundurmaktadır [98]. Literatür taramasında, yapıların enerji performansının iyileştirilmesi için malzeme alanında birçok farklı senaryo ve alternatifler denendiği görülmektedir ancak genelde yaklaşımın tek yönlü olduğu ve sunulan alternatiflerin sadece enerji boyutunda düşünüldüğü, çevresel etkilerinin dikkate alınmadığı görülmüştür. Binaların kullanım evresinde tüketilen enerjiyi azaltmayı hedefleyen yaklaşımlar sonucunda gömülü enerji göz ardı edilerek yüksek gömülü enerjiye sahip malzemelere yapıda kullanım alanı sunulmaktadır [99]. Yapılarda enerji iyileştirmesini konu alan çalışmalarda genellikle sağlanan enerji tasarrufu sayesinde kazanılan sera gazı emisyonlarından bahsedilmiştir. Fakat enerji performansını arttırırken eklenen yalıtım malzemesinin üretiminden kaynaklanan emisyonlar göz ardı edilmiştir [100]. Sadece kullanım evresi ele alındığında yapının enerji verimliliğinin arttırıldığı sonucuna varılsa da önerilen yapı malzemelerinin üretimi sırasında kullanılan enerji göz ardı edildiğinde hedeflenen enerjiden nihai kazanç etkilenmektedir. Bu sebeple enerji kullanımının azaltılması hedeflendiğinde bütüncül bir bakış açısı benimsenmesi gerekmektedir.

İklim krizi sebebi ile yapıların enerji performansına odaklanılmasının önemli sebeplerinden biri de özellikle fosil yakıt tüketimi sonucunda açığa çıkan sera gazlarıdır. Sera gazları atmosferde fazla miktarda bulduklarında, güneşten gelen ısıyı tutarak dünyanın aşırı ısınmasına neden olmaktadır. Bu da beraberinde iklim değişikliği ve küresel ısınmayı getirmektedir [101]. Yani yapıların iyileştirilmesi söz konusu olduğunda enerji performansının arttırılmasının yanı sıra, yapının sebep olduğu sera gazı salımlarının da azaltılması oldukça önemlidir. Yapılarda kullanılan yapı malzemesi seçimleri, bu amaçta dikkat edilmesi gereken bir husustur. Yapı

malzemelerinin üretim proseslerinde farklı yöntemler kullanılması, malzemelerin üretimi sırasında açığa çıkan sera gazı miktarlarını etkilemektedir. Yapıların enerji performansının iyileştirilmesi hedeflenirken bu durumun göz ardı edilmesi, yapının enerji performansının iyileştirildiği sonucuna ulaşılmış gibi görülse de yapının çevresel etkisini arttırabileceği için yapının karbon ayak izini düşürememektedir. Bu sebeple bütüncül bakış açısı ile yaklaşmak, nihai iyileştirmeye ulaşmak için oldukça önemlidir.

Yapıların çevresel etkilerinin bütüncül bir bakış açısı ile değerlendirilmesi için yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi oldukça etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu yöntem ile yapının kullanım öncesi, kullanım ve kullanım sonrası evreleri bir bütün olarak ele alınarak yapının tüm ömrü boyunca etkileri hesaplanabilmektedir. Bu sayede hedeflenen nihai iyileştirme tüm boyutları ile ele alınarak hedefe ulaşıp ulaşılamama durumu değerlendirilebilmektedir.

Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ve yapıların iyileştirilmesi arasındaki bağlantı literatürde yapılan çalışmalarda da vurgulanmaktadır. Bu konu ile alakalı literatür taraması yapan ve bütüncül bakış açısını vurgulayan bir çalışmada [102] yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında ele alınan yapıların genellikle sadece kullanım evresinin ele alınmasının doğru olmadığı, gömülü enerjinin göz ardı edilmemesi gerektiğini belirttiği görülmektedir. Aynı zamanda yapıların enerji performansı değerlendirilirken çevresel etkilerini göz ardı eden çalışmalarda, yaşam döngüsü değerlendirme kavramı yerine yaşam döngüsü enerji değerlendirme analizi olarak nitelendirilmesi gerektiği ve yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin daha kapsamlı bir yöntem olduğu belirtilmektedir [102]. Yaşam döngüsü enerji değerlendirme yöntemi yapıların ömrü boyunca tükettikleri enerjiyi hesaplamaktadır ancak, enerjinin türü (fosil yakıt, yenilenebilir enerji) üzerinde durmamaktadır [103]. Özellikle fosil yakıt tüketimi sera gazı emisyonunu arttırarak küresel iklim değişikliğine ciddi katkıda bulunmaktadır. Bu sebeple yapıların çevresel etkisinin de değerlendirilmesi oldukça önemlidir.

Yapıların iyileştirilmesi amacı ile çevresel etki ve enerji performansının bütüncül bakış açısı ile birlikte ele alınmasının gerekliliği literatür çalışmalarında da

vurgulanmıştır. Yapılarda enerji verimliliği için enerji kullanımının dikkate alındığı bir çalışmada, somutlaşan enerjilerin dikkate alınmadığı vurgulanmış ve yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin binaların iyileştirilmesi için iyi bir yöntem olduğu belirtilmiştir [104]. Yeşil çatı sistemlerinin hem enerji tasarrufuna katkısı hem de çevresel etkilerinin farklı senaryolarla bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirildiği çalışmada, enerji performansında sağlanan tasarrufun büyük ölçüde çevresel iyileştirmeden kaynaklandığı tespit edilmiştir [105]. Duvar malzemeleri için bütüncül bir bakış açısıyla prefabrik ahşap çerçeve, gazbeton ve tuğlanın hem enerji performansı hem de çevresel etki açısından karşılaştırıldığı çalışmada, enerji performansı en yüksek malzeme tuğla iken, çevresel performansı en düşük senaryonun gazbetonla oluşturulan alternatif olduğu sonucuna ulaşılmıştır [106]. Enerji performansının artırılması ve çevresel etkinin düşürülmesinde en iyi sonucu veren malzemelerin farklı olması sebebiyle, yapının tasarımı yapılırken ulaşmak istenen hedef doğrultusunda malzeme seçimlerinin yapılması gerekmektedir. Yapı sektöründe yenilikçi bir yaklaşım olan 3D baskı yöntemiyle yapı üretimini konu alan çalışma, üç boyutlu yazıcı ile yapı yapmak için Portland çimentosuna alternatifler sunarken, hem yapının enerji performansını hesaplamış hem de çevresel etkisini değerlendirerek yenilikçi bir duruma bütüncül bakış açısı ile yaklaşmıştır [107]. Yaklaşık sıfır enerjili binalar ile ilgili yapılan bir çalışmada, bu yapılar için yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarının azlığını ve önemini vurgulamaktadır [108]. Enerji performansına odaklanan bu yapılarda sadece enerjiye yönelmenin hedeflenen amaca ulaşmada yeterli olmadığı ortadadır. LEED sertifikası almış ofis binalarının malzeme ve kaynak tüketimi açısından incelendiği bir çalışmada ise, yapıların bu kategoride düşük puan alsa bile sertifika alabildiği vurgulanmış ve sürdürülebilir çevre oluşturmak amacı ile verilen bu sertifika ile yapının amacına ulaşmış ulaşılmadığı sorgulanmıştır [109].

Sürdürülebilir yapı malzemesi olarak son dönemlerde dikkat çeken ve yeşil çelik olarak adlandırılan bambunun yapılarda kullanımını inceleyen bir çalışmada ise bambunun gömülü enerjisinin, karbon ayak izinin düşük olması ve sera gazı emme özelliğine sahip olması sebebi ile küresel ölçekte problemlere çözüm olabileceği öne sürülmüştür [110]. Bambunun yapılarda kullanımının arttırılması için uygulama ve detay çözümleri sunan çalışmada bambu ile oluşturulmuş bir yapıda yapının kullanım evresinde enerji tüketimine etkisinin ne olacağına değinilmemiştir. Yunanistan'ın

Atina kentinde ki bir yapının iyileştirmesini ele alan bir çalışmada ise, yapının pasif ev standartlarına getirilmesi için yapı kabuğunda öneriler sunulmuş, bunun yanı sıra yenilenebilir enerji sistemleri kullanılarak fosil yakıt kullanımının önüne geçilerek yapının çevresel etkisinin azaltılması da hedeflenmiştir [111]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının önem kazanması ile birlikte %100 yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan hibrit depolama sistemlerinin kıyaslanarak bu sistemlerin sebep olduğu sera gazı emisyonları tespit edilmiş ve bu sistemler arasında en düşük sera gazı emisyonuna sahip sistem belirlenmiştir [112]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı sistemin sebep olduğu sera gazının değerlendirilmiş olması, sera gazı emisyonlarının göz ardı edilmemesinin önemini ortaya koymaktadır.

Almanya'nın Münih kentinde 196 konutlu bir mahallenin iyileştirilmesini içeren bir çalışmada tüm yapıların pasif ev standartlarına ulaştırılması ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması durumunda bile karbon nötr durumuna ulaşmanın sağlanamayacağı, yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile ortaya konmuştur [113]. Düşük enerjili binalarda kaynak tüketiminin ve sera gazı emisyonunun azaltılması hedeflenen bir çalışmada düşük enerjili yapılarda somutlaştırılmış enerjinin artabileceğine dikkat çekerek tüm yaşam döngüsüne odaklanmış ve yapıda fotovoltaiik sistemin yanı sıra XPS ve selüloz elyaf yalıtım malzemeleri ile kıyaslamalar yapmıştır. Bu çalışma sonucunda düşük enerjili bir bina tasarımında yapının daha sürdürülebilir hale getirilebilmesi için yaşam döngüsü perspektifinin önemi vurgulanmıştır [108]. Bir diğer çalışmada farklı aktif ve pasif sistemler denenerek halihazırda düşük enerjili olan bir yapının, sistemler üzerinde değişiklik yapılarak nasıl daha düşük çevresel etkiye sebep olabileceği araştırılmıştır [114].

Literatürde de görüldüğü gibi, yapılarda enerji iyileştirilmeleri ve çevresel etkiler iklim krizi bağlamında ele alındığında birbirinden ayrılmaz iki unsurdur. Yapıların enerji performansının iyileştirilmesi için önerilerin oluşturulması durumunda sadece yapının enerjisini ele alan çalışmalar, önerilen malzemenin üretimi sırasında açığa çıkan enerji ve emisyonları göz ardı etmektedir. Bu yaklaşım, çevre üzerindeki olumsuz etkilerin en aza indirilmesini sağlayarak gelecek nesillere doğal düzenin ve tüm kaynakların aktarılmasını hedefleyen sürdürülebilir bir bakış açısı ile uyumsuzdur. Bu sebeple bu çalışmada bütüncül bir bakış açısı benimsenerek yapının iyileştirilmesi

hedeflenmiştir. Çalışmada enerji performansı ile öne çıkan pasif bir ev ele alınarak bütüncül bakış açısı doğrultusunda yapının çevresel etkilerinin de azaltılması için yapı malzemeleri önerilmiş ve önerilen malzemelerin çevresel etkilerinin tespit edilmesinin yanı sıra yapının enerji performansının korunması da sağlanmıştır. Ayrıca çalışmalarda genellikle yapının kullanım evresinde tüketilen enerji göz önüne alınsa da bu çalışmada hem mevcut yapının enerji performansı pasif ev standartlarında korunarak kullanım evresindeki enerji performansı hem de üretim sürecinin çevresel etkileri dikkate alınarak yapının kullanımından önceki süreç de ele alınmıştır. Böylece iklim krizi sonucunda ortaya çıkan pasif ev kavramının sadece enerjiye odaklanan bir yaklaşım olmaktan çıkarak yapının çevresel etkisinin de azaltılması ile daha sürdürülebilir bir pasif evin inşa edilebilirliğinin tartışılması hedeflenmiştir.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

Çalışmanın materyal bölümünde Gaziantep Ekolojik Bina'ya ait bilgiler verilmiş ve çalışmada kullanılan hesaplama araçları olan Autodesk Revit, One Click LCA, Design Builder ve EcoTransit World sunulmuştur.

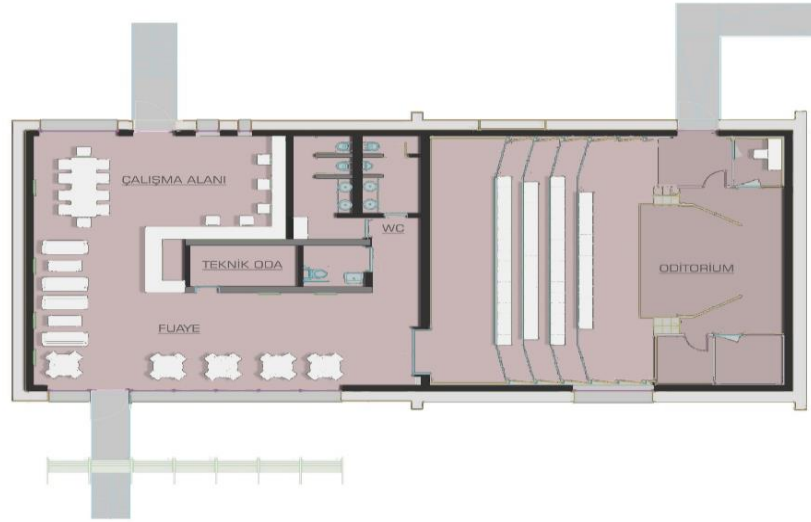
3.1.1. Gaziantep Ekolojik Bina

Türkiye'nin sıcak-ılıman iklim bölgelerinden biri olan Gaziantep ilinin Şehitkamil ilçesinde yer alan Gaziantep Ekolojik Bina Türkiye'nin ilk sertifikalı pasif evidir. Bu sebeple bu çalışmada Türkiye'de yeni bina kategorisinde ilk ve tek olan Gaziantep Ekolojik Bina ele alınmıştır. Yapımı 2013 yılında tamamlanan bu pasif ev ayrıca 2015 yılında 110 tam puan üzerinden 86 puan alarak LEED Platinum seviyesinde sertifikalandırılmıştır [115]. Hem Pasif Ev hem de LEED kapsamında değerlendirilen yapının sadece enerji performansı ile kalmayıp kullanılan malzemelere ve çevreye de odaklandığı görülmektedir [116].

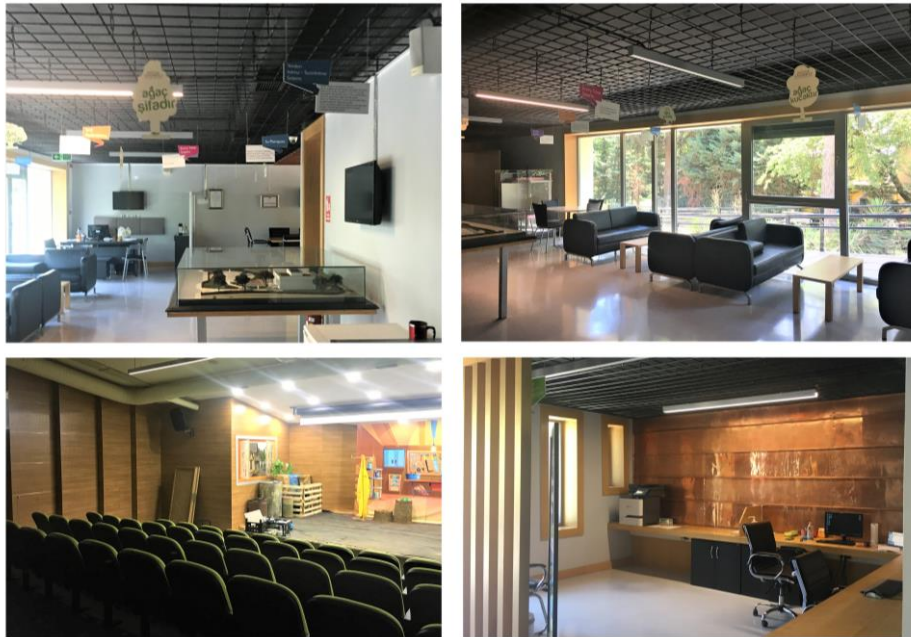


Şekil 3.1. Gaziantep Ekolojik Bina görünümü [117].

320 m² inşaat alanına sahip olan yapı, Şekil 3.1’de görüldüğü gibi kompakt bir tasarım anlayışı ile tasarlanarak inşası sırasında atık oluşumu ve kaynak kaybının, işletimi sırasında ise fazla enerji tüketiminin önüne geçilmesi hedeflenmiştir [118]. Yapı günümüzde bilgilendirme merkezi olarak kullanılmakta olup, 60 kişilik mini oditoryumun yanı sıra fuaye ve çalışma alanları içermektedir. Yapının iç kısmında bir teknik oda ve kuzey cephesinde ise tuvaletler yer almaktadır. Yapıya ait plan ve iç mekâna ait görseller Şekil 3.2 ve Şekil 3.3’de verilmiştir.



Şekil 3.2. Gaziantep Ekolojik Bina plan şeması.



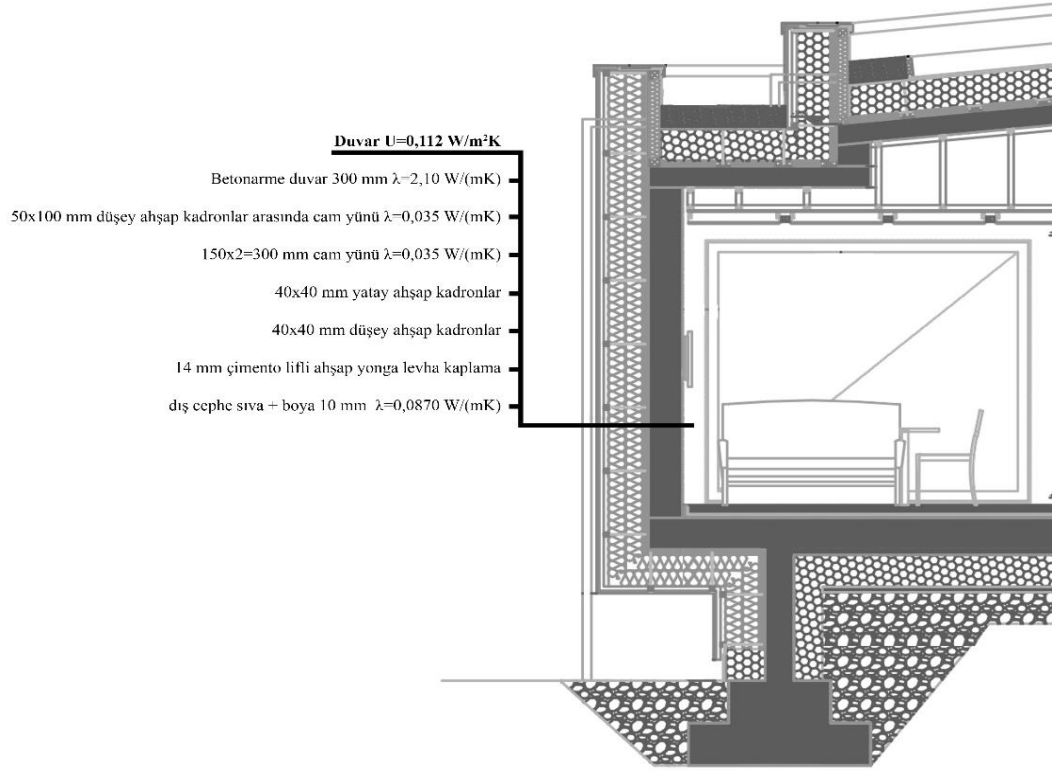
Şekil 3.3. Gaziantep Ekolojik Bina iç mekan görselleri.

Gaziantep Ekolojik Bina kullanılan sistemler ve oluşturulan detay çözümleri sayesinde diğer binalara göre %90 enerji verimli olup, ihtiyacı olan enerjiyi ve daha fazlasını yenilenebilir enerji kaynaklarından üreterek ‘artı enerjili’ bir yapı olarak kabul görmektedir. Bunun yanı sıra %65 su verimli ve minimum karbon salınımına sahip bir yapı olarak ön plana çıkmaktadır [119]. Bu değerlere ulaşabilmek ve pasif ev standartlarını sağlayabilmek amacıyla yapı tasarım aşamasında çevreyle uyumlu bir şekilde tasarlanmış, güney cephede daha geniş pencerelere yer verilirken kuzey cephede ise ihtiyaçları karşılayacak kadar açıklık bırakılmıştır [120]. Pasif Ev ve LEED Platinum Sertifikasına sahip olan Gaziantep Ekolojik Bina’nın yapı kabuğu hava sızdırmaz, ısı köprüsüz ve ısı kayıplarını önleyecek şekilde çok iyi yalıtılmıştır. Bu yapı anlayışı gereğince bina çeperinde 30 cm kalınlığında betonarme duvarla birlikte kesintisiz 40 cm kalınlığında cam yünü yalıtım malzemesi kullanılmıştır. Gaziantep Ekolojik Bina’nın hava sızdırmazlık değeri $n_{50}=0.50/sa$ ’dır. Isı köprülerinin engellenmesi ve hava sızdırmazlık, pasif evlerde enerjinin korunumu açısından oldukça önemlidir [39]. Gaziantep Ekolojik Bina’da kullanılan mevcut duvar katmanları Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Gaziantep Ekolojik Bina mevcut duvar katmanları.

