



**MEVCUT YAPILARIN ENERPHİT STANDARDI
KAPSAMINDA BÜTÜNLEŞİK OLARAK
İYİLEŞTİRİLMESİ: YENİŞEHİR İŞÇİ KONUTLARI
ÖRNEĞİ**

**2023
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MİMARLIK ANABİLİM DALI**

Havva KOCA

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

**MEVCUT YAPILARIN ENERPHİT STANDARDI KAPSAMINDA
BÜTÜNLEŞİK OLARAK İYİLEŞTİRİLMESİ: YENİŞEHİR İŞÇİ
KONUTLARI ÖRNEĞİ**

Havva KOCA

**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**

Havva KOCA tarafından hazırlanan “MEVCUT YAPILARIN ENERPHİT STANDARDI KAPSAMINDA BÜTÜNLEŞİK OLARAK İYİLEŞTİRİLMESİ: YENİŞEHİR İŞÇİ KONUTLARI ÖRNEĞİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI

Tez Danışmanı, Mimarlık Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Mimarlık Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 27/07/2023

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR (TÜ)

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

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

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

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bahar Sultan QURRAIE (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.”

Havva KOCA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MEVCUT YAPILARIN ENERPHİT STANDARDI KAPSAMINDA BÜTÜNLEŞİK OLARAK İYİLEŞTİRİLMESİ: YENİŞEHİR İŞÇİ KONUTLARI ÖRNEĞİ

Havva KOCA

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

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI

Temmuz 2023, 156 sayfa

Dünya genelinde teknolojinin gelişmesi, sanayinin ilerlemesi gibi etkenlere bağlı olarak enerji kaynakları azalırken, enerji talebi hızla artmaktadır. Artan bu enerji talebi, büyük ölçüde fosil kaynaklardan karşılanmakta ve bu kaynakların kullanımı çevre sorunlarına neden olmaktadır. Enerji talebinin büyük bir kısmını yapı sektörü oluşturmakta olup bu sektörden kaynaklanan sera gazı salımları, su kirliliği, hava kirliliği gibi çevre sorunlarını beraberinde getirmektedir. Yapı sektörünün neden olduğu bu olumsuzlukları önleyebilmek adına yapıların sürdürülebilir mimarlık kapsamında bütünleşik olarak ele alınması ve enerji tüketiminin ve beraberinde çevresel etkisinin azaltılması önemlidir. Bu sayede yapı hem enerji etkin hem de çevreci olabilecektir. Mevcut yapıların enerji taleplerini düşürmeye yönelik iyileştirmeler yapılırken de bu bakış açısı korunmalı, yapı bütünleşik olarak iyileştirilmelidir.

Bu bağlamda tez çalışması kapsamında, Karabük Demir Çelik Fabrikası kuruluşunda işçilerin barınma ihtiyacını karşılamak amacıyla tasarlanan Yenişehir işçi konutlarının kültürel ve sosyal devamlılığının sağlanması amacıyla yönelik bütünlük şeklinde enerji etkin ve çevresel etkisi düşük olacak nitelikte iyileştirilmesi amaçlanmıştır. İşçi konutlarının pasif ev koşullarına getirilmesi hedefiyle yapıların iyileştirilmesinde EnerPHit Standardı esas alınmıştır. Çalışma alanı olarak seçilen Yenişehir Mahallesi 7 numaralı adada bulunan işçi konutlarının mevcut enerji tüketimi verileri tespit edilmiş, yapı kabuğu elemanlarının yüksek yalıtım özelliğine sahip olacak şekilde, farklı ısı yalıtım malzemeleri ile güçlendirilmesi üzerinde durularak iyileştirme önerilerine karar verilmiştir. Yapı kabuğunu güçlendirmede kullanılan ısı yalıtım malzemeleri doğal, yapay ve ileri teknoloji malzeme kategorilerinden seçilmiştir.