Duvar Malzemesi	Kalınlık (cm)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
Betonarme Duvar	30	2.100
Cam Yünü	40	0.035
Çimento Lifli Ahşap Yonga Levha	1.4	0.150
Sıva+Boya	1	0.870

Çizelge 3.1’de katmanları görülen mevcut duvarın toplam ısı geçirgenlik katsayısı (U değeri) $0.112 W/m^2K$ olarak belirtilmiştir (Şekil 3.4). Gaziantep ili 2. derece gün bölgesinde yer almakta olup, duvar için tavsiye edilen U değeri $0.57 W/m^2K$ ’dir [121]. Ancak bu değer pasif ev standartları için $U_D < 0.15 W/m^2K$ olmalıdır [32].



Şekil 3.4. Gaziantep Ekolojik Bina duvar kesitinden bir detay [122].

Yapıda kullanılan pencerelerde üç camlı pencere sistemleri (4+16+4 argon gazlı) ve ısı yalıtımlı doğramalar tercih edilerek ısı kayıplarının önüne geçilmiştir. Böylelikle güney cephede daha geniş açıklıklar bırakılarak ışıktan maksimum yararlanma sağlanmıştır. Yapının kalan aydınlatma ihtiyacının karşılanması için ise diğerlerine göre daha düşük enerji gereksinimi olan LED aydınlatmalar tercih edilmiştir. Yapıda su kullanımını azaltmak amacı ile daha düşük debili ve basınçlı armatürler tercih edilmiştir. Bunun yanı sıra yapıda kullanılıp atık su haline gelen ve kirlilik oranı fazla olmayan sular gri su olarak arıtıldıktan sonra klozet rezervuarlarında tekrar kullanılmıştır. Yağmur suları ise depolanarak peyzaj sulamasında kullanılmaktadır. Böylece temiz su ihtiyacı olmayan alanlarda gri su ve yağmur suyu kullanılarak şebekeden kullanılan su miktarı azaltılmıştır [119].

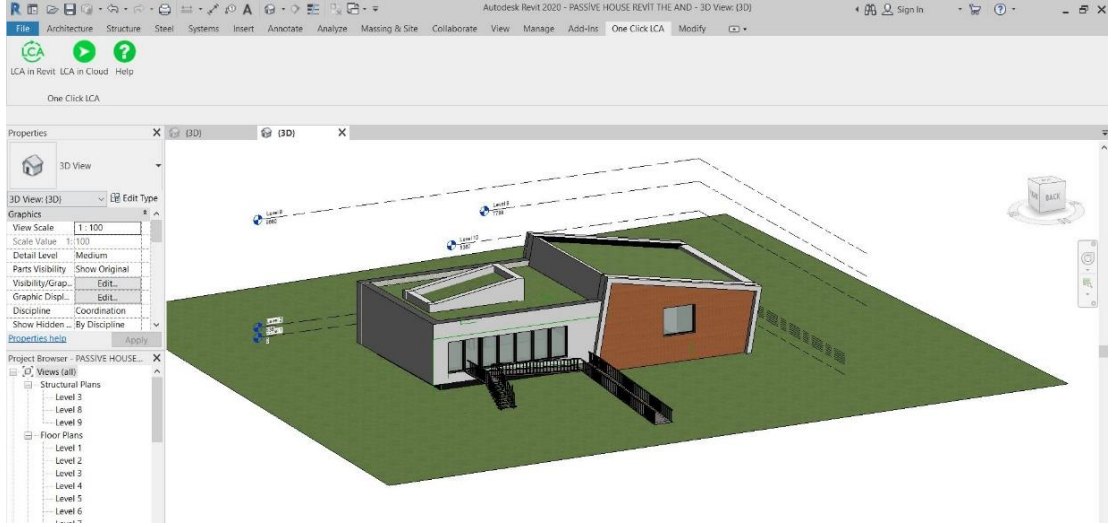
Yapıda enerji performansının artırılması amacı ile ısı kazanımlı havalandırma sisteminin yanı sıra 'Kanada Kuyusu Sistemi' de kullanılmıştır. Bu sistem toprağın yazın daha soğuk kışın ise daha sıcak olmasından faydalanmaktadır. Yazın bir baca yardımı ile dışarıdan alınan taze ve sıcak hava toprağın 1,7 metre altındaki borulardan geçirilerek soğuması sağlanarak; kışın ise alınan soğuk havanın toprakla yaptığı ısı

alışverişi sayesinde ısınması sağlanarak iç mekâna verilmektedir [123]. Böylece ısıtma ve soğutma için harcanan enerji azaltılmıştır. Kanada Kuyusu'nun yanı sıra ısıtma ve soğutma için kullanılan bir diğer sistem ise ısı pompasıdır. Bu sistemde derin kuyulardan alınan su önce ısı pompasından geçirilip binaya verilmektedir. Mevcut enerjisinden yararlanan su, daha sonra kuyuya geri aktarılmaktadır. Bu sistemler için gerekli olan ve yapıda kullanılan tüm elektrik enerjisi ise yapının bahçesinde yer alan güneş pilleri ile sağlanmaktadır.

Yapıda çatı sistemi olarak yeşil çatı tercih edilmiştir. Çatı katmanında kullanılan 30 cm kalınlığındaki EPS yalıtım sayesinde çatıdan ısı kayıpları minimuma indirilmiştir. Ayrıca yeşil çatı sisteminde yer alan ve peyzajda kullanılan bitkiler karbon salınımının azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Bu bağlamda yapının toplu taşıma ile rahatlıkla ulaşılabilir bir konumda yer alması, ulaşım kaynaklı karbon salınımının da azaltılmasına katkı sağlamaktadır.

3.1.2. Simülasyon Programları

Gaziantep Ekolojik Bina'nın çevresel etkilerinin belirlenmesi için 'Yaşam Döngüsü Değerlendirme' yöntemi kullanılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemini kullanarak yapının çevresel etki değerlerinin belirlenebilmesi için Revit Autodesk programına ek One Click LCA eklentisi tercih edilmiştir. One Click LCA eklentisi, yapının m² başına düşen karbon emisyonu hesabını, binanın enerji sınıfını, malzemelerin karbon ayak izini ve farklı yapısal parçaların karbon emisyonu yüzdelere hesaplayabilen ve Autodesk Revit ile birlikte çalışabilen bir eklentidir [124]. Yapının çevresel etkileri One Click LCA'de hesaplanmadan önce yapı Autodesk Revit programında modellenmiştir (Şekil 3.5). One Click LCA Revit programında modellenen bir yapı modelinin malzemelerini tanımakta ve o malzeme için EPD önermektedir. One Click LCA eklentisi diğer veri tabanlarının yanı sıra kendi veri tabanını da kullanmaktadır [125].



Şekil 3.5. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Autodesk Revit'te modeli.

Autodesk Revit programı yardımıyla modellenen Gaziantep Ekolojik Bina'nın A1-A3 evrelerinin çevresel etkileri One Click LCA eklentisi ile hesaplanmıştır (Şekil 3.6).

Malzeme	Sınıf	Yorum	Miktar	Paylaşım	kaynak adı	haritalama temeli
cam yünü	DIŞ D...	glass Wool, 8 rows	991 m2	%11,46	Glass wool insulation panels, unf	Eşlemeniz
yün keçe atılık	ÇATI	wool felt underlay, 2 rows	660 m2	%7,64	Geotextile, generic, 312 g/m2 (1.0	Eşlemeniz
beton, yerinde dökme - c20	DOŞ...	Floor	635 m2	%7,35	Ready-mix concrete, M15 (C15) (Eşlemeniz
beton duvar birimleri	DIŞ D...	Concrete Masonry Units, 4 r	541 m2	%6,26	Concrete masonry unit (CMU) fro	Eşlemeniz
ahşap kaplama, sunta	DIŞ D...	Wood Sheathing, Chipboard	495 m2	%5,73	Cement bonded wood particle bo	Eşlemeniz
duvar dokusu, siva, benek	DIŞ D...	Wall Texture, Stucco, Stipple	495 m2	%5,73	Exterior façade mineral plastering	Eşlemeniz

Şekil 3.6. One Click LCA arayüzü.

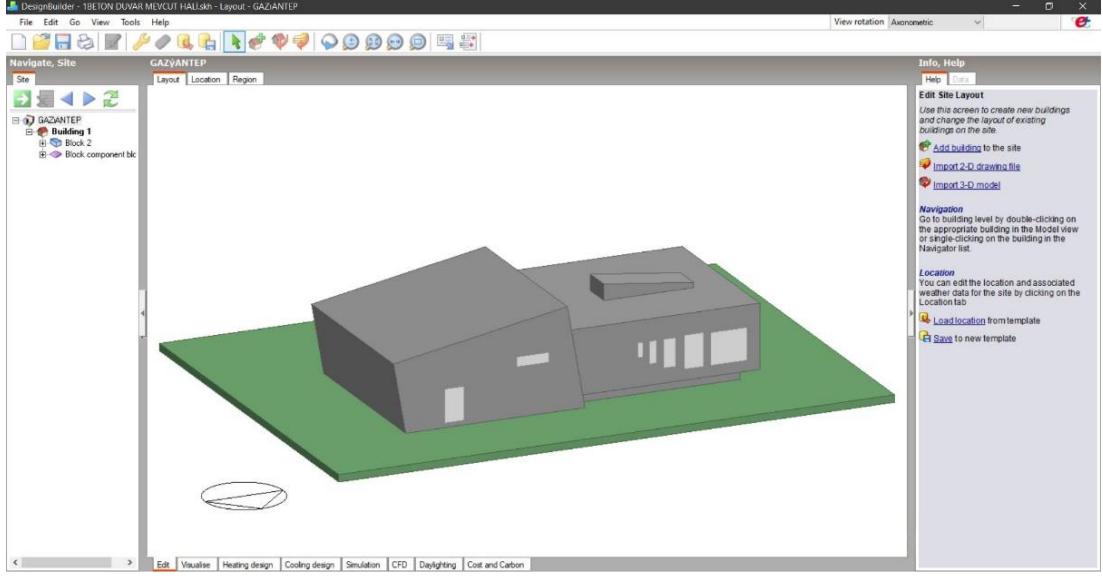
A4 evresini hesaplamak için ise EcoTransit Word (Ecological Transport 62 Information Tool for Worldwide Transports) çevrimiçi hesaplama aracı kullanılmıştır [126]. Şekil 3.7'de arayüzü verilen EcoTransit Word ISO 14083 uyumlu mesafeler

arasında enerji tüketimini, sera gazları, hava kirleticileri ve CO₂ eşleniğini hesaplayan bir araçtır [127].

The image shows the 'CALCULATION PARAMETERS' section of the EcoTransit World tool. It features a green header with the title. Below the header, there are several input fields and buttons. The 'Input mode' is set to 'Standard'. The 'Freight' section has two sub-sections: 'Amount' with a value of '100' and 'Weight' with a dropdown menu set to 'Bulk and Unit Load (Tonnes)'. The 'Origin' and 'Destination' fields are both set to 'City district'. Below these fields, there is a section for 'Choose transport modes:' with the text 'Multiple choice possible'. This section contains five icons representing different transport modes: Truck (checked), Train, Airplane, Sea ship, and Barge. At the bottom right, there are two buttons: 'CALCULATE' (green) and 'RESET' (orange).

Şekil 3.7. EcoTransit World hesaplama aracı [126].

Pasif ev üzerinde yapılacak bir malzeme değişikliğinin yapının enerji performansını etkilememesi için önerilen yeni malzeme katmanları ve yapının mevcut durumu Design Builder simülasyon programında modellenmiş ve yapının enerji performansı tespit edilmiştir (Şekil 3.8). Design Builder binaların enerji, karbon, aydınlatma ve konfor açısından kolay modellemesini sağlayan ve alternatifler arasında karşılaştırma imkanı sunan bir programdır [128]. EnergyPlus bina ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek için Amerikan Enerji Bakanlığı tarafından geliştirilmiş bir simülasyon programı olsa da kolay kullanıma olanak veren bir arayüzü yoktur. Design Builder, hem EnergyPlus alt yapısıyla çalışmakta hem de bu konuda kullanıcılara kolay bir arayüz sunmaktadır [129].



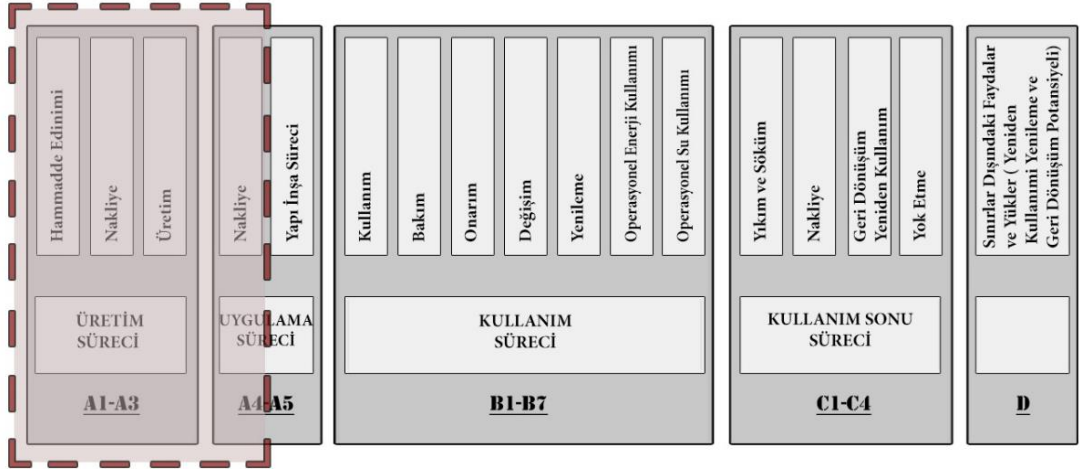
Şekil 3.8. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Design Builder simülasyon programında modellenmesi.

3.2. METOT

Çalışmanın bu bölümünde izlenen adımlar ve bu adımlarda yer alan kabuller verilmiştir.

3.2.1. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Çevresel Etkisinin ve Yüksek Çevresel Etki Değerine Sahip Yapı Kabuğu Bileşenlerinin Belirlenmesi

Pasif evin çevresel etkilerinin belirlenmesinde Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Yapının çevresel etkilerinin belirlenmesinde A1-A3 üretim evresi ve uygulama evresinin şantiyeye taşıma sürecini içeren A4 evresi ele alınmıştır (Şekil 3.9).



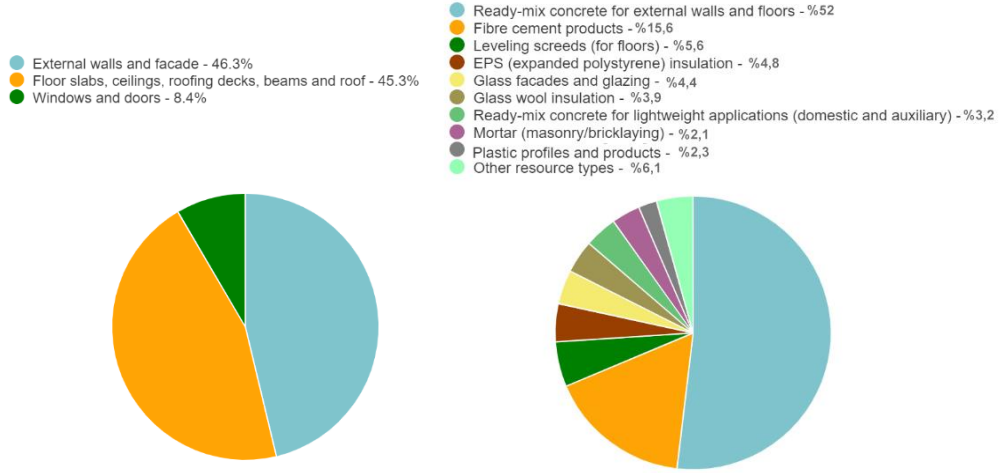
Şekil 3.9. Çalışmada ele alınan yaşam döngüsü değerlendirme evreleri.

Yaşam döngüsü değerlendirmesine A4 evresinin de dâhil edilmesinin amacı, yapı malzemelerinin şantiyeye taşınması sırasında göz ardı edilemeyecek nicelikte salımlar gerçekleşmesidir. Hesaplama sırasında kullanılan işlevsel birim ve hizmet ömrü Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. Kullanılan YDD kriterleri.

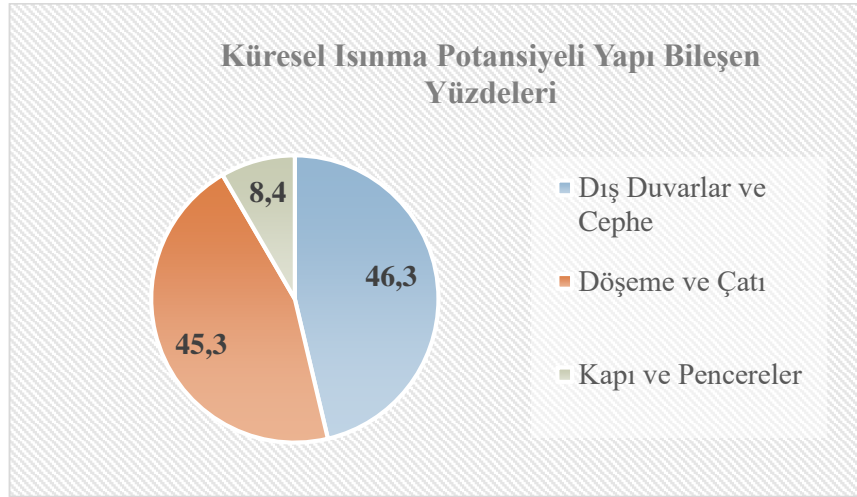
	Hizmet Ömrü (yıl)	İşlevsel Birim
Malzemeler	50	m ²

One Click LCA eklentisi kullanılarak Gaziantep Ekolojik Bina’ya ait çevresel etki değerleri belirlenmiş ve yapıda yüksek çevresel etkiye neden olan malzeme katmanı tespit edilip, yüzdesel etki değerleri hesaplanmıştır (Şekil 3.10).



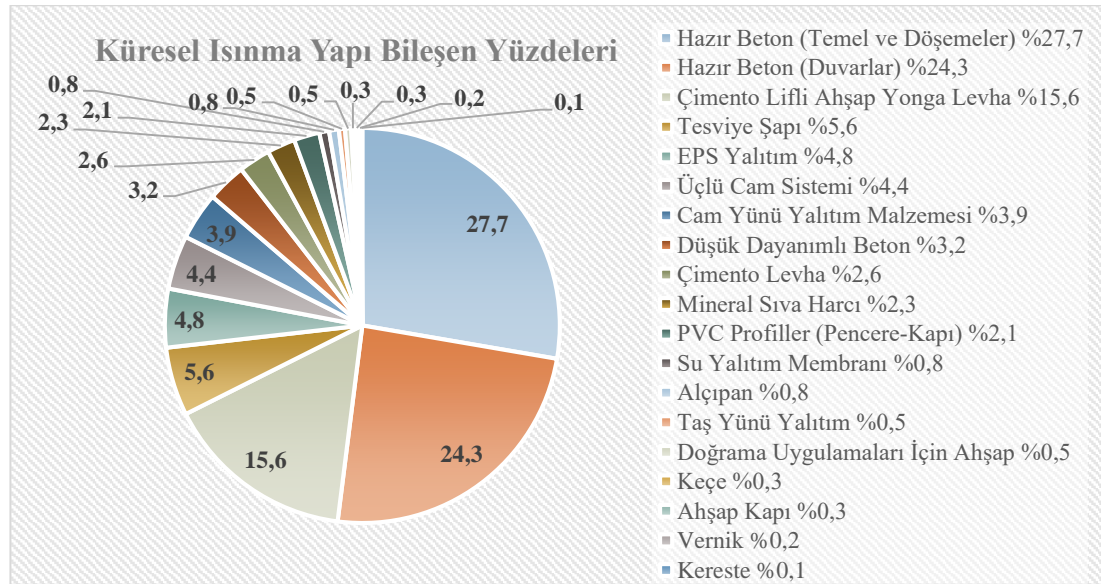
Şekil 3.10. Yapı kabuğu bileşenleri ve malzemelerinin çevresel etkiye katkılarının belirlenmesi (One Click LCA arayüzü).

Yapının çevresel etkisinde fazla paya sahip yapı bileşenleri tespit edilerek yapının çevresel etkisinin azaltılması amacıyla bu katmanlara alternatif olabilecek malzeme katmanları önerilmiştir. Bu çalışmada yapının çevresel etki değeri TRACI etki gruplamasına göre küresel ısınma, asidifikasyon, ötrofikasyon, ozon tahribatı ve fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeli bağlamında değerlendirilmiştir. Yapı bileşenlerinin çevresel etkiye oranının belirlenmesinde küresel ısınma potansiyeli ön planda tutulmuş ve bu etki kategorisi üzerinden önerilerin belirlenmesi yoluna gidilmiştir. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeli 211 ton CO_{2e} olarak hesaplanmıştır. Bu çevresel etkiye yapı bileşenlerinin yüzdesel katkısı Şekil 3.11'de verilmiştir.



Şekil 3.11. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeline etki eden yapı bileşenleri ve katkı oranları.

Şekil 3.11'de de görülebileceği gibi yapının küresel ısınma potansiyeline en büyük etkinin %46,3 ile dış duvarlar ve diğer cephe kaplama malzemelerinden kaynaklanmaktadır. Döşeme ve çatının küresel ısınma potansiyeline katkısı yine yakın bir oranla %45,3 olarak tespit edilmiştir. Küresel ısınma potansiyeline en az katkı ise kapılar ve pencerelere aittir. Çevresel etkiyi azaltma amacıyla iyileştirme önerilerinin yapıda kolaylıkla değiştirilebilir malzemelere yönelik olması ve tüm yapılarda uygulanabilir olması çalışmanın başarıya ulaşması için oldukça önemlidir. Çalışmada hangi yapı malzemesi üzerinde iyileştirme önerileri sunulacağına, yapı bileşeni yüzdelerinin yanı sıra malzeme yüzdeleri de incelenerek karar verilmiştir. Gaziantep Ekolojik Bina'nın çevresel etkilerine en çok katkıda bulunan yapı malzemeleri Şekil 3.12'de verilmiştir.



Şekil 3.12. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.

Gaziantep Ekolojik Bina'da kullanılan yapı malzemeleri arasında en çok küresel ısınma potansiyeline sebep olan yapı malzemesinin duvar, çatı ve döşemede tercih edilen hazır beton olduğu görülmektedir. Hazır betonun içeriğinde hacimce %75 oranında agrega (kum, çakıl, mıcır), %10 oranında çimento ve %15 oranında su bulunmaktadır [130]. Türk Yapı Sektör İstatistikleri 'ne göre 2022 yılında Türkiye'de

105 milyon m³ hazır beton üretilmiştir. Yine bu istatistiklere göre hazır beton için 300 milyon ton agrega ve 73,7 milyon ton çimento üretilmiştir [131]. Çimento, küresel ölçekte insan kaynaklı CO₂ emisyonunun %5 ila %10'undan sorumlu tutulmaktadır [132]. Yapılan bir çalışmada çimento üretiminde açığa çıkan emisyonun kaynağının çimentonun hammaddesi olan klinkerin pişirilmesi sırasında açığa çıktığı ortaya konmuştur [133]. Ayrıca hazır betonun diğer hammaddesi olan agreganın çıkarılması sırasında bitki ve hayvan yaşam alanlarının yok olarak habitatın zarar görmesine, erozyona neden olarak toprağın verimli kısımlarının kaybolmasına, toz emisyonlarına ve su kirliliğine sebep olmaktadır [134]. Bu veriler doğrultusunda hazır beton ve çimento esaslı malzemelerin kullanımını azaltmak, çevresel etkilerin azaltılması açısından oldukça önemlidir.

Yapıda hazır beton döşemeler, temel ve duvarlarda kullanılmıştır. Yapının çevresel etkilerinin azaltılması için iyileştirme önerilecek yapı malzemesi olarak duvarlarda kullanılan hazır beton seçilmiştir. Temeller ve döşemelerde değişiklik yapılmamasının sebebi, Türkiye'de taşıyıcı sistem olarak betonarme sistemin daha yaygın kullanımı, daha güvenli, uzun ömürlü ve yüksek binalarda rahatlıkla uygulanabilir olmasıdır. Betonarme, ahşap ve çelik taşıyıcı sistemlerin gömülü karbon değerlerinin hesaplandığı bir çalışmada en çevre dostu yapım sisteminin ahşap sistem olduğu, bu sistemi sırasıyla betonarme ve çelik sistemin takip ettiği ortaya konmuştur [135]. Ahşap sistemin günümüzde fazla tercih edilmemesi ve çok katlı yapılarda kullanılmaması sebebiyle temel ve döşemede değişiklik yapılmaması tercih edilmiştir. Bunun yerine betonarme duvar malzemesi yerine daha yaygın kullanıma sahip malzemelerden tuğla, gazbeton, bims ve sürdürülebilir yapı malzemelerinden kerpiç, kenevir beton ile alternatif senaryolar oluşturulmuştur.

Şekil 3.12 incelendiğinde küresel ısınma potansiyeline etki oranı %15,6 CO_{2e} ile üçüncü sırada yer alan çimento lifli ahşap yonga levha dikkat çekmektedir. Çimento yonga levhanın içeriği incelendiğinde %30-45 oranında Portland çimentosu, %4-7 oranında agrega, %7-15 oranında uçucu kül, %25-35 oranında ahşap yonga ve %2,5-5,5 oranında kimyasal katkı içerdiği görülmektedir. Fibercement levhanın içeriği ise %18-30 oranında Portland çimentosu, %35-65 oranında silika, %5-10 oranında uçucu kül ve %4-7 oranında selülozdan oluşmaktadır [136]. Bu nedenle mevcut yapı

kabuğunun parçası olan çimento lifli ahşap yonga levhanın yerine, yapının çevresel etkisini azaltmak amacı ile selüloz lifli çimento levha (fibercement levha) önerilmiştir. Fibercement levha dış cephelerde de kullanılabilen dayanıklı, atmosfer koşulları ile değişime uğramayan bir yapıya sahiptir. Böylece çevreye zarar verecek emisyonlara sebep olmayan bir malzemedir [137]. Bu içerikler kıyaslandığında çimentonun çevresel etkileri göze alındığında fibercement levha kullanımının daha çevreci bir yaklaşım olacağı ortadadır. Fibercement levhanın içeriğinde yer alan selüloz doğal, geri dönüştürülebilir, ekolojik bir malzemedir.

Mevcut yapı kabuğu ve öneri yapı kabuğu için sunulan alternatif malzemeler Çizelge 3.3'te ve bu malzemeler ile oluşturulan yapı kabuğu senaryoları Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.3. Mevcut yapı kabuğu ve öneri yapı kabuğu için sunulan alternatif malzemeler.

Mevcut Yapı Kabuğu	Öneri Yapı Kabuğu İçin Sunulan Alternatif Malzeme Katmanları
Betonarme Duvar	Tuğla Gazbeton Bims Kerpiç Kenevir beton bloğu
Cam Yünü Yalıtım Malzemesi	Cam Yünü Yalıtım Malzemesi (Farklı Kalınlıkta)
Çimento Lifli Ahşap Yonga Levha	Fibercement Levha
Dış Sıva	Dış Sıva
Boya	Boya

Çizelge 3.4. Alternatif malzeme katmanları ile oluşturulan yapı kabuğu senaryoları.

Yapı Kabuğu Katmanları	İsim
30 cm Betonarme Duvar + 40 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Çimento Lifli Yonga Levha + Sıva + Boya	Mevcut Durum
20 cm Tuğla Duvar + 52 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 1

30 cm Tuğla Duvar + 43 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 2
20 cm Gazbeton Duvar + 55 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 3
30 cm Gazbeton Duvar + 48 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 4
20 cm Bims Duvar + 56 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 5
30 cm Bims Duvar + 48 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 6
35 cm Kerpiç + 40 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 7
30 cm Kenevir beton Bloğu + 58 cm Cam Yünü Yalıtım + 14 mm Fibercement Levha + Sıva + Boya	Senaryo 8

Çizelge 3.3.'te görülen öneri yapı malzemelerinin kullanılması durumunda yapının enerji performansının korunması için önce mevcut yapının enerji performansı belirlenmiş ve buna göre yeni malzeme önerileri için katman kalınlıkları hesaplanmıştır.

3.2.2. Gaziantep Ekolojik Bina'nın Enerji Performansının Korunumu ve Önerilen Yapı Kabuğu Bileşenlerinin Kalınlıklarının Belirlenmesi

Mevcut yapı, Design Builder simülasyon programında modellenerek yapının yıllık toplam metrekare başına düşen ısıtma ve soğutma yükü hesaplanıp, enerji performansı tespit edilmiştir. Gaziantep iklim verilerinin Design Builder programında yer almaması sebebi ile iklim verileri Epw dosyası olarak indirilip programa yüklenmiştir [138]. Simülasyonda yapıdaki ısı geri kazanımlı ısıtma ve soğutma sistemi aktif edilmiş olup, diğer aktif sistemler simüle edilememiştir. Önerilen malzemeler de mevcut durum ile aynı ortam koşulları ve sistemlerle modellenmiştir.

Mevcut yapının çevresel etkilerinin iyileştirilmesi amacı ile yeni yapı malzemelerinin sunulması durumunda yapının enerji performansını koruması, pasif ev standartlarını sağlaması açısından oldukça önemlidir. Buna bağlı olarak, kabuğun ısı iletim katsayısının (U değeri) mevcut kabuk ile aynı ya da ondan daha düşük olacak şekilde

tasarlanmış ve buna göre alternatif katmanların kalınlıkları hesaplanmıştır. U değeri TS 825'te belirtilen, Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır.

$$R = \left(\frac{d_1}{\lambda_{h1}}\right) + \left(\frac{d_2}{\lambda_{h2}}\right) + \left(\frac{d_3}{\lambda_{h3}}\right) + \dots + \left(\frac{d_n}{\lambda_{hn}}\right) \quad (3.1)$$

Bu eşitlikte;

R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direncini (m^2K/W)

d_1, d_2, \dots, d_n = Yapı malzemesi kalınlıklarını (m)

$\lambda_{h1}, \lambda_{h2}, \dots, \lambda_{hn}$ = Yapı malzemelerinin ısı iletkenlik hesap değerlerini (W/mK) ifade etmektedir.

$$U = 1/R \quad (3.2)$$

Bu eşitlikte;

U= Yapı bileşeninin toplam ısı geçirenlik katsayısını (W/m^2K)

R= Çok tabakalı yapı bileşenlerinde ısı geçirenlik direncini (m^2K/W) ifade etmektedir.

Bu çalışmada alternatif malzeme katmanlarının oluşturulması noktasında aşağıdaki adımlar izlenmiştir.

1. Gaziantep Ekolojik Bina'da kullanılan mevcut yapı malzemelerin çevresel etki değerleri hesaplanmış ve yapı bileşenlerinin çevresel etkiye katkı yüzdeleri belirlenmiştir. Böylece yapının çevresel etkisini en çok arttıran yapı bileşeni ve malzemeleri tespit edilerek iyileştirilmesi için alternatif senaryolar kurgulanmıştır.
2. Mevcut binanın çevresel etki değerleri incelendiğinde, en çok çevresel etki değerinin duvarlardan kaynaklandığı tespit edilmiştir. Elde edilen bu veriler doğrultusunda iyileştirme amacı ile yapı kabuğu ele alınmıştır.
3. Duvar katmanları incelendiğinde ise en çok çevresel etki değerinin betonarme duvar yapım malzemesi olduğu belirlenmiştir. Duvarda kullanılan cam yünü yalıtım malzemesinin ise oldukça düşük çevresel etkiye sebep olduğu görülmüştür. Bu verilerden yola çıkılarak alternatif senaryolarda betonarme duvar malzemesi yerine tuğla, gazbeton, bims, kerpiç ve kenevir beton blokları ile alternatif senaryolar oluşturulmuştur.

4. Yalıtım malzemesinin çevresel etkisinin düşük olması sebebi ile duvar yapım malzemesinin değiştirilmesi durumunda duvar U değerinin istenilen düzeyde olması için yapı kabuğunda yalıtım malzemesi kalınlığı arttırılmıştır. Yapı kabuğu için yeni önerilen duvar malzemesi ve yalıtım malzemesi kalınlıkları Eşitlik 3.1 ve 3.2 yardımı ile hesaplanmıştır. Yalıtım malzemesi olarak mevcut yapının duvarında kullanılan cam yünü tercih edilip, sadece kalınlığında değişiklik yapılmıştır. Tercih edilen duvar yapım malzemelerinin üretim tesislerinden alınan teknik özellikleri Çizelge 3.5’te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Önerilen duvar malzemelerinin teknik özellikleri.

Önerilen Duvar Malzemesi	Yoğunluk (kg/m ³)	Isı İletkenlik Katsayısı (W/mK)
Tuğla	1810	0.304
Gazbeton	400	0.130
Bims	360.41	0.105
Kerpiç	1200	0.400
Kenevir Beton Bloğu	R değeri üzerinden hesaplama yapılmıştır. R=4.22 m ² K/W	

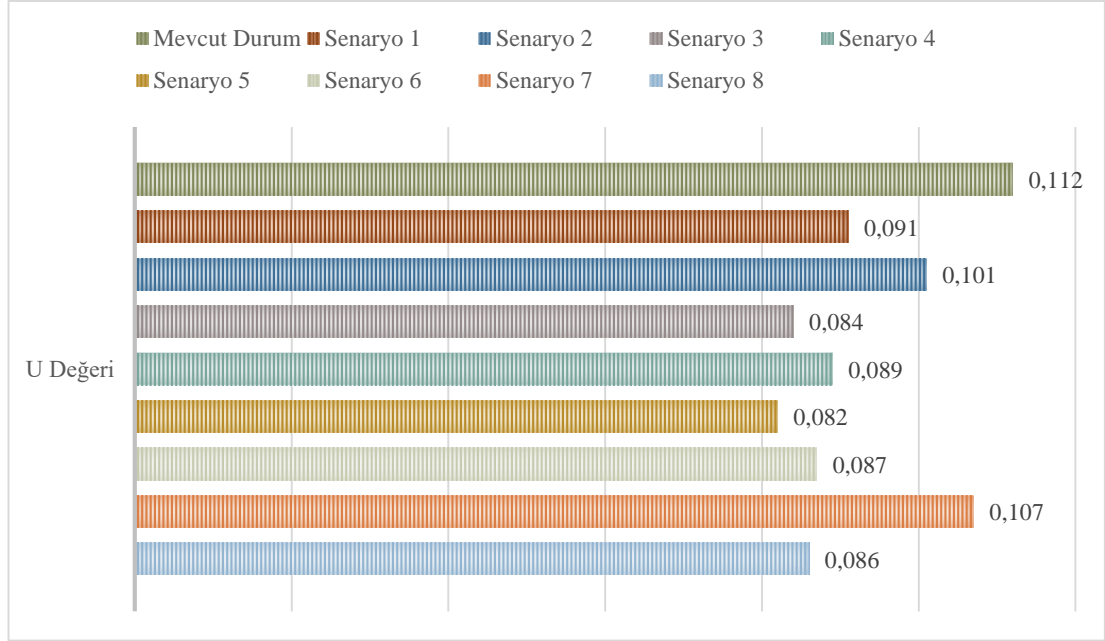
Gaziantep Ekolojik Bina’nın çevresel etkilerinin iyileştirilmesi amacı ile önerilen yeni senaryolarda mevcut yapının duvar U değerini ve ısıtma-soğutma yüklerini sağlayan malzeme kalınlıkları Çizelge 3.6’daki gibi belirlenmiştir.

Çizelge 3.6. Önerilen yapı kabuğu bileşeni kalınlıkları.

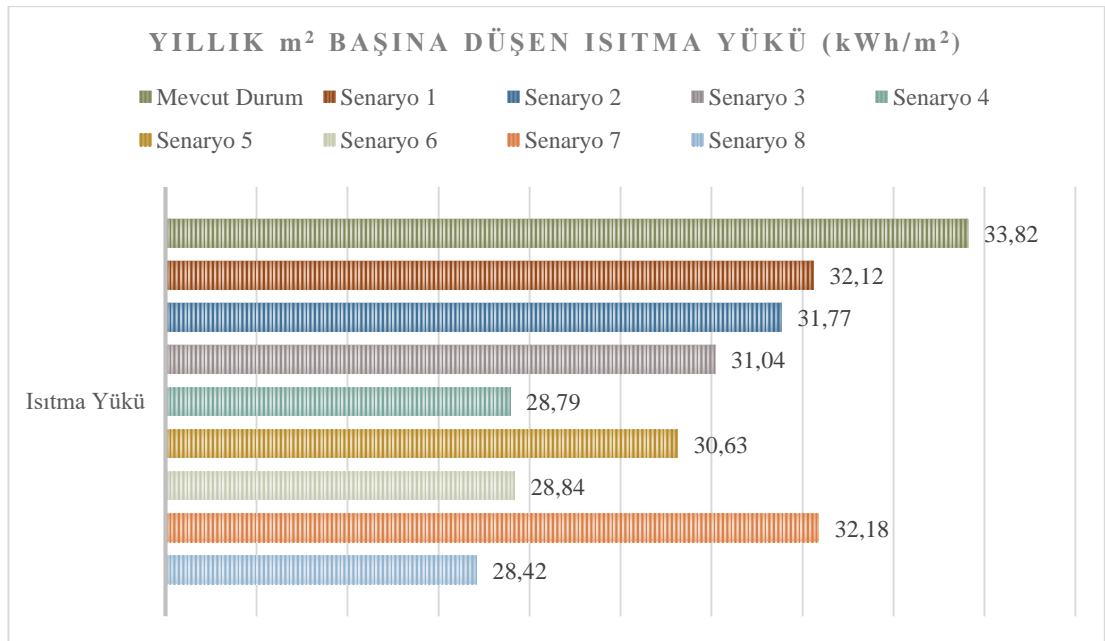
Önerilen Duvar Malzemesi	Kalınlık (cm)	Enerji Performansını Sağlaması İçin Gerekli Yalıtım Kalınlığı (cm)
Tuğla	20	40 + 12
	30	40 + 3
Gazbeton	20	40 + 15
	30	40 + 8
Bims	20	40 + 16
	30	40 + 8
Kerpiç	35	40 + 0

Kenevir Beton Bloğu	30	40 + 18
---------------------	----	---------

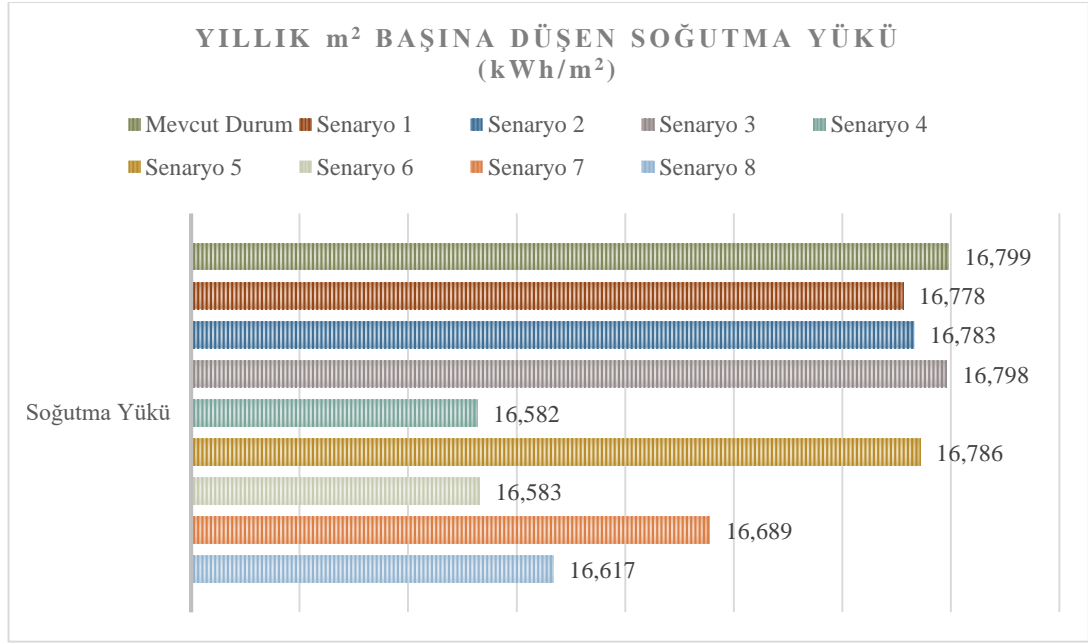
Çizelge 3.3'te verilen alternatif malzemelerle oluşturulmuş alternatif yapı kabuklarının U değerleri Şekil 3.13'de verilmiştir.



Şekil 3.13. Alternatif yapı kabuklarının U değerleri.



Şekil 3.14. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryolarının yıllık m² başına düşen ısıtma yükü.



Şekil 3.15. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryolarının yıllık m² başına düşen soğutma yükü.

3.2.3. Önerilen Malzeme Katmanlarının Çevresel Etkilerinin Belirlenmesi

Önerilen malzeme katmanlarının çevresel etkileri mevcut binanın çevresel etkilerinin belirlendiği yöntemle, Revit Autodesk Programı One Click LCA eklentisi ile belirlenmiştir. Yapı malzemeleri için tercih edilen çevresel ürün beyanları (EPD) ekler bölümünde verilmiştir (Ek A). Malzemelerin A4 evresindeki çevresel etki değerlerinin hesaplanabilmesi için yapı malzemelerinin temin edilebileceği Gaziantep'e en yakın üretim tesisleri tespit edilmiştir (Çizelge 3.7). Bu tesislerde üretilen yapı malzemelerinin One Click LCA veri tabanından seçilen malzemelerin çevresel ürün beyanları ile aynı teknik özellikleri sağlayan ürünler olmasına dikkat edilmiştir.

Çizelge 3.7. Yapı malzemelerinin varsayılan temin yerleri ve mesafeleri.