Konutlarda yapılan bu enerji iyileştirmelerinin, çevreye en az zararlı/en uygun maliyetle yapılabilmesi ve konutların bütünlük olarak iyileştirilebilmesi amacıyla çevresel etki değerlendirmesi ve buna bağlı olarak maliyet analizi yapılmıştır. Bütünlük olarak iyileştirilen konutlarda hem çevresel etki değerlendirmesi hem de maliyet analizi sonuçlarına göre; doğal ısı yalıtım malzemelerinden olan püskürtme selülozun en optimum yalıtım malzemesi olduğu, arojel levhanın ise tercih edilmesi durumunda üretiminde fosil yakıt kullanımı ve kimyasal işlem süreci nedeniyle daha fazla çevresel etkiye neden olacağı belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler : EnerPHit Standardı, pasif ev, enerji etkin yapı, yaşam döngüsü değerlendirmesi, ısı yalıtım malzemeleri, iyileştirme önerileri.

Bilim Kodu : 80114

ABSTRACT

Master Thesis

HOLISTIC RETROFITTING OF EXISTING BUILDINGS WITHIN THE SCOPE OF ENERPHIT STANDARD: EXAMPLE OF YENİŞEHİR WORKERS' HOUSING

Havva KOCA

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

Thesis Advisor:

Assoc. Prof. Dr. Merve TUNA KAYILI

July 2023, 156 pages

The rapid development of technology and industrial progress worldwide has led to a decrease in energy sources while energy demand continues to rise. Fossil fuels are predominantly used to meet this growing energy demand, resulting in environmental challenges. The building sector, being a significant contributor to energy consumption, generates greenhouse gas emissions, water pollution, and air pollution, further exacerbating environmental issues. To mitigate these negative impacts, a holistic approach within the realm of sustainable architecture is crucial, aiming to reduce energy consumption and minimize environmental effects, thus creating energy-efficient and environmentally friendly buildings. When undertaking improvements to reduce energy demands in existing structures, this comprehensive perspective must be maintained, encompassing the entire building.

This study focuses on the enhancement of energy efficiency and reduction of environmental impact in Yenişehir workers' housing, designed to meet the accommodation needs of employees at the Karabük Iron and Steel Factory. The objective is to achieve integrated improvements that ensure cultural and social continuity. The EnerPHit Standard is adopted as the foundation for building enhancement, with the aim of attaining Passive House conditions for workers' housing. The study area chosen for investigation is neighborhood of Yenişehir (Plot No.7), and the current energy consumption data of the workers' housing has been determined. Recommendations for improvement center on reinforcing building envelope components with high-insulation materials from different categories, including natural, artificial, and advanced technology insulation materials.

To ensure that energy improvements are carried out with minimal environmental impact and cost-effectiveness, an environmental impact assessment and cost analysis have been conducted. The findings reveal that sprayed cellulose, as a natural insulation material, is the most optimal choice for the building envelope's reinforcement. Conversely, aerogel panels are identified to have a higher environmental impact due to the use of fossil fuels and chemical processes in their production, making them a less preferable option.

Key Word : EnerPHit Standard, Passive House, energy efficient structure, life cycle assessment, thermal insulation materials, improvement suggestions.

Science Code : 80114

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi, yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren, desteğini hiçbir zaman esirgemeyen danışman hocam Doç. Dr. Merve TUNA KAYILI'ya, akademik tecrübelerinden faydalandığım hocam Dr. Öğr. Üyesi Bahar Sultan QURRAIE'ye, değerli katkılarından dolayı hocalarım Doç. Dr. Esmâ MIHLAYANLAR'a, Doç. Dr. Arzuhan Burcu GÜLTEKİN'e ve Doç. Dr. Tuğba İNAN GÜNAYDIN'a, tez çalışmasını destekleyerek katkıda bulunan Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Koordinatörlüğü'ne (Proje No. KBÜBAP-22-YL-158), hayatım boyunca destekleriyle beni hiçbir zaman yalnız bırakmayan çok değerli babam Mustafa KOCA'ya, annem Ümmühani KOCA'ya ve kardeşlerime, bu süreçte desteklerini esirgemeyen tüm arkadaşlarıma içtenlikle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	8
SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI VE YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	8
2.1. ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI.....	11
2.1.1. Enerji Etkin Yapı Tasarım Parametreleri	12
2.1.2. Pasif Ev	18
2.1.2.1. Pasif Ev Tasarım İlkeleri	21
2.1.2.1.a. Opak Yapı Kabuğunda Yüksek Isı Yalıtımı Seviyeleri	22
2.1.2.1.b. Isı Köprüsüz Tasarım	22
2.1.2.1.c. Hava Sızdırmaz Bir Yapı Kabuğu.....	23
2.1.2.1.d. Isı Yalıtım Direnci Yüksek Pencere ve Kapılar.....	23
2.1.2.1.e. Yüksek Verimlik Özelliğine Sahip Isı Geri Kazanımlı Havalandırma	23
2.1.2.2. Yeni Yapılar İçin Pasif Ev Sertifika Sistemi	24
2.1.2.3. Mevcut Yapılar İçin EnerPHit Sertifika Sistemi	26
2.2. YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ.....	28
2.2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi.....	28
2.2.1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Aşamaları.....	32
2.2.1.1.a. Amaç Kapsam Tanımı (AKT).....	32
2.2.1.1.b. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDEA).....	34