Malzeme	Şehir	Firma	Mesafe
Hazır Beton	Gaziantep	KÇS Beton Fabrikası	11,2 km
Tuğla	Hatay	Artuğ Tuğla	193 km

Gazbeton	Gaziantep	Gaziantep Ytong	20,3 km
Bims	Kayseri	Ponce Bloc	305 km
Kerpiç	Gaziantep Dörtyol	-	39,9 km
Cam Yünü	Mersin	İzocam	261 km

Kerpicin üretim yeri olarak Gaziantep ili Oğuzeli ilçesi olduğu görülmüş [139] ve bu nedenle Gaziantep Ekolojik Bina'ya 39,9 km uzaklıkta yer alan Oğuzeli ilçesinden temin edildiği varsayılmıştır.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

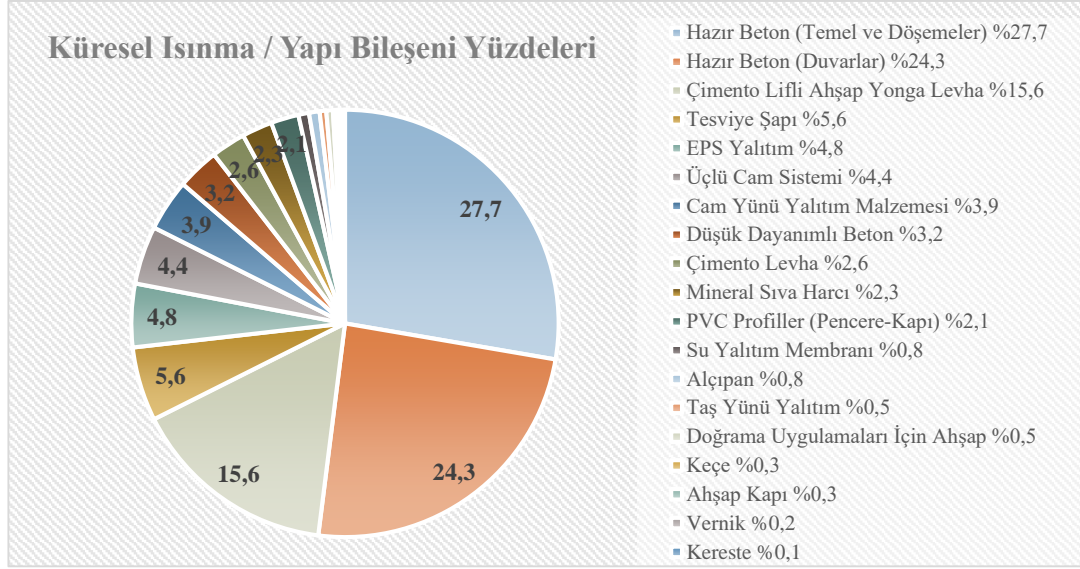
Bulgular bölümü, Gaziantep Ekolojik Bina'nın mevcut durumunun çevresel etkilerinin değerlendirilmesini ve sunulan alternatiflerin çevresel etkilerinin mevcut durumla kıyaslanarak iyileştirme sağlanabilirliğini yapının enerji performansını da koruyarak mümkün olup olmadığını ortaya koyan simülasyon ve hesaplama sonuçlarını içermektedir.

4.1. GAZİANTEP EKOLOJİK BİNA'NIN ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLERİ

Gaziantep Ekolojik Bina'nın çevresel etkisi A1-A3 ve A4 evresi ile ele alınmış, A1-A3 evresi yapı etki değeri küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, ozon tabakası tahribatı ve foto kimyasal ozon oluşumu etki sınıfları ile hesaplanmıştır.

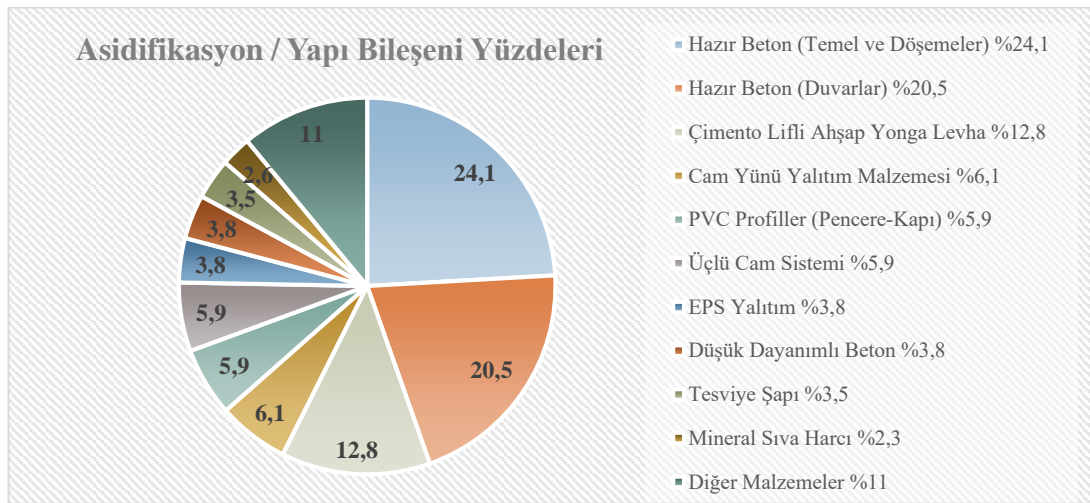
4.1.1 A1-A3 Evresi

Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeli 211 ton CO₂e olarak hesaplanmış ve bu çevresel etki değerine yapı bileşenlerinin yüzdesel katkısı Şekil 4.1'de verilmiştir. Gaziantep Ekolojik Bina'da kullanılan yapı malzemeleri arasında en çok küresel ısınma potansiyeline sebep olan yapı malzemesinin duvar, çatı ve döşemede tercih edilen hazır beton olduğu görülmektedir. Hazır beton malzmeden sonra en yüksek katkıya %15,6 katkı oranı ile çimento lifli ahşap yonga levha sebep olmaktadır. Yapının zemininde kullanılan tesviye şapı çimento içeriği sebebi ile %5,6 katkı oranına sebep olmuştur. Yapının çatı katmanında tercih edilen yalıtım malzemesi EPS'nin küresel ısınma potansiyelindeki katkı oranı %4,8 iken, duvar katmanında tercih edilen cam yünü yalıtım malzemesi katkı oranı %3,9 olmuştur.



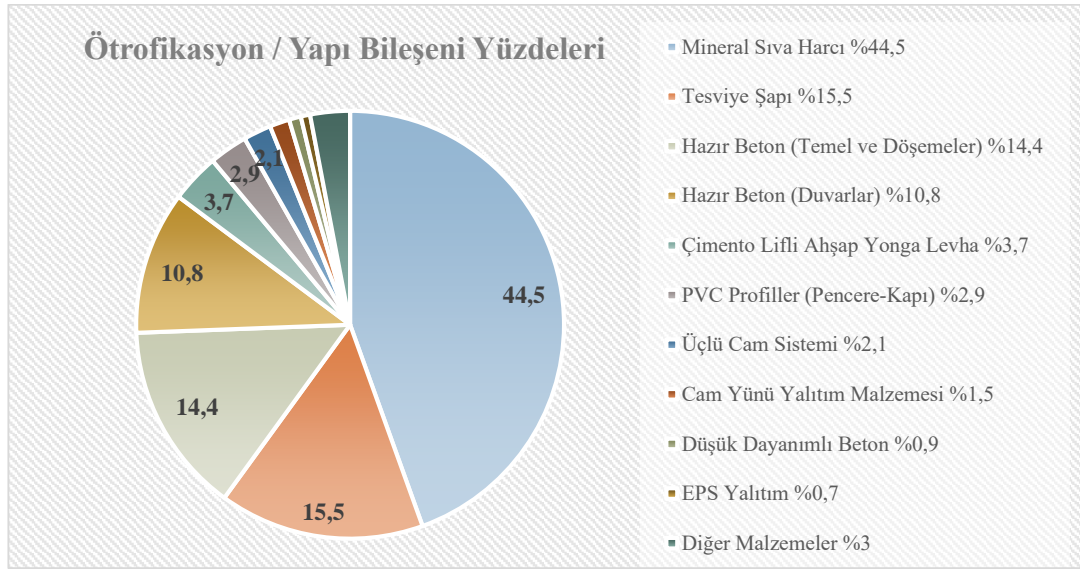
Şekil 4.1. Gaziantep Ekolojik Bina'nın küresel ısınma potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.

Gaziantep Ekolojik Bina'nın asidifikasyon potansiyeli ise 576 kg SO₂e olarak hesaplanmış ve bu çevresel etki değerine yapı bileşenlerinin yüzdesel katkısı Şekil 4.2'de verilmiştir. Asidifikasyon potansiyeline en yüksek katkı %24,1 oran ile temel ve döşemelerde kullanılan betonarme malzeme ile olmuştur. Yapının asidifikasyon etki değerine duvar malzemesi katkı oranı %20,5 iken, cam yünü yalıtım malzemesi katkı oranı %6,1 olmuştur. Bu etki değerine çimento lifli ahşap yonga levha katkısı ise %12,8'dir.



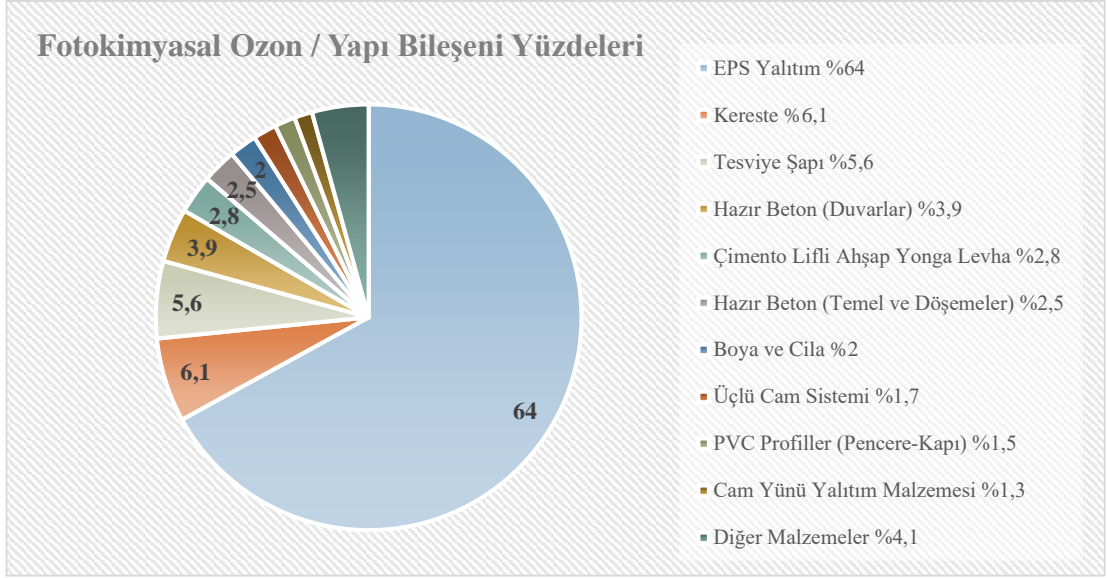
Şekil 4.2. Gaziantep Ekolojik Bina'nın asidifikasyon potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.

Gaziantep Ekolojik Bina'nın ötrofikasyon potansiyeli 322 kg Ne olarak hesaplanmış ve bu çevresel etki değerine yapı bileşenlerinin yüzdesel katkısı Şekil 4.3'te verilmiştir. Ötrofikasyon potansiyeline en yüksek katkı %44,5 oran ile duvar katmanında kullanılan mineral sıva ile olmuştur. Duvar katmanında tercih edilen hazır beton kaynaklı ötrofikasyon etki oranı %10,8 iken, yalıtım malzemesi kaynaklı ötrofikasyon etki oranı %1,5'dir. Çimento lifli ahşap yonga levhanın ötrofikasyon etki değerine katkı oranı ise %3,7 olmuştur.



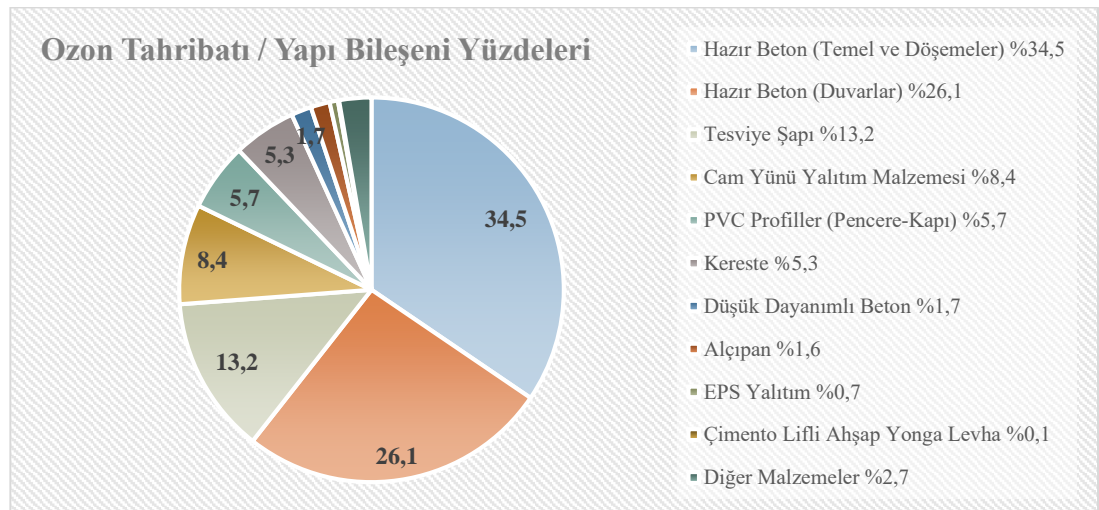
Şekil 4.3. Gaziantep Ekolojik Bina'nın ötrofikasyon potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.

Gaziantep Ekolojik Bina'nın fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeli 117 kg O_{3e} olarak hesaplanmış ve bu çevresel etki değerine yapı bileşenlerinin yüzdesel katkısı Şekil 4.4'te verilmiştir. Fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeline en yüksek katkı %64 katkı oranı ile çatıda kullanılan EPS yalıtım malzemesi kaynaklı olduğu görülmektedir. Duvarda kullanılan cam yünü yalıtım malzemesi katkı oranı %1,3 iken, yapı duvarı için tercih edilen hazır beton katkısı %3,9 olmuştur. Bu etki kategorisine çimento yonga levha katkı oranı ise %2,8'dir.



Şekil 4.4. Gaziantep Ekolojik Bina'nın fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.

Gaziantep Ekolojik Bina'nın ozon tahribatı potansiyeli ise $8,64E-03$ kg CFC11e olarak hesaplanmış ve bu çevresel etki değerine yapı bileşenlerinin yüzdesel katkısı Şekil 4.5'te verilmiştir. Ozon tahribatı potansiyeline en yüksek katkı %60,6 katkı oranı ile hazır beton kaynaklı olmuştur. Duvar katmanında kullanılan hazır betonun bu oranda payı ise %26,1'dir. Duvar katmanı için tercih edilen cam yünü yalıtım malzemesinin bu etki değerindeki katkı oranı %8,4 olmuştur.



Şekil 4.5. Gaziantep Ekolojik Bina'nın ozon tahribatı potansiyeline etki eden yapı malzemeleri ve katkı oranları.

Alternatif senaryolarda duvar katmanını için sunulan öneri malzemelerin şantiye alanına taşınması sırasında açığa çıkan çevresel etki A4 evresi başlığı altında incelenmiştir.

4.1.2. A4 Evresi

Gaziantep Ekolojik Bina duvar katmanında yer alan betonarme duvar yapı elamanı için hazır betonun KÇS hazır beton tesisinden taşınması esnasında ve duvar katmanında kullanılan 40 cm kalınlığında cam yünü yalıtım malzemesinin Mersin İzocam fabrika alanından şantiye alanına taşınması esnasında açığa çıkan karbondioksit miktarı hesaplanmıştır. Hazır betonun şantiye alanına taşınması sırasında 0,18 ton CO₂ açığa çıkarken, yalıtım malzemesi taşınması sırasında 0,28 ton CO₂ açığa çıkmıştır.

4.2. ALTERNATİF YAPI KABUĞU SENARYOLARININ ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLERİ

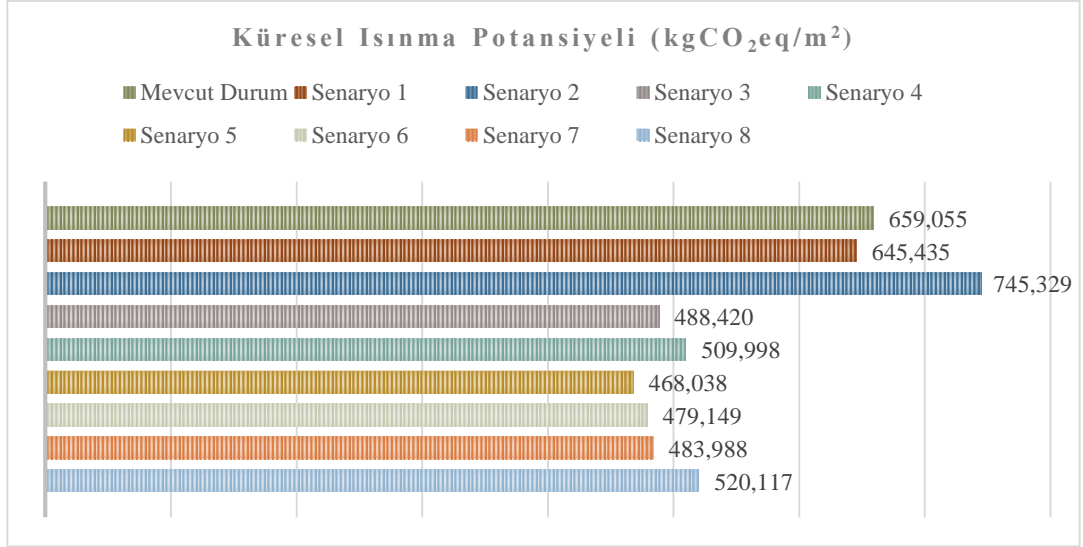
Oluşturulan öneri senaryoların çevresel etki sonuçları da A1-A3 evresi ve A4 evresi olmak üzere ayrı ayrı verilmiştir. Çevresel etki değerleri küresel ısınma potansiyeli, asidifikasyon potansiyeli, ötrofikasyon potansiyeli, fotokimyasal ozon gazı oluşumu, ozon tabakasının tahribatını etki sınıfları kullanılarak ifade edilmiştir.

4.2.1. A1-A3 Evresi

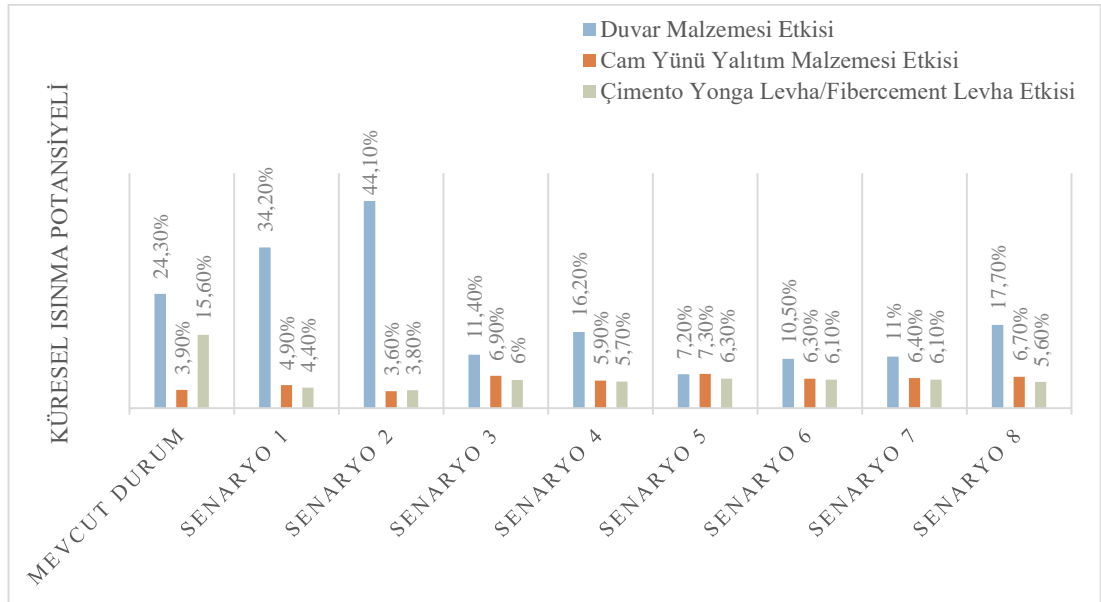
4.2.1.1. Küresel ısınma Potansiyeli

Dünya atmosferinde var olan sera gazları güneşten dünyaya ulaşan ışınların bir kısmının yeryüzünde kalmasını sağlayarak dünyanın ısı kaybını önlemektedir [140]. Bu gazların antropojenik etkilerle atmosferde kontrolsüz artışı ile ise dünya fazla ısınmaktadır. Bu durum küresel ısınma olarak adlandırılmaktadır. Sera gazlarının küresel ısınma üzerinde etkisi oldukça fazladır. Küresel ısınma potansiyeli sera gazlarının 100 yıllık süreçteki etkilerini karbondioksiti referans kabul ederek ifade eden bir değerlendirme yöntemidir. Karbondioksitin referans değer olarak kabul edilmesinin sebebi, atmosferde uzunca yıllar kalabilmesidir [141].

Gaziantep Ekolojik Bina'nın enerji performansını koruyarak çevresel etkilerinin azaltılması amacıyla sunulan alternatif senaryoların küresel ısınma potansiyelleri Şekil 4.6'da görülmektedir.



Şekil 4.6. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların küresel ısınma potansiyelleri.



Şekil 4.7. Küresel ısınma potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.

Elde edilen sonuçlarda görüldüğü gibi en yüksek küresel ısınma potansiyeli 30 cm tuğla ile oluşturulan Senaryo 2'de ortaya çıkmıştır. Bu öneri mevcut durumda

kullanılan betonarme duvar malzemesinden daha yüksek bir küresel ısınma potansiyeline sebep olmuştur. Tuğla ile oluşturulan bir diğer senaryo olan 20 cm tuğlanın kullanıldığı Senaryo 1’de ise küresel etki potansiyeli mevcut durumdan daha az olmuştur. Şekil 4.7’de de görüldüğü gibi tuğla duvar malzemesinin küresel ısınma potansiyeline katkısı yalıtım malzemesinin katkısından oldukça fazladır. Bu sebeple duvar malzemesinin kalınlığını arttırmak yerine yalıtım kalınlığını arttırmak, küresel ısınma potansiyeli açısından daha az çevresel etkiye sebep olmaktadır. Tuğlanın üretimi sırasında kullanılan tozların daha dayanıklı hale gelmesini sağlayan ve yüksek ısı gerektiren sinterleme işleminin bu etkiyi oldukça arttırdığı söylenebilmektedir [142].

Tuğladan sonra en yüksek küresel ısınma potansiyeline sebep olan senaryo ise, kenevir beton bloklarının kullanıldığı Senaryo 8 olmuştur. Bu senaryo mevcut durumdan daha iyi bir çevresel etki değeri ortaya koysa da kenevir bloklarının düşük basınç dayanımından kaynaklı çimento ile birlikte kullanılması çevresel etkisini arttırmıştır. Kenevir betonun ahşap kalıp sistemleri ile birlikte yerinde dökme olarak kullanılan versiyonları daha çevreci görülse de kenevir blokların kullanılması inşaat sürecini hızlandırmakta ve yerinde dökme malzemeye göre termal iletkenliği daha kontrol edilebilir olmaktadır [143].

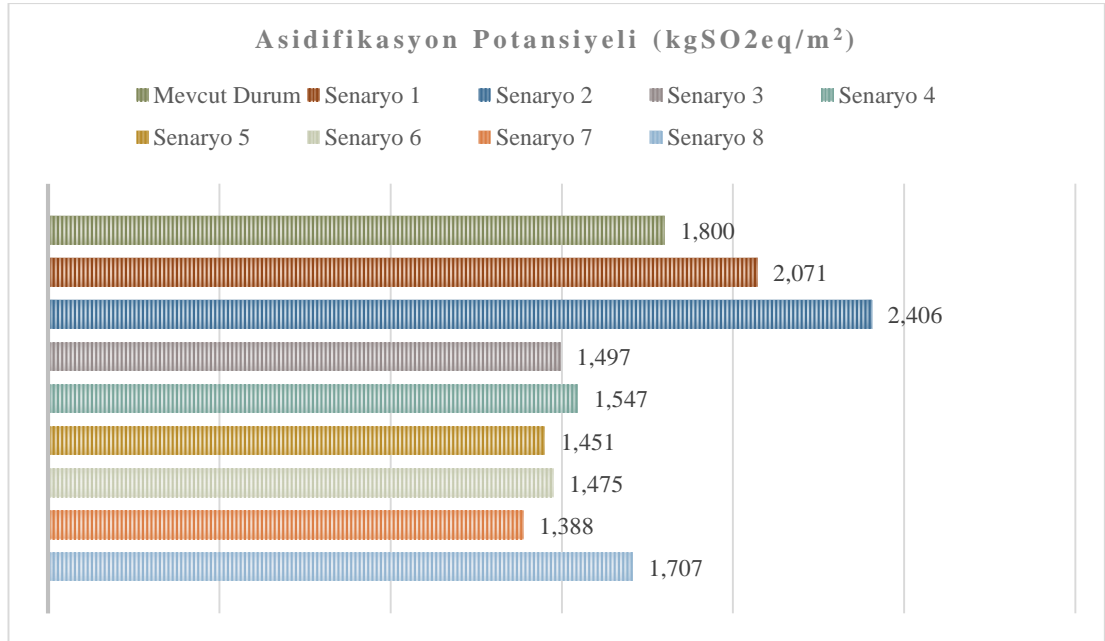
Gazbeton ile oluşturulan senaryolar incelendiğinde ise 30 cm gazbeton blokla oluşturulan Senaryo 4’te küresel ısınma potansiyelinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 4.7’de görüldüğü gibi 30 cm gazbetonla oluşturulan senaryoda gazbetonun küresel ısınma potansiyeline katkısı %16,20 ile cam yününün katkısı %5,9’dur. 20 cm gazbetonla oluşturulan Senaryo 3’te ise gazbetonun katkısı %11,40 iken yalıtım malzemesinin katkısı %6,9’dur. Tuğlada olduğu gibi yapı malzemesinin etki yüzdesi yalıtım malzemesinin etki yüzdesine göre fazla olduğundan Senaryo 3’ün küresel ısınma potansiyeli daha düşük olmuştur. Gazbetonun içeriğinde %25-35 oranında çimento bulunması, küresel ısınma potansiyelinde oldukça etkilidir.

Küresel etki potansiyelinde en iyi çevresel etki sonucunu veren alternatif senaryo ise 20 cm bims blok ile oluşturulan Senaryo 5 olmuştur. Bims bloğun bu çevresel etkiye katkı yüzdesi %7,20 olmuştur. Bu senaryodan sonra en düşük ikinci sonucu veren yine

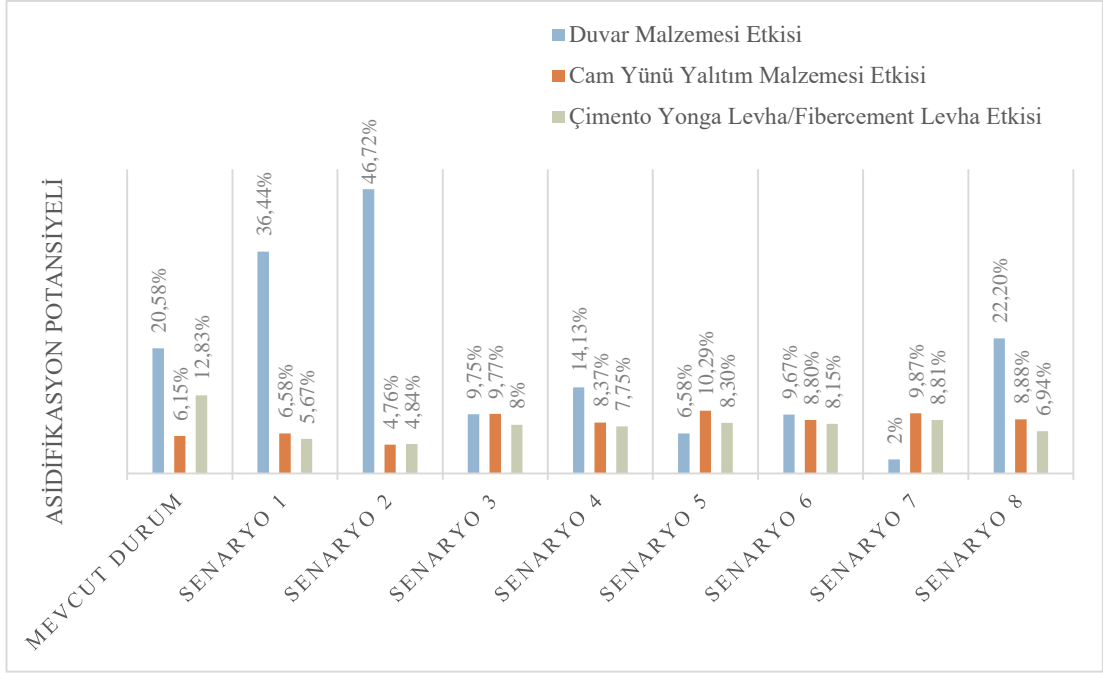
bimsle oluşturulan kalınlık olarak 30 cm bimsin kullanıldığı Senaryo 6 olmuştur. Kerpicin kullanıldığı Senaryo 7 ise diğer yapı malzemelerine göre daha düşük bir küresel etki potansiyeline sahip olsa da bims bu kategoride en düşük etkiye sahip sonuçları vermiştir.

4.2.1.2. Asidifikasyon Potansiyeli

Asidifikasyon fosil yakıtların yanmasıyla atmosfere ulaşan kükürt ve nitrojenin yağmurlarla birlikte toprağa düşmesi ile toprak pH'ını düşürerek asitleştirmesidir [144]. Toprağın asitleşmesi toprakta yer alan metal iyonları harekete geçirerek bu iyonların zamanla bitki köklerine zarar vermesine sebep olmaktadır. Bu da besin azalmasına ve dolaylı yoldan kuraklığa sebep olmaktadır [145]. Gaziantep Ekolojik Bina için önerilen alternatif senaryoların asidifikasyon potansiyelleri Şekil 4.8'de verilmiştir. Önerilen malzemelerin katkı yüzdeleri ise Şekil 4.9'da verilmiştir.



Şekil 4.8. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların asidifikasyon potansiyelleri.



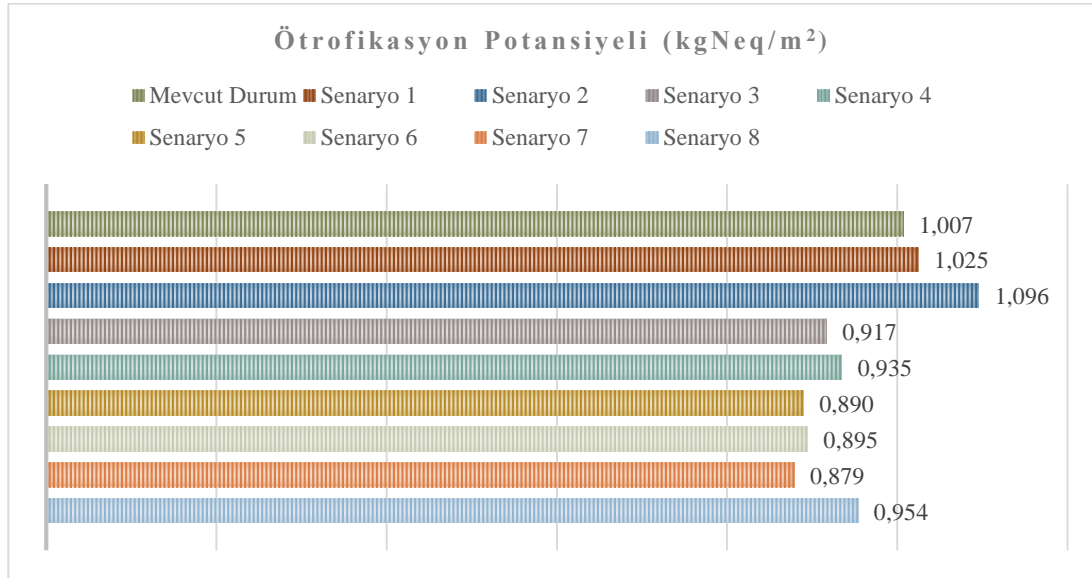
Şekil 4.9. Asidifikasyon potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde en yüksek asidifikasyon etki değerinin tuğla ile oluşturulan senaryolarda ortaya çıktığı görülmektedir. 30 cm tuğla ile oluşturulan Senaryo 2 asidifikasyona tuğlanın katkı değerinin %46,72 olması bu durumu açıklamaktadır. Tuğla üretimi sırasında yüksek ısı kullanımı ve fosil yakıtların tercih edilmesi bu sonuçlara sebep olmaktadır. Tuğla ile oluşturulan senaryolar mevcut yapıda kullanılan hazır betondan daha yüksek asidifikasyon potansiyeli sonuçları doğurmuştur. Kenevir beton bloklarının kullanıldığı Senaryo 8’de ise bu kategoride mevcut duruma yakın bir çevresel etki değeri ortaya koymuştur.

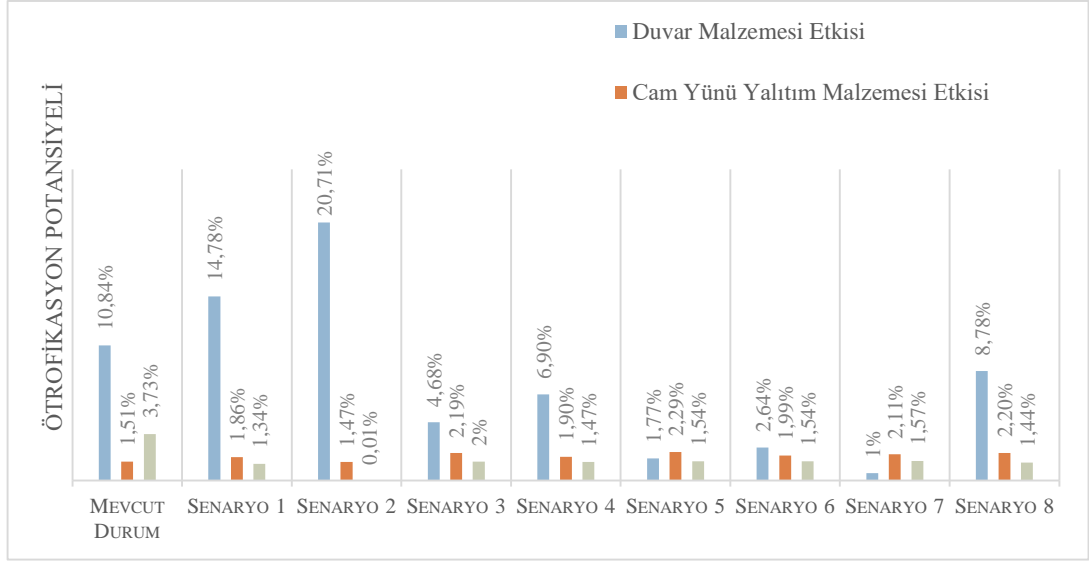
Gazbeton ve bims ile oluşturulan senaryolar incelendiğinde ise bims ile oluşturulan senaryoların (Senaryo 5 ve 6) daha düşük asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu görülmüştür. Ancak her iki yapı malzemesiyle oluşturulan alternatiflerde duvar U değerini sabit tutmak amacı ile duvar malzemesinin kalınlaştırıldığı senaryolar yerine yalıtım malzemesinin kalınlaştırıldığı senaryolar, bu kategoride daha düşük etki değerine sahip olmuştur. Asidifikasyon potansiyelinde en düşük etki değerini veren senaryo, kerpiç ile oluşturulan Senaryo 7 olmuştur. Şekil 4.9’da da görüldüğü gibi kerpicin bu etkiye katkısı %2 gibi çok düşük bir oran olmuştur.

4.2.1.3. Ötrofikasyon Potansiyeli

Bir diğ er değ erlendirme kriteri olan ötrofikasyon sucul ortamların ç evresel anlamda değ erlendirilmesi için en temel kriterdir [146]. Azot ve fosforun sınır değ erleri dışında su ekosistemlerine ulaşması, su ekosistemlerinde ötrofikasyona neden olmaktadır [147]. Ötrofikasyon tatlı sularda besin artışına sebep olarak burada yaş ayan bitki ve alglerin kontrolsüz çoğ almasına neden olmaktadır. Bitki artışından kaynaklanan oksijen azalması ise balık ölümlerine ve ekosistemin bozulmasına yol açmaktadır. Gaziantep Ekolojik Bina için önerilen alternatif senaryoların ötrofikasyon potansiyelleri ve önerilen malzemelerin katkı yüzdeleri Ş ekil 4.10'da ve Ş ekil 4.11'de verilmiştir.



Ş ekil 4.10. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğ u senaryoların ötrofikasyon potansiyelleri.



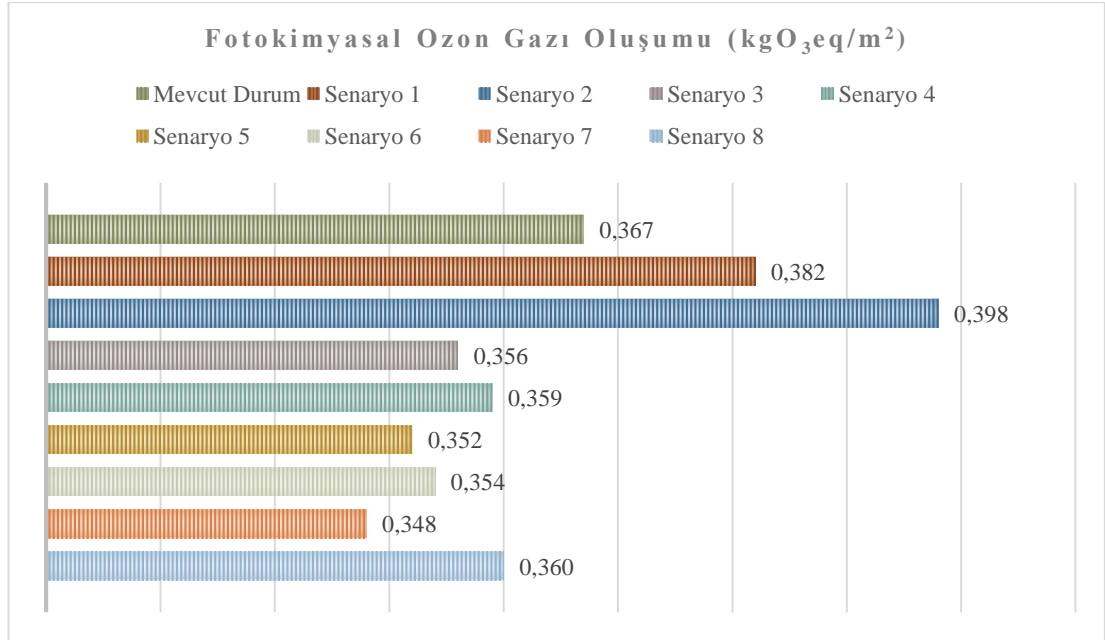
Şekil 4.11. Ötروفikasyon potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.

Elde edilen sonuçlarda asidifikasyon etki kategorisinde olduğu gibi tuğla ile oluşturulan alternatif senaryolar (Senaryo 1 ve 2) mevcut durumdan daha yüksek ötروفikasyon potansiyeline sahiptir. En yüksek ötروفikasyon etki değerine sahip olan 30 cm tuğla ile oluşturulan Senaryo 2’de, tuğlanın etki yüzdesi %20,71 olmuştur. Kenevir beton ile oluşturulan Senaryo 8 ise mevcut durumdan düşük bir etki vermiş olsa da diğer alternatifler arasında en yüksek etki değerine sahiptir.

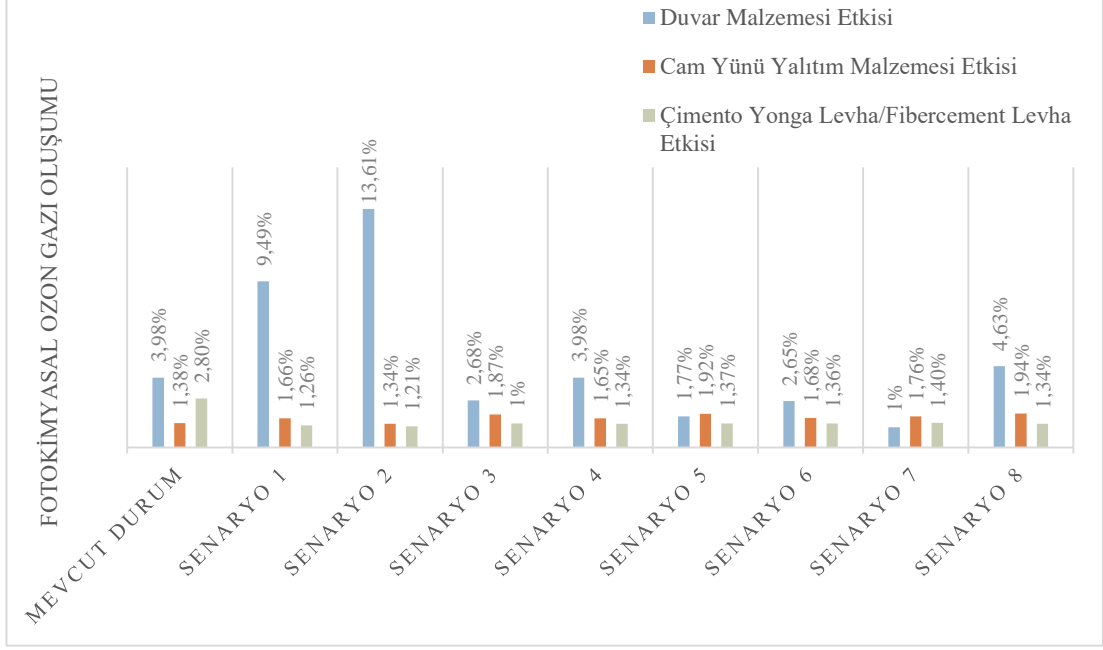
Bims ve gazbeton ile oluşturulan senaryolarda ise bimsle oluşturulan alternatifler (Senaryo 5 ve 6) daha az ötروفikasyon potansiyeline sahiptir. En düşük ötروفikasyon potansiyeline sahip senaryo ise kerpiç ile oluşturulan Senaryo 7 olup bu senaryoda kerpicin katkı yüzdesi %1 olmuştur. Kerpiç üretimi sırasında kurutmak için yenilenebilir enerji kaynağı olan güneşin kullanılması ve hammaddelerinin doğal yapı malzemelerinden oluşması, kerpicin çevresel etkilerinin diğer malzemelere göre düşük olmasını sağlamaktadır. Kerpiç ile oluşturulan senaryoda yapı kabuğunda değiştirilen diğer yapı malzemeleri olan cam yünü yalıtım malzemesinin etki oranı %2,11 iken, çimento lifli ahşap yonga levha yerine kullanılan fibercement levhanın etki oranı ise %1,57 olmuştur.