Sayfa

2.2.1.1.c. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)	35
2.2.1.1.d. Yaşam Döngüsü Yorumlaması (YDY)	37
2.2.1.2. Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirme Aşamaları	37
2.2.1.2.a. Üretim ve İnşaat Aşaması (A Modülü)	38
2.2.1.2.b. Kullanım Aşaması (B Modülü)	38
2.2.1.2.c. Kullanım Ömrünün Sonu Aşaması (C Modülü).....	38
2.2.1.2.d. Kullanım Ömrü Haricindeki Aşama (D Modülü)	39
2.2.1.3. Çevresel Etki Kategorileri.....	39
2.2.1.3.a. Küresel Isınma Potansiyeli	40
2.2.1.3.b. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli	40
2.2.1.3.c. Asidifikasyon Potansiyeli	41
2.2.1.3.d. Ötrofikasyon Potansiyeli	41
2.2.1.3.e. Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli	42
2.2.1.3.f. Fosil Olmayan Kaynaklar (Elementler) İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli	42
2.2.1.3.g. Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli.....	43
2.2.1.3.h. Biyojenik Karbon Depolama Potansiyeli	43
2.2.2. Isı Yalıtımı Malzemelerinin Çevresel Etkileri.....	44
BÖLÜM 3	51
MATERYAL VE METOT	51
3.1. MATERYAL.....	51
3.1.1. Yenişehir İşçi Konutları.....	51
3.1.2. Program ve Yazılımlar.....	56
3.1.2.1. DesignBuilder Simülasyon Programı	56
3.1.2.2. One Click LCA Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yazılımı.....	57
3.1.2.3. Sıcaklık Kayıt Cihazı	58
3.2. METOT	59
3.2.1. İşçi Konutlarının EnerPHit Kapsamında İyileştirilmesi.....	60
3.2.1.1. Mevcut Yapılarda Enerji Tüketimi Tespiti	60
3.2.1.2. Simülasyon Programının Kalibrasyon ve Doğrulaması.....	63
3.2.1.3. EnerPHit Standardı Kapsamında İyileştirme Önerilerinin Oluşturulması	68

	<u>Sayfa</u>
3.2.2. Çevresel Etki Değerlendirmesi	85
3.2.2.1. A1-A3 Aşaması Verileri	86
3.2.2.1.a. Genleştirilmiş Perlit Levha.....	86
3.2.2.1.b. Genleştirilmiş Mantar Levha.....	87
3.2.2.1.c. Selüloz	88
3.2.2.1.d. Taşyünü Levha	88
3.2.2.1.e. XPS (Ekstrüde Polistiren) Levha	89
3.2.2.1.f. EPS (Ekspande Polistiren) Levha	90
3.2.2.1.g. Camyünü Levha	90
3.2.2.1.h. PUR (Poliüretan Köpük)	91
3.2.2.1.i. Aerojel Levha.....	92
3.2.2.1.i. VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli).....	92
3.2.2.2. A4 Aşaması Verileri	93
3.2.3. Maliyet Analizi	95
BÖLÜM 4	97
BULGULAR VE TARTIŞMA	97
4.1. İŞÇİ KONUTLARININ ENERPHİT STANDARDI KAPSAMINDA İYİLEŞTİRİLMESİ SONUÇLARI.....	97
4.1.1. Mevcut Durum Enerji Tüketimi	97
4.1.2. EnerPHit Standardı Kapsamında İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi	100
4.1.2.1. 1 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi .	101
4.1.2.2. 2 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi .	102
4.1.2.3. 3 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi .	103
4.1.2.4. 4 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi .	105
4.2. İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİNİN ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ	106
4.2.1. Küresel Isınma Potansiyeli Değerleri	107
4.2.2. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli Değerleri.....	110
4.2.3. Asidifikasyon Potansiyeli Değerleri	114
4.2.4. Ötrofikasyon Potansiyeli Değerleri	117
4.2.5. Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli Değerleri	120

	<u>Sayfa</u>
4.2.6. Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli Değerleri	123
4.2.7. Biyojenik Karbon Depolama Potansiyeli Değerleri	126
4.3. İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİNİN MALİYET ANALİZİ	129
BÖLÜM 5	132
SONUÇ VE ÖNERİLER	132
KAYNAKLAR	141
EK AÇIKLAMALAR A.	150
İÇ MEKÂN ÖLÇÜM VE SİMÜLASYON GRAFİKLERİ	150
ÖZGEÇMİŞ	156

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Tez akış şeması.....	7
Şekil 2.1. Türkiye’de sektörel enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi	10
Şekil 2.2. Yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri.....	17
Şekil 2.3. Yapıların enerji tüketimlerine göre CO ₂ emisyonlarındaki değişim.....	21
Şekil 2.4. Pasif ev tasarım ilkeleri.....	21
Şekil 2.5. Geleneksel ev ile pasif ev karşılaştırması	24
Şekil 2.6. Pasif ev kriterleri.....	25
Şekil 2.7. Bileşen yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterleri	26
Şekil 2.8. Enerji talebi yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterleri	27
Şekil 2.9. Genel EnerPHit kriterleri	27
Şekil 2.10. Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları ve ilişkileri	32
Şekil 2.11. Örnek yapı ürünü sistemi	33
Şekil 2.12. Yapı ürünü sistemlerini oluşturan birim işlemler	34
Şekil 2.13. Bir yapı ürünü sistemine ait sistem sınırlarını ve birim işlemleri içeren akış şeması	35
Şekil 2.14. Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasına ait unsurların akış şeması	36
Şekil 2.15. Yapılar için yaşam döngüsü aşamaları ve modüller	37
Şekil 3.1. 7 numaralı ada vaziyet planı	52
Şekil 3.2. 1 numaralı A1 tipi konut planı	53
Şekil 3.3. 1 numaralı A1 tipi konut A-A kesiti	53
Şekil 3.4. 1 numaralı A1 tipi konut batı görünüşü	54
Şekil 3.5. A1 tipi işçi konutlarının giriş cephesi	54
Şekil 3.6. Elitech RC-51H sıcaklık kayıt cihazı.....	59
Şekil 3.7. 1 numaralı işçi konutunun DesignBuilder programında oluşturulan modeli	62
Şekil 3.8. Yaz dönemine ait iç mekân sıcaklık değerlerinin günlük ortalamaları.....	66
Şekil 3.9. Kış dönemine ait iç mekân sıcaklık değerlerinin günlük ortalamaları	66
Şekil 3.10. a) 1 numaralı pencere, b) 2 numaralı pencere, c) 3 numaralı pencere	71
Şekil 4.1. 1, 2, 3 ve 4 numaralı işçi konutlarının mevcut enerji performansları	99

Sayfa

Şekil 4.2. Küresel ısınma potansiyeli değerleri.....	110
Şekil 4.3. Ozon tabakasının incilmesi potansiyeli değerleri.....	113
Şekil 4.4. Asidifikasyon potansiyeli değerleri	116
Şekil 4.5. Ötrofikasyon potansiyeli değerleri.....	119
Şekil 4.6. Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri	123
Şekil 4.7. Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri	126
Şekil 4.8. Biyojenik karbon depolama potansiyeli değerleri	127
Şekil 4.9. “1m ² x gerekli kalınlık” birimi için ısı yalıtımlarının maliyetleri.....	130
Şekil Ek A.1. 27.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	151
Şekil Ek A.2. 28.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	151
Şekil Ek A.3. 29.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	152
Şekil Ek A.4. 30.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	152
Şekil Ek A.5. 31.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	153
Şekil Ek A.6. 17.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	153
Şekil Ek A.7. 18.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	154
Şekil Ek A.8. 19.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	154
Şekil Ek A.9. 20.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	155
Şekil Ek A.10. 21.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları	155