4.2.1.4. Fotokimyasal Ozon Oluşum Potansiyeli

Ozon; uçucu organik bileşikler ve nitrojen oksit gibi hava kirleticilerin güneş ışınları ile tepkimeye girmesi sonucunda oluşan, insan sağlığını, ormanları ve zirai tarımı tehdit eden ikincil bir kirleticidir [148]. Birincil kirleticilerin tepkimeye girmesi sonucu açığa çıkması sebebi ile ikincil kirletici olarak anılmaktadır. Ozon, duman (smog) oluşumunun temel nedenidir. Gaziantep Ekolojik Bina için önerilen alternatif senaryoların fotokimyasal ozon oluşum potansiyelleri ve önerilen malzemelerin katkı yüzdeleri Şekil 4.12’de ve Şekil 4.13’te verilmiştir.



Şekil 4.12. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların fotokimyasal ozon oluşum potansiyelleri.

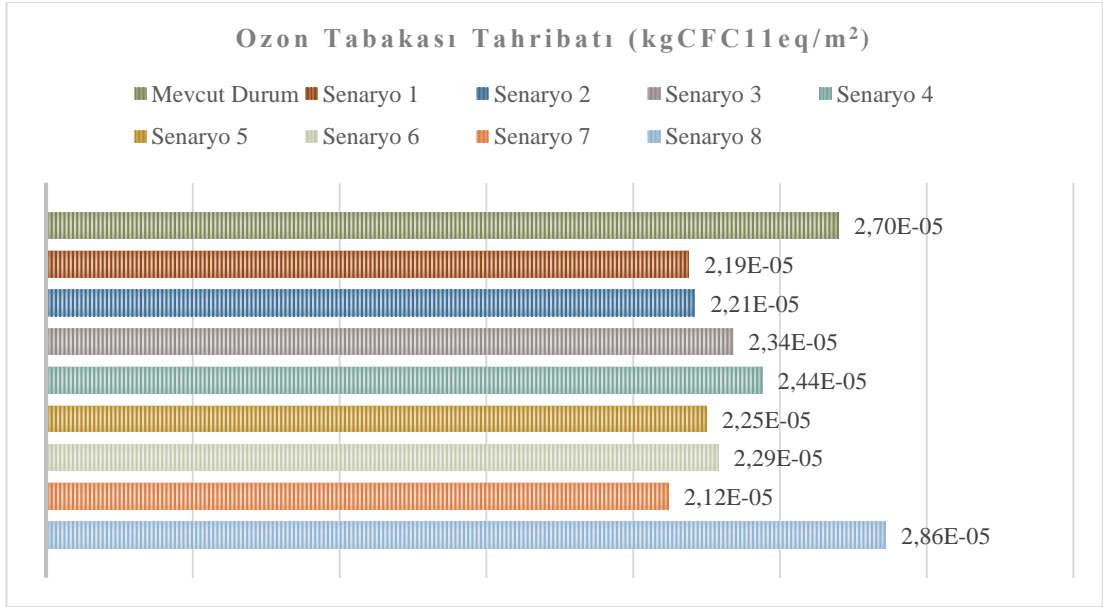


Şekil 4.13. Fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.

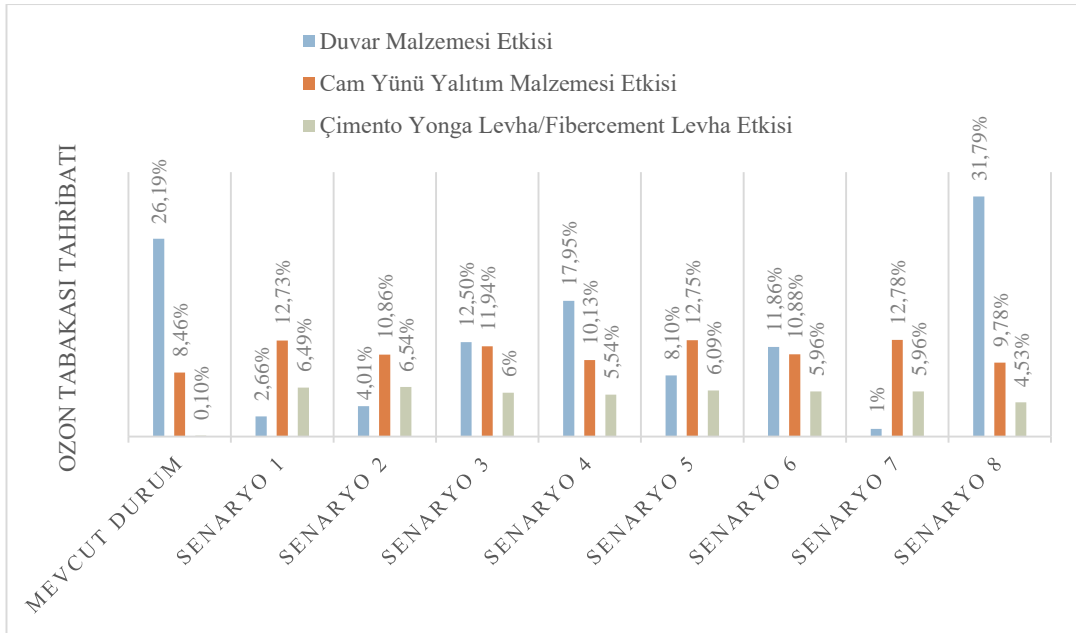
Bu etki kategorisinde de asidifikasyon ve ötrofikasyon oluşum potansiyellerinde olduğu gibi en yüksek çevresel etki, tuğla ile oluşturulan senaryolarda (Senaryo 1 ve 2) ortaya çıkmıştır. Tuğla ile oluşturulan senaryolar, mevcut durumdan daha fazla bir çevresel etkiye sebep olmuştur. Tuğladan sonra öneriler arasında en yüksek çevresel etkiye sebep olan senaryo ise kenevir beton bloklarıyla oluşturulan Senaryo 8'dir. Bunu, yüksekten düşüğe gazbeton ve bims takip etmektedir. En düşük fotokimyasal ozon oluşum potansiyeline sahip senaryo ise kerpiç ile oluşturulan Senaryo 7'dir. Kerpicin bu kategoride etki oranı %1 olmuştur.

4.2.1.5. Ozon Tabakası Tahribatı Potansiyeli

Günümüzde tüm dünyada yaygın olarak endişe duyulan çevre sorunlarından biri de ozon tabakasının incelmesidir. Ozon tabakası güneşten gelen zararlı ışınları yansıtarak, dünyanın fazla ısınmasını önlemektedir. Kloroflorokarbonların atmosferde yer alan ozonla tepkimeye girmesi sonucunda ozon tabakasının incelmeye söz konusu olmaktadır [149]. Kloroflorokarbonların yaygın kullanım alanları ise araba klimaları, soğutucu spreylere, yalıtım malzemeleri ve köpük ürünleridir. Gaziantep Ekolojik Bina için önerilen alternatif senaryoların ozon tahribatı potansiyelleri ve önerilen malzemelerin katkı yüzdeleri Şekil 4.14'te ve Şekil 4.15'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Mevcut durum ve alternatif yapı kabuğu senaryoların ozon tahribatı potansiyelleri.



Şekil 4.15. Ozon tahribatı potansiyeli yapı malzemesi katkı yüzdeleri.

Elde edilen sonuçlarda ozon tahribatı potansiyeli en yüksek olan senaryonun kenevir beton blokları ile oluşturulan Senaryo 8 olduğu görülmüştür. Kenevir betonun bu etkiye katkı yüzdesi %31,79 olmuştur. Bu senaryo mevcut yapıdan daha yüksek bir ozon tahribatı potansiyeline sahiptir. Mevcut durum ozon tabakası tahribatı

incelendiğinde, çimentolu yonga levhanın diğer tüm senaryolarda kullanılan fibercement levhaya göre bu etki kategorisinde daha düşük katkı sağladığı gözlemlenmiştir. Diğer etki kategorilerinden farklı olarak bu etki kategorisinde kenevir betondan sonra alternatifler arasında en yüksek etkiye gazbetonla oluşturulan senaryolar (Senaryo 3 ve 4) sebep olmuştur. Bunu sırasıyla bims ve tuğla takip etmiştir. 20 cm bims (Senaryo 5) ve 20 cm tuğla (Senaryo 1) ile oluşturulan senaryolar incelendiğinde, yapı malzemesi kaynaklı katkı oranının duvar malzemesini geçtiği görülmektedir. Bunun sebebi yalıtım malzemelerinin CFC içerikli olması gösterilebilir. Bu etki kategorisinde de en düşük etki değerine sahip olan senaryo kerpiç ile oluşturulan Senaryo 7 olmuştur. Bu senaryoda malzemelerin katkı oranları incelendiğinde ise, kerpicin katkı oranı %1 iken yalıtım malzemesinin katkı oranının %12,78 olduğu görülmüştür. Bunun sebebi de yine yalıtım malzemelerinin içeriği ile açıklanabilmektedir.

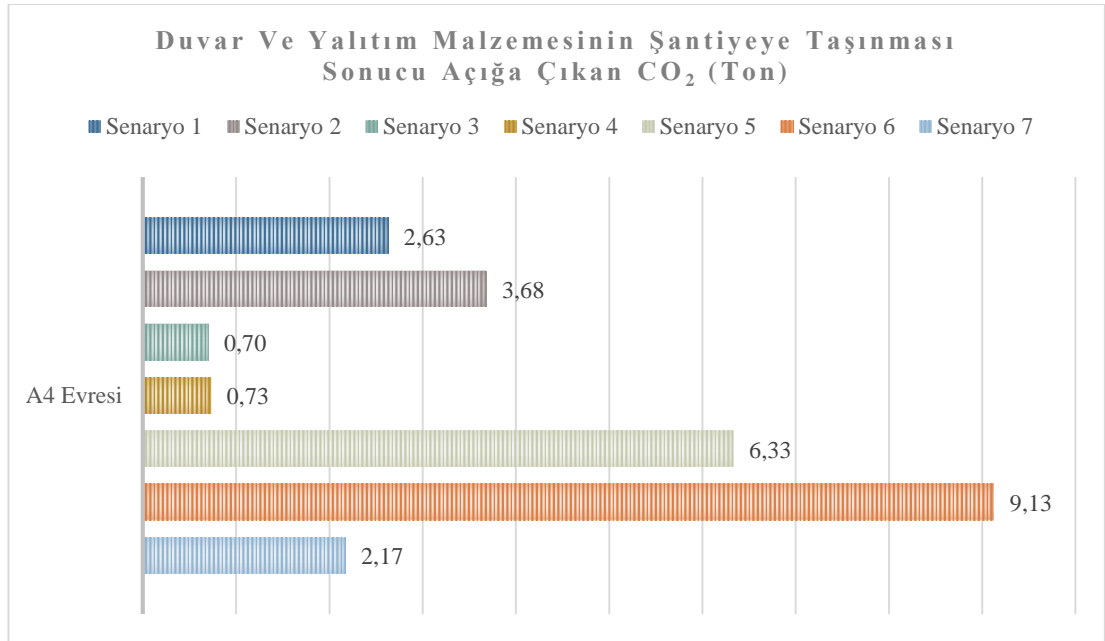
Oluşturulan öneri yapı kabuğu senaryolarının tüm çevresel etki kategorilerine göre iyileştirme oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Öneri yapı kabuğu senaryoları ile mevcut durum iyileştirilme yüzdeleri.

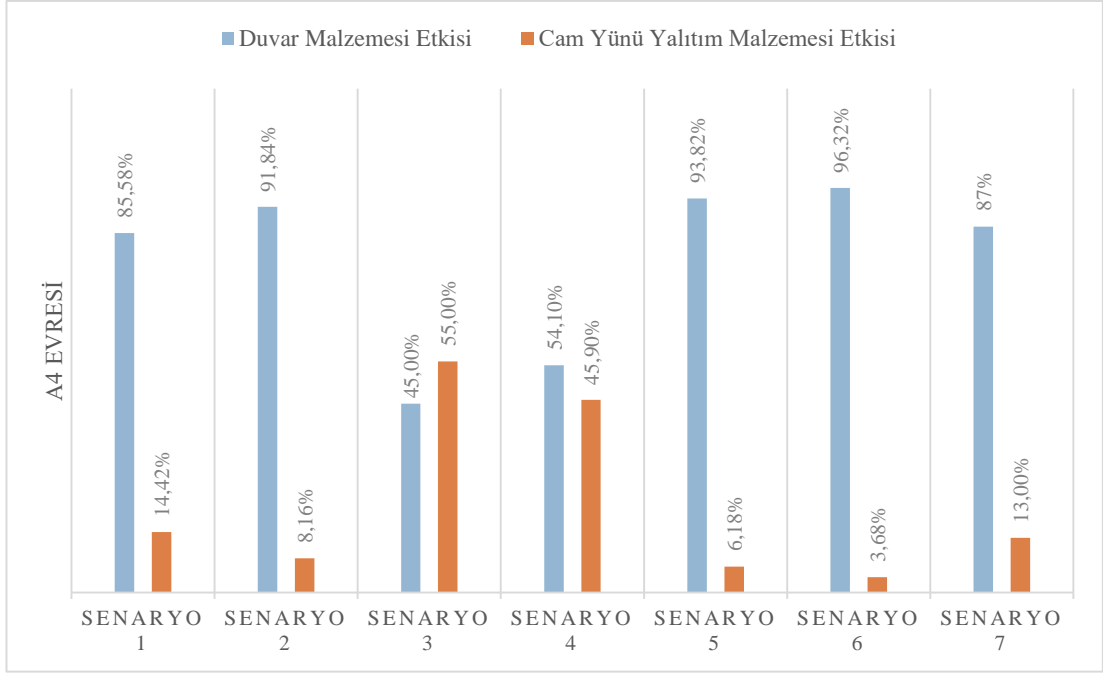
Mevcut Durum	Küresel Isınma Potansiyeli		Asidifikasyon Potansiyeli		Ötrofikasyon Potansiyeli		Fotokimyasal Ozon Gazı Oluşum Potansiyeli		Ozon Tahribatı Potansiyeli	
	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100	%100
Senaryo 1	%97,93	↓ %2,97	%115,05	↑ %15,05	%101,78	↑ %1,79	%104,08	↑ %4,08	%81,11	↓ %18,89
Senaryo 2	%113,09	↑ %13,09	%133,66	↑ %33,66	%108,83	↑ %8,83	%108,44	↑ %8,44	%81,85	↓ %18,15
Senaryo 3	%74,10	↓ %25,90	%83,16	↓ %16,84	%91,06	↓ %8,94	%97	↓ %3,00	%86,67	↓ %13,33
Senaryo 4	%77,38	↓ %22,62	%85,94	↓ %14,06	%92,85	↓ %7,15	%97,82	↓ %2,18	%90,37	↓ %9,63
Senaryo 5	%71,01	↓ %28,99	%80,61	↓ %19,39	%88,38	↓ %11,62	%95,91	↓ %4,09	%83,33	↓ %16,67
Senaryo 6	%72,70	↓ %27,30	%81,94	↓ %18,06	%88,87	↓ %11,13	%96,45	↓ %3,55	%84,81	↓ %15,19
Senaryo 7	%73,43	↓ %26,57	%77,11	↓ %22,89	%87,28	↓ %12,72	%94,82	↓ %5,18	%78,52	↓ %21,48
Senaryo 8	%78,91	↓ %21,09	%94,83	↓ %5,17	%94,73	↓ %5,27	%98,09	↓ %1,91	%105,93	↑ %5,93

4.2.2. A4 Evresi

Yapı malzemelerinin üretim tesislerinden şantiye alanına taşınması sırasında açığa çıkan CO₂ emisyonu Çizelge 3.7'deki veriler kullanılarak hesaplanmıştır. Elde edilen çevresel etki sonuçları beklenen iyileştirmeyi sağlamadığı için ve kenevir betonun ülkemizde üretiminin yapılmamasından dolayı yurt dışından getirilmesi durumunda A4 evresi de oldukça yüksek çıkacağı için, kenevir beton hesaplamalara dahil edilmemiştir. Ayrıca tüm önerilen senaryolarda aynı miktarda fibercement levha kullanıldığı için ve senaryolar arasında kıyaslama yöntemi kullanıldığından bu yapı malzemesinin A4 evresine katkısı hesaplanmamıştır. Cam yünü yalıtım malzemesi her senaryoda farklı kalınlıklarda kullanıldığı için ihtiyaç duyulan miktarın farklı olması sebebiyle cam yününden kaynaklı salınım, her senaryoda ayrı ayrı hesaplanmıştır. Elde edilen hesaplama sonuçları Şekil 4.16'da verilmiştir.



Şekil 4.16. Alternatif duvar malzemesi ve farklı kalınlıklardaki yalıtım malzemelerinin şantiyeye taşınması sonucu açığa çıkan CO₂ miktarı.



Şekil 4.17. Yapı malzemelerinin A4 evresine katkı yüzdeleri.

Yapı malzemelerinin A4 evresinde sebep olduğu salınım, malzemenin taşındığı kilometre ile doğru orantılıdır. Mesafeler hesaplanırken ara satıcı firmalar yerine ana üretici firmalar tespit edilmiştir. Şekil 4.16’da da görüldüğü gibi taşınım sırasında en yüksek salınım bims (Senaryo 5 ve 6) sebep olmuştur. Şekil 4.17’de Senaryo 3 ve 4’te görüldüğü gibi gazbetonun taşınmasının etkisi %90’larda olmuştur ve sebebi ise Kayseri’deki Ponce Blok firmasından 305 km taşınmasından kaynaklanmaktadır. 193 km mesafedeki Artuğ tuğla fabrikasından taşınan tuğla ile oluşturulan senaryolar da (Senaryo 1 ve 2) bimsden sonra en yüksek salınım neden olmuştur. Gazbeton ve kerpiç ise Gaziantep ili sınırlarında üretildiği için en düşük salınım neden olmuşlardır. Kerpiç ile oluşturulan Senaryo 7’de aynı il sınırlarında üretilen kerpicingin şantiyeye taşınması %87 etkilerken, Mersin’den getirilen cam yününün katkısı %13 olmuştur. Bunun sebebi taşınan malzeme miktarı ile açıklanabilmektedir. A4 evresi sonucunda en düşük etkiyi veren senaryo 20 cm gazbetonla oluşturulan Senaryo 3 olmuştur. Şekil 4.17 incelendiğinde Senaryo 3 için taşınan gazbetonun katkısı %45 olurken, 30 gazbetonla oluşturulan Senaryo 4 için taşınan gazbetonun katkısı ise %54,1 olmuştur. Buradan görüldüğü gibi, duvar yapı malzemesinin ağırlığından ve kapladığı hacimden kaynaklı taşınımı sırasında gereksinim duyduğu sefer miktarı artmaktadır. Bu da açığa çıkan CO₂ miktarını arttırmaktadır. Yapının U değerinin sabit tutulması için duvar

malzemesinin kalınlığının arttırılması yerine, yalıtım kalınlığının arttırıldığı senaryoların taşıma evresi sırasında da daha düşük çevresel etkilere sebep olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada Türkiye'deki tek pasif ev olan Gaziantep Ekolojik Bina'ya bütüncül bir bakış açısıyla yaklaşmış ve yapının hem enerji performansı korunarak hem de mevcut yapı kabuğuna alternatif senaryolar sunularak yapının çevresel etkisinin azaltılması hedeflenmiştir. Bu bağlamda ilk olarak mevcut yapının çevresel etkisi yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi yardımıyla hesaplanmış ve yapıda en yüksek çevresel etkiye sebep olan yapı bileşeni ve malzemeleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda yapının çevresel etkisine en büyük katkı payının dış duvarlar ve cephe kaynaklı olduğu tespit edilmiştir. Çatı ve döşemelerin katkı payının duvar ve döşemelere yakın bir yüzde de olduğu görülse de, döşemelerde yapılacak bir değişikliğin yapının taşıyıcılığı üzerinde önemli bir etkiye sebep olabileceği düşüncesiyle döşemelerde bir değişiklik yapılmamıştır.

Çevresel etkiye katkı oranı en yüksek olan dış duvarlar ve cephe katmanlarının çevresel etkileri incelendiğinde ise en yüksek çevresel etkinin %24,3 ile betonarme duvar malzemesinden kaynaklandığı görülmüştür. Hazır betondan sonra en yüksek katkı ise %15,6 ile çimento lifli yonga levha kaynaklı olmuştur. Yapıda kullanılan yalıtım malzemesi olan cam yünü yalıtım malzemesinin katkı payının ise oldukça düşük olduğu tespit edilmiştir (%3,9). Bu sonuçlardan yola çıkılarak, yapının kabuk malzeme katmanında değişiklik yapılması öngörülmüş, hazır beton yerine daha yaygın kullanılan duvar yapım malzemelerinden tuğla, gazbeton, bims ile ve sürdürülebilir duvar yapım malzemelerinden kerpiç, kenevir beton ile öneri senaryolar oluşturulmuştur. Ayrıca içeriğinde fazla miktarda çimento barındıran çimento yonga levha yerine selüloz lifli çimento levha (fibercement levha) tüm yapı kabuğu senaryolarında önerilerek, yapının çevresel etkisinin azaltılması hedeflenmiştir.

Çevresel etkisinin düşük olması sebebi ile mevcut yapıda kullanılan yalıtım malzemesi olan cam yünü, yeni önerilen senaryolarda da kullanılmıştır. Ancak yapının duvar malzemelerinin değiştirilmesi durumunda pasif evin enerji performansının pasif ev şartlarını sağlaması ve duvar U değerini koruması amacı ile gerekli yalıtım malzemesi kalınlıkları hesaplanmış ve senaryolar buna göre kurgulanmıştır. Oluşturulan alternatif senaryoların A1-A3 ve A4 evresindeki çevresel etkileri yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ve TRACI 2.1 değerlendirme metodu kullanılarak tespit edilmiş ve mevcut yapının çevresel etkileri ile kıyaslanmıştır.

Elde edilen çevresel etki sonuçlarında alternatif yapı kabuğu senaryolarından tuğla ile oluşturulan Senaryo 1 ve 2 de asidifikasyon, ötrofikasyon ve fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyeli, mevcut yapınınkinden daha yüksek bir çevresel etkiye sebep olmuştur. Küresel ısınma potansiyelinde ise 30 cm tuğla ile oluşturulan Senaryo 2 yine mevcut durumdan daha yüksek çevresel etkiye sebep olmuş, 20 cm tuğla ile oluşturulan Senaryo 1 ise sadece %2'lik bir azalma görülmüştür. Tuğla ile oluşturulan senaryolarda tuğlanın çevresel etkiye katkı yüzdeleri diğer malzemelere oranla oldukça yüksektir. Tuğlanın üretimi esnasında 800 ila 1200 °C sıcaklıklarda pişirilmesi ve pişirme işlemi sırasında doğalgaz, kömür gibi fosil yakıtların kullanılması CO₂ salınımını artırması nedeniyle, tuğlanın çevresel etkisini de arttırmaktadır. Ancak tuğlanın ısı kütlesi özelliğinin fazla olmasından kaynaklı mevcut yapıdaki enerji performansını sağlaması için gerekli yalıtım malzemesi kalınlığı diğer alternatiflere göre daha az olmuştur. Bu da yalıtım malzemesi kaynaklı çevresel etkilerinin daha az olmasını sağlamaktadır. Tuğla ile oluşturulan senaryoların A4 evresindeki çevresel etkisi ise getirildiği mesafe ile alakalı olduğundan, Gaziantep ilinden temin edilen malzemelere göre daha yüksektir.

Senaryo 8'de öneri olarak sunulan kenevir beton blokların çevresel etkileri ise tuğla ile oluşturulan senaryolara göre daha az olduğu, ancak mevcut duruma yakın çevresel etki değerleri tespit edilmiştir. Kenevir betonun farklı uygulama yöntemleri mevcuttur. Bu çalışma pasif bir evin enerji performansını sabit tutma amacı taşıdığı için kenevir betonun fabrikasyon ürünü tercih edilmiş ve çevresel etki sonuçları bu bağlamda incelenmiştir. Yerinde dökme yöntemiyle uygulanan kenevir beton daha düşük çevresel etkiye sahip olsa da bir standardizasyona sahip olmaması nedeniyle tercih

edilmemiştir. Kenevir beton bloklarının mekanik dayanımının düşük olmasından kaynaklı içerisinde çimento bulundurması, bu malzemenin çevresel etkisini arttırmıştır. Kenevir beton, yeni bir yapı malzemesi olması sebebiyle mekanik dayanımının artırılması ve içeriğinde geri dönüştürülmüş yapı malzemeleri kullanılıp geliştirilmesi sonucunda daha çevreci ve tercih edilir bir malzeme haline gelecektir.

Gazbeton ile oluşturulan Senaryo 3 ve 4'ün sonuçları incelendiğinde küresel ısınma, asidifikasyon, ötrofikasyon ve fotokimyasal ozon oluşum potansiyeli etki kategorilerinde tuğla ve kenevir betondan daha düşük; bims ve kerpiçten daha fazla çevresel etkiye sahip olduğu görülmüştür. Gazbetonun Gaziantep'te yer alan fabrikadan temin edilmesinden ötürü A4 evresinden kaynaklı çevresel etkisi diğer öneri senaryolara göre oldukça düşüktür.

Tüm öneriler incelendiğinde küresel ısınma potansiyeli hariç diğer etki kategorilerinde en düşük çevresel etkiye kerpiç ile oluşturulan Senaryo 7'de ulaşılmıştır. Kerpiç, içeriği doğal malzemelerden oluşan, yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak kurutulan çevreci bir yapı malzemesidir. Ancak kenevir betonda olduğu gibi yerinde dökme uygulandığı için ve bir standardizasyonu olmadığı için tüm pasif bir yapılar öneri olarak sunulması mümkün değildir. Kerpiç üretiminin fabrikasyonlaştırılması ile ısı iletkenlik değerinin sabit olması durumunda ekolojik yapılar için çevresel etkisi en düşük öneri olacağı ortadadır.

Bims ile oluşturulan Senaryo 5 ve 6, küresel ısınma potansiyeli etki kategorisinde diğer malzemelere göre en düşük çevresel etkiye sebep olmuştur. 20 cm kalınlığında bims ile oluşturulan Senaryo 5, tüm etki kategorilerinde Senaryo 6'ya göre daha düşük çevresel etkiye sebep olmuştur. En düşük çevresel etki değerine sahip kerpiçle oluşturulan Senaryo 7 ile 20 cm bims ile oluşturulan Senaryo 5, Çizelge 4.1'deki verilere göre kıyaslandığında asidifikasyon potansiyelinde %3,5, ötrofikasyon potansiyelinde %1,1, fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyelinde %1,09, ozon tahribatı potansiyelinde %4,81 fark olduğu görülmektedir. Kerpiçin üretim şekline göre kaynaklı bir standardının olmaması nedeniyle, fabrikasyon olarak üretilen TSE ve CE gibi belgelere sahip olan bimsin pasif bir evde önerilmesi bu çalışmanın evrenselliği açısından oldukça önemlidir.

Oluşturulan senaryolarda mevcut yapının enerji tüketimini korumak amacıyla ya duvar malzemesi kalınlığı düşük tutularak yalıtım malzemesi kalınlığı arttırılmış, ya da duvar malzemesi kalınlığı yüksek tutularak düşük kalınlıkta yalıtım malzemesi eklenerek iki farklı yaklaşım benimsenmiştir. Elde edilen bütün etki kategori sonuçlarında ve farklı yaklaşımla denenen tüm malzemelerde görülmüştür ki 20 cm duvar malzemesi kalınlığı tercih edilen senaryoların çevresel etki değerleri 30 cm duvar kalınlığı tercih edilen senaryolarınkinden daha düşük olmuştur. Bunun sebebi, duvar malzemesi çevresel etki değerinin, yalıtım malzemesi etki değerinden fazla olmasıyla açıklanabilmektedir.

Sonuç olarak, Gaziantep Ekolojik Bina’da kullanılan 30 cm betonarme duvar + 40 cm cam yünü yalıtım + 14 mm çimento lifli ahşap yonga levha+ 1 cm dış sıva+boya yapı kabuğu yerine, Senaryo 5’de yer alan yapı kabuğu olan 20 cm bims + 56 cm cam yünü yalıtım + 14 mm fibercement levha +1 cm dış sıva+boya kullanılması durumunda küresel ısınma potansiyelinde $191,017 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^2$, yani %28,99 azalma; asidifikasyon potansiyelinde $0,349 \text{ kgSO}_2\text{eq/m}^2$, yani %19,39 azalma; ötrofikasyon potansiyelinde $0,117 \text{ kgNeq/m}^2$, yani %11,62 azalma; fotokimyasal ozon gazı oluşum potansiyelinde $0,015 \text{ kgO}_3\text{eq/m}^2$, yani %4,09 azalma; ozon tabakası tahribatı potansiyelinde $4,50\text{E-}06 \text{ kgCFC11eq/m}^2$, yani %16,67 azalma gerçekleşecektir. İklim krizinin etkilerinin hızla hissedilir hale geldiği günümüzde özellikle m^2 başına düşen CO_2 'nin yaklaşık %30 oranında azalması oldukça önemlidir. Bu çalışma, Türkiye'nin ilk pasif evini konu alması ve bu yapı için iyileştirmeler sunması, sunulan iyileştirmelerde her yapıda kullanılacak yaygın bir yapı malzemesi önermesi, bundan sonra tasarlanacak pasif evlere yol göstermesi açısından oldukça önemlidir. Ancak pasif evlerin hava sızdırmazlık şartlarını sağlaması önemli olduğundan, yapıdaki detay çözümlerine dikkat edilmesi de oldukça önemlidir. Gelecekte yapılacak pasif evlere yol göstereceği ümit edilen bu çalışmanın yanı sıra, pasif evlerde kullanılan yalıtım malzemeleri, özel cam sistemleri ve aktif sistemlerin de çevresel etkileri irdelenmeli ve kıyaslamalar yapılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. İnternet: Kuveyt Türk, “İklim Krizinin Nedenleri Nelerdir?”, <https://www.kuveytturk.com.tr/blog/surdurulebilirlik/kuresel-iklim-krizi-nedir-onlemek-icin-neler-yapilabilir#:~:text=De% C4% 9Ferlendirme% 20Raporu'na% 20g% C3% B6re% 20iklim,bozarak% 20iklim% 20de% C4% 9Fi% C5% 9Fikli% C4% 9Finin% 20temel ini% 20atar.>
2. IPCC, Summary for Policymakers. “In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change” [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].
3. Karacalı, A. O., “Küresel düşün yerel tasarla: iklim krizine karşı kent vernaküleri yaklaşımı”, *International Journal of Interdisciplinary and Intercultural Art*, 7 (15): 13-22 (2022).
4. Pabuçcu, H. ve Bayramoğlu, T., “Yapay sinir ağları ile CO₂ emisyonu tahmini: Türkiye örneği”, *Gazi Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 18 (3): 762-778 (2016).
5. Altunok, A. E. ve Altunok, E., “AB iklim değişikliği politikaları”, *Denetışim Dergisi*, (12): 45-55 (2013).
6. Akın, G., “Küresel ısınma, nedenleri ve sonuçları”, *Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*, 46 (2): 29-43 (2006).
7. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Sektörlere Göre Toplam Enerji Tüketimi”, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sectorlere-gore-toplam-enerji-tuketimi-i-85800> (2020).
8. Omer, A. M., “Energy, environment and sustainable development”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12 (9): 2265-2300 (2008).
9. Lee, J., Shepley, M. M. and Choi, J., “Exploring the localization process of low energy residential buildings: A case study of Korean passive houses”, *Journal of Building Engineering*, 30 (January): 101290 (2020).

10. Aydın, Ö., “Binalarda enerji verimliliği kapsamında yapılan projelerin değerlendirilmesi: Türkiye örneği”, *Mimarlık ve Yaşam Dergisi*, 4 (1): 55-68 (2019).
11. Galvin, R., “Policy pressure to retrofit Germany’s residential buildings to higher energy efficiency standards: A cost-effective way to reduce CO₂ emissions?”, *Building and Environment*, 237: 110316 (2023).
12. Cholewa, T., Siuta-Olcha, A., Smolarz, A., Muryjas, P., Wolszczak, P., Guz, L., Bocian, M., Sadowska, G., Lokczewska, W. And Balaras, C. A., “On the forecast control of heating system as an easily applicable measure to increase energy efficiency in existing buildings: Long term field evaluation”, *Energy & Buildings*, 292: 113174 (2023).
13. Rostam, M. G. And Abbasi, A., “Dynamic climate-adaptive design: A key to realizing future-proof energy efficiency in building sector”, *Applied Energy*, 341: 121146 (2023).
14. Önal, S., “Yapıların enerji kimlik belgeleri üzerine değerlendirmeler”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 1 (3): 100-105 (2014).
15. İnternet: IEA, “Binalar”, <https://www.iea.org/reports/buildings> (2022).
16. İnternet: Türkiye Cumhuriyeti Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, “Sektörlere Göre Toplam Sera Gazı Emisyonu”, <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-toplam-seragazi-emisyonlari-i-101864> (2020).
17. Song, Y., Zhang, H. and Mithraratne, N., “Research on influences of wall design on embodied and operating energy consumption: A case study of temporary building in China”, *Energy and Buildings*, 278 (September): 112628 (2023).
18. Seo, R. S., Jung, G. J. and Rhee, K. N., “Impact of green retrofits on heating energy consumption of apartment buildings based on nationwide energy database in South Korea”, *Energy and Buildings*, 292 (April): 113142 (2023).
19. Dikman, Ç. B., “Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 14 (2): 121-134 (2011).
20. Özdemir, S. ve Aydın Yağmur, Ş., “Enerji etkin yapı tasarımı ve parametrelerinin RIBA çalışma planı ile değerlendirilmesi”, *ABMYO Dergisi*, 16 (65): 1-26 (2022).
21. Brillinger, M., Wuwer, M., Smajic, B., Abdul Hadi, M., Trabesinger, S., Oberegger, B. and Jäger, M., “Novel method to predict the energy consumption

- of machined parts in the design phase to attain sustainability goals”, *Journal of Manufacturing Processes*, 101 (2023): 1046-1054 (2023).
22. Han, S., Jeong, H., Lee, J. and Kim, J., “Proposed existing building diagnosis framework for energy efficiency improvement”, *Case Studies in Thermal Engineering*, 49: 103232 (2023).
 23. Alabid, J., Bennadji, A. and Seddiki, M., “A review on the energy retrofit policies and improvements of the UK existing buildings, challenges and benefits”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 159: 112161 (2022).
 24. Pohoryles, D. A., Bournas, D. A., Da Porto, F., Caprino, A., Santarsiero, G. and Triantafillou, T., “Integrated seismic and energy retrofitting of existing buildings: A state-of-the-art review”, *Journal of Building Engineering*, 61: 105274 (2022).
 25. Özata, A., “Isıtma baskın iklim bölgelerinde mevcut yapı stokunun performansının iyileştirmesi, Malatya Yeşilyurt örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 6-28 (2022).
 26. Mohapatra, K. S., Mishra, S., Tripathy, H. K. and Alkhayyat, A., “A sustainable data-driven energy consumption assessment model for building infrastructures in resource constraint environment”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53 (PC): 102697 (2022).
 27. Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G. and Castell, A., “Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29 (January): 394-416 (2014).
 28. Pajek, L., Potocnik, J. and Kosir, M., “The effect of a warming climate on the relevance of passive design measures for heating and cooling of European single-family detached buildings”, *Energy & Buildings*, 261 (2022): 111947 (2022).
 29. İnternet: Passive House Institute, “25 Years Passive House – Interview with Dr. Wolfgang Feist”,
https://passivehouse.com/02_informations/01_whatispassivehouse/01_whatisa-passivehouse.htm.
 30. Yılmaz, V., “Enerji tasarrufunda yeni bir boyut : pasif ev”, *II. Uluslararası Bilimsel Çalışmalarda Yenilikçi Yaklaşımlar Sempozyumu*, Samsun, 1053-1056 (2018).

31. Sarıbaş Gürol, E., “Pasif ev uygulamasının ılımlı kuru iklim bölgesi özelinde değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 15-57 (2023).
32. İnternet: Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği, “Pasif Ev Standardı”, <http://sepev.org/pasif-ev-standardi/>.
33. Küçükaka, S., “Isı geri kazanım cihazlarının bazı şehirlerdeki yıllık toplam ısıtma ve soğutma kazançları”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 93: 13-19 (2006).
34. Uçar, S. and Akıner, İ., “Comparison of passivhaus concept buildings used for indoor swimming pools in cold and hot climates”, *Anlambilim MTÜ Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 2 (2): 122-135 (2022).
35. Demirel, B., “Pasif ev uygulamasının Türkiye için değerlendirilmesine yönelik bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 3-46 (2013).
36. Badea, A., Baracu, T., Dincai C., Tutica, D., Grigore, R. and Anastasiu, M., “A life-cycle cost analysis of the passive house “POLITEHNICA” from Bucharest”, *Energy and Buildings*, 80: 542-555 (2014).
37. Tokarik, M. S. and Richman, R. C., “Life cycle cost optimization of passive energy efficiency improvements in a Toronto house”, *Energy and Buildings*, 118: 160-169 (2016).
38. Galvin, R., “Are passive houses economically viable? A reality-based, subjectivist approach to cost-benefit analyses”, *Energy and Buildings*, 80: 149-157 (2014).
39. İnternet: Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği, “Pasif Ev Broşürü”, <http://sepev.org/files/Pasif-Ev-Brosuru.pdf> (2018).
40. İnternet: Passive House Database, “Show Certified Passive Houses”, <http://passivehouse-database.org/index.php>.
41. Müftüoğlu Güleç, S., “Türkiye’de yeşil bina kavramı örnek: Gaziantep ekolojik bina”, *Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Raporu*, Gaziantep (2016).
42. Yeşil Bina Sürdürülebilir Yapı Teknolojileri Dergisi, “Gaziantep ekolojik binası”, İstanbul, 4 (22): 40-43 (2013).
43. İnternet: Yeşil Ekonomi, “Enerji Verimliliği Merkezi, Verimlilik Sertifikası Aldı”, <http://yesilekonomi.com/enerji-verimliliği-merkezi-verimlilik-sertifikasi-aldi> (2016).

44. İnternet: Energy Education, “Environmental Impact”, https://energyeducation.ca/encyclopedia/Environmental_impact.
45. Doğan, G., “Bina tasarımında karar desteği olarak sürdürülebilirlik değerlendirme araçları”, *GSI Journals Serie C: Advancements in Information Sciences and Technologies*, 3 (1): 66-91 (2020).
46. Altınöz, M., “Binaların çevresel etkilerinin enerji verimliliği ve karbon ayak izi açısından incelenmesi: Kırklareli örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne, 12-43 (2019).
47. İnternet: İzmir Kalkınma Ajansı, “Yeşil Büyüme: Bütünleşik Bina Tasarım Yaklaşımı”, <https://kalkinmasozlugu.izka.org.tr/butunlesik-bina-tasarimi-yaklasimi>.
48. Akın, N., “Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik seçilen bir modelin tuğla örneği üzerinden irdelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 9-29 (2020).
49. Sayın, M., “Yeşil bina üretiminde yaşam döngüsü değerlendirmesi yöntemi kapsamında çevresel ürün beyanlarının yapılarda uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 16-50 (2018).
50. Gültekin, A. B. ve Çelebi, G., “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi”, *Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (2016): 1-36 (2016).
51. Al-Huthaifi, A. A. M. M. ve Altan, M. F., “Yapı sektöründe uygulanan yaşam döngüsü değerlendirmesinde karşılaşılan sorunlara çözüm önerileri”, *MAS Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 6 (1): 194-210 (2021).
52. Tuna Kayılı, M. ve Çelebi, G., “Yapı ürünlerinin kurum ve sistemlere göre çevresel etki göstergelerinin ve önem ağırlıklarının incelenmesi”, *II. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu*, Ankara, 875-881 (2015).
53. Yılmaz, F. ve Tosun, C., “Düşük küresel ısınma potansiyeline sahip hfo-1234ze akışkanın termodinamik analizi”, *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fen Bilimleri Dergisi*, 30 (5): 308-313 (2014).

54. Bakkaloğlu, E. B., “Yaşam döngüsü analizi ile sürdürülebilir katı atık yönetimi; Kocaeli ili örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya, 25-30 (2022).
55. Farinha, C., Brito, J. and Veiga, M., “Chapter 8 Life Cycle Assessment”, Eco-Efficient Rendering Mortars, *In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering*, Portugal, 205-234 (2021).
56. Semenderoğlu, A., İlhan, A. ve Gülersoy A. E., “Kimyasal ve biyolojik arazi degradasyonu”, *Türk Coğrafya Dergisi*, 45: 15-40 (2006).
57. Minaz, M. ve Kubilay, A., “Doğal arıtım sistemi: yapay yüzen ada teknolojisinin Türkiye’deki göl, gölet ve baraj göllerinde uygulanma potansiyeli”, *Aquatic Research Dergisi*, 4 (4): 376-394 (2021).
58. İnternet: Türkiye Yaban Hayatı, “Ötrofikasyon”, <https://turkiyeyabanhayati.org/blog/detail/dunya-ve-bizi-bekleyen-tehlike-otrofikasyon> (2022).
59. Baykal, H. ve Baykal, T., “Küreselleşen Dünya’da çevre sorunları”, *Mustafa Kemal Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 5 (9): 1-17 (2008).
60. Özcan, H. K., Şahin, Ü., Bayat, C. ve Uçan, O. N., “İstanbul ili troposferik ozon (O₃) konsantrasyonlarının hücresel yapay sinir ağ yöntemiyle modellenmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (2): 239-245 (2006).
61. Tozsın, G., “Yer seviyesi ozon kirliliğine neden olan parametrelerin İstanbul ili için incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 17-36 (2003).
62. Duru, M. O. ve Koç, İ., “Sürdürülebilir yapı üretiminde yaşam döngüsü değerlendirme (Lca) hesaplamalarının yapı bilgi modellemesi (Bim) ile entegrasyonuna yönelik bir araştırma”, *Sanat ve Tasarım Araştırmaları Dergisi*, 2 (3): 107-121 (2021).
63. Biçergil, G., “Pvc profil sistemlerinin yaşam döngüsü çevresel sürdürülebilirliği”, Yüksek Lisans Tezi, *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bilecik, 19-25 (2020).
64. Önal, H., “Prefabrike ve geleneksel ahşap esaslı yapım sistemlerinin karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya, 22-45 (2022).

65. Sambataro, L., Laveglia, A., Ukrainczyk, N. and Koenders, E., “A performance-based approach for coupling cradle-to-use LCA with operational energy simulation for Calcium Silicate and Clay Bricks in masonry buildings”, *Energy & Buildings*, 295: 113287 (2023).
66. Nicholson, S. and Ugursal, V. I., “A lifecycle assessment-based environmental analysis of building operationally energy efficient houses in Nova Scotia”, *Journal of Building Engineering*, July: 107102 (2023).
67. Spudys, P., Afxentiou, N., Georgali, P. Z., Klumbyte, E., Jurelionis, A. and Fokaidis, P., “Classifying the operational energy performance of buildings with the use of digital twins”, *Energy & Buildings*, 290: 113106 (2023).
68. Su, Y., Miao, Z., Wang, L. and Wang, L., “Energy consumption and indoor environment evaluation of large irregular commercial green building in Dalian, China”, *Energy & Buildings*, 276: 112506 (2023).
69. Hawila, A. A. W., Perneti, R., Pozza, C. and Belleri, A., “Plus energy building: Operational definition and assessment”, *Energy & Buildings*, 265: 112069 (2022).
70. Guo, Y., Uhde, H. and Wen, W., “Uncertainty of energy consumption and CO₂ emissions in the building sector in China”, *Sustainable Cities and Society*, 97: 104728 (2023).
71. Gursel, A. P., Shehabi, A. and Horvath, A., “Embodied energy and greenhouse gas emission trends from major construction materials of U.S. office buildings constructed after the mid-1940s”, *Building and Environment*, 234: 110196 (2023).
72. Echenagucia, T. M., Moroseos, T. and Meek, C., “On the tradeoffs between embodied and operational carbon in building envelope design: The impact of local climates and energy grids”, *Energy & Buildings*, 278: 112589 (2023).
73. Izaola, B., Akizu-Gardoki, O. and Oregi, X., “Setting baselines of the embodied, operational and whole life carbon emissions of the average Spanish residential building”, *Sustainable Production and Consumption*, 40: 252-264 (2023).
74. Evangelista, P. P. A., Kiberstok, A., Torres, E. A. and Gonçalves, J. P., “Environmental performance analysis of residential buildings in brazil using life cycle assessment (Lca)”, *Construction and Building Materials*, 169: 748-761 (2018).

75. Dixit, M. K., Culp, C. H. and Fernández-Solis, J. L., “System boundary for embodied energy in buildings: A conceptual model for definition”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21: 153-164 (2013).
76. Sartori, I. and Hestnes, A. G., “Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article”, *Energy and Buildings*, 39: 249-257 (2007).
77. Black, C., Ooteghem, K. V. and Boake, T. M., “Carbon neutral steel building systems research project – a case study that explores the relationship between metered energy and embodied energy in achieving a holistic carbon neutral retail building”, *Proceedings of the American Solar Energy Association* (2010).
78. Çamur, C., “Isı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etkilerinin değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 47-51 (2010).
79. Cai, K., Wang, J., Bai, J., Zuo, J., Chan, K., Lai, K. and Song, Q., “Mitigating life cycle GHG emissions of building sector through prefabricated light-steel buildings in comparison with traditional cast-in-place buildings”, *Resources, Conservation & Recycling*, 194 (March): 107007 (2023).
80. Jaemoon, K., Duhwan, L. and Seunghoon, N., “Potential for environmental impact reduction through building Lca (life cycle assessment) of school facilities in material production stage”, *Building and Environment*, 238 (April): 110329 (2023).
81. Vega, M., Llantoy, N., Chafer, M., Ushak, S. and Cabeza, L. F., “life cycle assessment of the inclusion of phase change materials in lightweight buildings”, *Journal of Energy Storage*, 56: 105903 (2022).
82. Saravanan, J. and Sridhar, M., “Life cycle assessment of alternative building materials using idematlightlca mobile app”, *Materials Today: Proceedings*, 65: 1243-1249 (2022).
83. Kong, M., Ji, C., Hong, T. and Kang, H., “Impact of the use of recycled materials on the energy conservation and energy transition of buildings using life cycle assessment : a case study in South Korea”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 155 (October): 111891 (2022).
84. Dascalaki, E. G., Argiropoulou, P., Balaras, C. A., Drousa, K. G. and Kontoyiannidis, S., “Analysis of the embodied energy of construction materials in the life cycle assessment of hellenic residential buildings”, *Energy & Buildings*, 232: 110651 (2021).

85. Mouton, L., Allacker, K. and Röck, M., “Bio-based building material solutions for environmental benefits over conventional construction products – life cycle assessment of regenerative design strategies (1/2)”, *Energy & Buildings*, 282: 112767 (2023).
86. Zhang, Y., Cai, Y., Liu, S., Su, Z. and Jiang, T., “Life cycle assessment of aluminum-silicon alloy production from secondary aluminum in China”, *Journal of Cleaner Production*, 392 (March): 136214 (2023).
87. Shi, S., Huang, B., Ren, F., Duan, L., Lei, J., Wang, X., Wu, Q., Li, W., Xiong, Y., Li, N., Hu, J. and Nakatani, J., “Life cycle assessment of embodied human health effects of building materials in China”, *Journal of Cleaner Production*, 350 (March): 131484 (2022).
88. Sandanayake, M., Bouras, Y. and Vrcelj, Z., “A feasibility study of using coffee cup waste as a building material - Life cycle assessment and multi-objective optimisation”, *Journal of Cleaner Production*, 339 (August) : 130498 (2022).
89. Zhao, J. and Li, S., “Life cycle cost assessment and multi-criteria decision analysis of environment-friendly building insulation materials - a review”, *Energy & Buildings*, 254: 111582 (2022).
90. Wang, Y., Rasheed, R., Jiang, F., Rizwan, A., Javed, H. and Su, Y., “Life cycle assessment of a novel biomass-based aerogel material for building insulation”, *Journal of Building Engineering*, 44 (July): 102988 (2021).
91. Metin, B. ve Tavail, A., “Bina yapım sürecinin çevresel etkilerinin yapı elemanları ölçeğinde değerlendirilmesi: dış duvar sistemi örneği”, *1. Uluslararası Lisansüstü Araştırmaları Sempozyumu*, Ankara (2010).
92. Kiran, K. and Anand, K. B., “Comparison of life cycle cost and embodied energy for buildings with alternative walling materials”, *Materials Today: Proceedings*, (2023).
93. Zhan, H., Mahyuddin, N., Sulaiman, R. and Khayatian, F., “Phase change material (PCM) integrations into buildings in hot climates with simulation access for energy performance and thermal comfort: A review”, *Construction and Building Materials*, 397: 132312 (2023).
94. Sedaghat, A., Salem, H., Hussam, W. K., Mahdizadeh, A., Al-Khiami, M. I., Malayer, M. A., Soleimani, S. M., Sabati, M., Narayanan, R., Rasul, M. and Khan, M. M. K., “Exploring energy-efficient building solutions in hot regions: A study on bio-phase change materials and cool roof coatings”, *Journal of Building Engineering*, 76: 107258 (2023).

95. Sadati, S. E., Rahbar, N. and Kargarsharifabad, H., “Energy assessment, economic analysis, and environmental study of an Iranian building: The effect of wall materials and climatic conditions”, *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 56: 103093 (2023).
96. Hussien, A., Khan, W., Hussain, A., Liatsis, P., Al-Shamma’a, A. and Al-Jumeily, D., “Predicting energy performances of buildings’ envelope wall materials via the random forest algorithm”, *Journal of Building Engineering*, 69: 106263 (2023).
97. Yue, X., Zhang, R., Jin, X., Zhang, X., Bao, G. and Qin, D., “Bamboo-derived phase change material with hierarchical structure for thermal energy storage of building”, *Journal of Energy Storage*, 62: 106911 (2023).
98. Stazi, F., Mastrucci, A. and Munafò, P., “Life cycle assessment approach for the optimization of sustainable building envelopes : An application on solar wall systems”, *Building and Environment*, 58: 278–288 (2012).
99. Kon, O., “Binaların dış duvarlarında uygulanacak yalıtımın gömülü enerjisine bağlı kalınlığı ve ısııl atalet indeksi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi*, 6 (1): 50–62 (2023).
100. Altun, M., Akgül, Ç. M. ve Akçamete, A., “Kabuk yalıtımının bina ısıtma enerjisi ihtiyacına, maliyetine ve karbon ayak izine etkisinin yaşam döngüsü bakış açısıyla değerlendirmesi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35 (1): 147–163 (2020).
101. Türkeş, M., Sümer, U. M. Ve Çetiner, G., “Küresel iklim değişikliği ve olası etkileri”, *Çevre Bakanlığı, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi Seminer Notları (13 Nisan 2000, İstanbul Sanayi Odası)*, Ankara, 7–24 (2000).
102. Özeler Kanan, N., Gültekin, A. B. ve Çelebi, G., “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında enerji verimli cephe sistemlerine ilişkin bir literatür araştırması”, *II. Uluslararası Sürdürülebilir Binalar Sempozyumu*, Ankara, 858-865 (2015).
103. Chau, C. K., Leung, T. M. and Ng, W. Y., “A review on life cycle assessment , life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings”, *Applied Energy*, 143: 395–413 (2015).
104. Tadeu, S., Rodrigues, C., Marques, P. and Freire, F., “Eco-efficiency to support selection of energy conservation measures for buildings: A life-cycle approach”, *Journal of Building Engineering*, 61 (August): 105142 (2022).

105. Wang, Y., Ni, Z., Hu, M., Li, J., Wang, Y., Lu, Z., Chen, S. and Xia, B., “Environmental performances and energy efficiencies of various urban green infrastructures : A life-cycle assessment”, *Journal of Cleaner Production*, 248: 119244 (2020).
106. Maodus, N., Agarski, B., Misulic, T. K., Budak, I. and Radeka, M., “Life cycle and energy performance assessment of three wall types in south-eastern Europe region”, *Energy and Buildings*, 133: 605-614 (2016).
107. Tari, M. K., Faraji, A. R., Aslani, A. and Zahedi, R., “Energy simulation and life cycle assessment of a 3D printable building”, *Cleaner Materials*, 7 (December): 100168 (2023).
108. Cusenza, M. A., Guarino, F., Longo, S. and Cellura, M., “An integrated energy simulation and life cycle assessment to measure the operational and embodied energy of a Mediterranean net zero energy building”, *Energy & Buildings*, 254: 111558 (2022).
109. Hashi, M. N. ve Kasapoğlu, E., “Türkiye’de Leed belgesi almış büro binalarının sürdürülebilir malzeme ve kaynak kullanımı bağlamında değerlendirilmesi”, *Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 4(1): 170-188 (2023).
110. Bayraktar Marangoz, D. ve Aydın, Ö., “Sürdürülebilir yapı malzemesi olarak bambunun kullanımına yönelik bir tasarım önerisi : doğu Karadeniz örneği”, *Bodrum Sanat ve Tasarım Dergisi*, 2(1): 76-96 (2023).
111. Apostolopoulos, V., Mamounakis, I., Seitaridis, A., Tagkoulis, N., Kourkoumpas, D. S., Iliadis, P., Angelakoglou, K. and Nikolopoulos, N., “An integrated life cycle assessment and life cycle costing approach towards sustainable building renovation via a dynamic online tool”, *Applied Energy*, 334 (December): 120710 (2023).
112. Jiao, Y. and Månsson, D., “Greenhouse gas emissions from hybrid energy storage systems in future 100% renewable power systems – A Swedish case based on consequential life cycle assessment”, *Journal of Energy Storage*, 57 (December): 106167 (2023).
113. Harter, H., Willenborg, B., Lang, W. and Kolbe, T. H., “Life Cycle Assessment of building energy systems on neighbourhood level based on semantic 3D city models”, *Journal of Cleaner Production*, 407 (February): 137164 (2023).
114. Tulevech, S. M., Hage, D. J., Jorgensen, S. K., Guensler, C. L., Himmler, R. and Gheewala, S. H., “Life cycle assessment: a multi-scenario case study of a low-

- energy industrial building in Thailand”, *Energy and Buildings*, 168: 191-200 (2018).
115. İnternet: Gaziantep Ekolojik Bina, “Hakkımızda”, <http://gaziantepkolojikbina.com.tr/SayfaDetay/hakkimizda/1>.
 116. Boz, A., “Pasif evler hakkında analizler”, *ResearchGate*, 3 (2021).
 117. İnternet: Çevre ve Kültür Değerlerini Koruma ve Tanıtma Vakfı, “Gaziantep’te Nefes Alan Bir Bina: Ekolojik Bina”, <https://www.cekulvakfi.org.tr/makale/gaziantep-te-nefes-alan-bir-bina-ekolojik-bina> (2021).
 118. Austro Times, “Pasif Ev’i tanıyalım”, *Austrotherm Bülteni Pasif Ev Özel Sayısı*, 13 (Mayıs): 4-15 (2017).
 119. Özpinar, G., “Gaziantep’te nefes alan bir bina: ekolojik bina”, *Yerel Kimlik Dergisi*, 65 (1): 14-21 (2021).
 120. Bakan, H., “Yeşil bina değerlendirme sistemlerinin İstanbul ölçeğinde değerlendirilmesi”, Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi*, İstanbul, 10-14 (2016).
 121. Atmaca, U., “TS 825 binalarda ısı yalıtım kuralları”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 154 (Temmuz/Ağustos): 21-35 (2016).
 122. Gaziantep Belediyesi İmar ve Şehircilik Müdürlüğü Gaziantep Ekolojik Bina Projesi
 123. Cihan, S., “Ekolojik Şehirleşme ve Pasif ev Projesi”, *Gaziantep Büyükşehir Belediyesi Sunumu*, İstanbul, 37-53 (2013).
 124. Sanna, P., “Pientalon elinkaariarviointi One Click Lca-ohjelmistolla”, Tez, *İnşaat ve Toplum Mühendisliği Programı*, Finlandiya, 24-26 (2022).
 125. Yazbek, H. and Zverotic, E., “The use of the LCA-tool One Click LCA with the help of BIM for more efficient climate and life cycle assessments”, Derece Projesi, *Malmö Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Programı*, İsveç, 5-17 (2021).
 126. İnternet: EcoTransIT World, “Methodology”, <http://www.ecotransit.world/en/emissioncalculator>.
 127. İnternet: EcoTransIT World, “Methodology”, <http://www.ecotransit.world/en/methodology>.

128. Pawar, B. S. and Kanade, G. N., “Energy optimization of building using design builder software”, *International Journal of New Technology and Research*, 4 (1): 69-73 (2018).
129. İnternet: Altensis Managing Sustainability, “Hizmetlerimiz Design Builder Yazılımı”, <http://www.altensis.com/hizmetler/designbuilder-software>.
130. İnternet: Türkiye Hazır Beton Birliđi, “Beton Nedir?”, <http://www.thbb.org/teknik-bilgiler/beton-nedir>.
131. İnternet: Türkiye Hazır Beton Birliđi, “Türkiye Hazır Beton Sektör İstatistikleri”, <http://www.thbb.org/media/661867/thbb-sekt%C3%B6r-%C4%B0statistikleri-2022.pdf> (2022).
132. Ige, O. E., Olanrewaju, O. A., Duffy, K. J. and Obiora, C., “A review of the effectiveness of Life Cycle Assessment for gauging environmental impacts from cement production”, *Journal of Cleaner Production*, 324 (September): 129213 (2021).
133. Gürsel, A. P. ve Akgül, C. M., “Türkiye’de çimento üretiminin karşılaştırmalı yaşam döngüsü analizi”, *II. Proje ve Yapım Yönetimi Kongresi*, İzmir (2012).
134. Esin, T. ve Nilay, C., “Betonarme yapı sistemlerinin ekolojik açıdan değerlendirilmesi”, 1-12.
135. Azkur, H. S. ve Canan, F., “Farklı taşıyıcı sistemlerin gömülü enerji ve gömülü karbon değerlerinin müstakil konutlar bağlamında karşılaştırılması”, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 26 (1): 35-46 (2022).
136. İnternet: Tepe Betopan, “Doküman Merkezi TepePan EPD/ BetoPan EPD”, <http://www.betopan.com.tr/tr/dokuman-merkezi>.
137. İnternet: Hekim Yapı, “Fibercement Levhalar İnsana veya Çevreye Zararlı mıdır?”, <http://www.hekimyapi.com/fibercement>.
138. İnternet: Climate.OneBuilding.Org, “Gaziantep İli İklim Verileri”, http://www.climate.onebuilding.org/WMO_Region_6_Europe/TUR_Turkey/index.html#IDGA_Gaziantep.
139. İnternet: Anadolu Ajansı, “Kerpiç Evler Ders Mekanı Oldu”, <http://www.aa.com.tr/tr/yasam/kerpic-evler-ders-mekani-oldu-1340228>.
140. Özmen, M. T., “Sera gazı - küresel ısınma ve Kyoto Protokolü”, *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 453 (1): 42-46 (2009).

141. İnternet: Medium, “Karbon Salımının Küresel Isınma Üzerindeki Etkisi Nasıl Ölçülür?”, <http://www.medium.com> (2019).
142. Tok, G., “Refrakter tuğla üretiminin yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleriyle değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 56-73 (2015).
143. Yadav, M. and Saini, A., “Opportunities & challenges of hempcrete as a building material for construction: An overview”, *Materials Today: Proceedings*, 65: 2021-2028 (2022).
144. Johnson, J., Graf Pannatier, E., Carnicelli, S., Cecchini, G., Clarke, N., Cools, N., Hansen, K., Meesenburg, H., Nieminen, T. M., Pihl-Karlsson, G., Titeux, H., Vanguelova, E., Verstraeten, A., Vesterdal, L., Waldner, P. and Jonard, M., “The response of soil solution chemistry in European forests to decreasing acid deposition”, *In Global Change Biology*, 24 (8): 1-48 (2018).
145. Gade, A. L., Hauschild, M. Z. and Laurent, A., “Globally differentiated effect factors for characterising terrestrial acidification in life cycle impact assessment”, *Science of the Total Environment*, 761: 143280 (2021).
146. Doğan Sağlamtimur, N. ve Sağlamtimur, B., “Sucul ortamlarda ötrofikasyon durumu ve senaryoları”, *Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 7 (1): 75-82 (2018).
147. Kara, B., “Use of engineeref nanoparticles in nitrogen and phosphorus recovery from aqueous solutions”, Master Thesis, *Marmara University Institute for Graduate Studies*, Istanbul, 1-5 (2023).
148. Özdemir, H., “İstanbul atmosferindeki troposferik ozon konsantrasyonunun yapay sinir ağ teknikleri ile modellenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 11-29 (2006).
149. Öner, Ş., “İklim değişikliği sorununun uluslararası gelişmeler eşliğinde Türkiye'nin politika ve kurumlarına yansması”, *Ombudsman Akademik*, 9 (18): 13-47 (2023).

EK AÇIKLAMALAR A.

**YAŞAM DÖNGÜSÜ DEĞERLENDİRME YÖNTEMİNDE KULLANILAN
EPD VERİLERİ**

Çizelge Ek A.1. Çevresel etki değerlendirmede kullanılan malzeme çevresel ürün beyanları.

Malzeme	Ülke	EPD Numarası	EPD Programı	Yıl	Standart	Veri Tabanı
Betonarme Duvar	Türkiye	-	One Click LCA	2020	EN 15804+A1, EN 15804+A2	Ecoinvent
Tuğla	Danimarka	MD-14003-EN_rev1	EPD Danmark	2018	EN 15804+A1	GaBi
Gazbeton	Türkiye	S-P-01804	International EPD System	2020	EN 15804+A1	Ecoinvent
Bims	Türkiye	EPD-PON-20160178-CAD1-EN	IBU	2016	EN 15804+A1	Ecoinvent
Kerpiç	Almanya	-	OKOBAUD AT	2020	EN 15804+A1	GaBi
Kenevir Beton	Fransa	INIES_IBIO20180531_104839, 27089	INIES	2018	EN 15804+A1	Ecoinvent
Cam Yünü	Türkiye	-	One Click LCA	2018	EN 15804+A1	Ecoinvent
Çimento Lifli Ahşap Yonga Levha	Slovakya	MD-20027-EN	EPD Danmark	2020	EN 15804+A1	GaBi
Fibercement Levha	Türkiye	-	One Click LCA	2019	EN 15804+A1	Ecoinvent

ÖZGEÇMİŞ

Feride Çiğdem KARA aldığı ilk ve orta öğreniminin ardından Vakıfbank Anadolu Lisesi'ni ikincilik derecesi ile tamamladı. 2014 yılında başladığı Balıkesir Üniversitesi Mimarlık bölümü lisans eğitiminden 2018 yılında üçüncülük derecesi ile mezun oldu. 2020 yılından itibaren Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde Mimarlık Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitimini sürdürmektedir.

Yayınlar

1. Kara, F. Ç. ve Tuna Kayılı, M., “Yapı malzemelerine sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütüncül bir bakış: Duvar malzemelerinin çevresel etkilerinin ve enerji performansının belirlenmesi” *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Ejosat 2021 Ek Sayı 1*, 31: 583-593 (2021).
2. Kara, F. Ç. ve Tuna Kayılı, M., “Yapılarda atık yönetimi: Bir eğitim yapısı üzerinden geri dönüşüm önerileri ve karbon salımının engellenmesi” *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 23 (3): 962-979 (2021).
3. Sultan Quarraie, B. and Kara, F. Ç., “Investigations of Two Residences (Leed Certification)”, *Academic Turkish World Studies: Tourism, Culture, Art and Architecture*, ABD, 31-57 (2022).