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Enerji etkin yapı tasarım parametreleri.....	12
Çizelge 2.2. Çevresel etki kategorileri ve birimleri	39
Çizelge 2.3. Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması	44
Çizelge 3.1. Yapı bileşenlerinde kullanılan malzeme katmanları.....	55
Çizelge 3.2. Konutların mevcut dış duvar, çatı ve zemin döşemesinin malzeme katmanları ve ısı geçirme dirençleri (R değeri).....	61
Çizelge 3.3. DesignBuilder programına girilen veriler	63
Çizelge 3.4. Ölçümlere ait bilgiler	64
Çizelge 3.5. ASHRAE Guideline 14, FEMP ve IPMVP için doğrulama kriterleri ...	65
Çizelge 3.6. Yaz dönemine ait ölçüm ve simülasyon verileriyle belirlenen sapma değerleri.....	67
Çizelge 3.7. Kış dönemine ait ölçüm ve simülasyon verileriyle belirlenen sapma değerleri.....	68
Çizelge 3.8. Soğuk ılıman iklim kuşağı için EnerPHit kriterleri	69
Çizelge 3.9. Pencereilerin U değerleri ve diğer bilgileri.....	71
Çizelge 3.10. Seçilen ısı yalıtım malzemeleri ve özellikleri.....	74
Çizelge 3.11. Genleştirilmiş perlit levha önerisinin malzeme katmanları	75
Çizelge 3.12. Genleştirilmiş mantar levha önerisinin malzeme katmanları.....	76
Çizelge 3.13. Püskürtme selüloz önerisinin malzeme katmanları.....	77
Çizelge 3.14. Taşyünü levha önerisinin malzeme katmanları.....	78
Çizelge 3.15. XPS (ekstrüde polistiren) önerisinin malzeme katmanları	79
Çizelge 3.16. EPS (ekspande polistiren) önerisinin malzeme katmanları	80
Çizelge 3.17. Camyünü levha önerisinin malzeme katmanları.....	81
Çizelge 3.18. PUR (poliüretan köpük) önerisinin malzeme katmanları	82
Çizelge 3.19. Aerojel levha önerisinin malzeme katmanları	83
Çizelge 3.20. VIP (vakumlu yalıtım paneli) önerisinin malzeme katmanları.....	84
Çizelge 3.21. One Click LCA yazılımına tanımlanan veriler	86
Çizelge 3.22. Genleştirilmiş perlit levhanın bileşenleri	87
Çizelge 3.23. Genleştirilmiş mantar levhanın bileşenleri	88
Çizelge 3.24. Selüloz yalıtım bileşenleri	88

Sayfa

Çizelge 3.25. Taşyünü levha bileşenleri	89
Çizelge 3.26. XPS (ekstrüde polistiren) levha bileşenleri	89
Çizelge 3.27. EPS (ekspande polistiren) levha bileşenleri.....	90
Çizelge 3.28. Camyünü levha bileşenleri.....	91
Çizelge 3.29. PUR (poliüretan köpük) bileşenleri	91
Çizelge 3.30. Aerojel levha bileşenleri	92
Çizelge 3.31. VIP (vakumlu yalıtım paneli) bileşenleri.....	93
Çizelge 3.32. Yalıtım malzemelerinin temin edileceği firmalar ve mesafeler.....	94
Çizelge 3.33. Isı yalıtımı malzemelerinin “1m ² x 1cm kalınlık” için fiyat bilgileri ..	95
Çizelge 4.1. Konutların mevcut durum enerji performansı sonuçları	98
Çizelge 4.2. 1 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları	101
Çizelge 4.3. 2 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları	102
Çizelge 4.4. 3 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları	104
Çizelge 4.5. 4 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları	105
Çizelge 4.6. Küresel ısınma potansiyeli değerleri.....	107
Çizelge 4.7. Ozon tabakasının incilmesi potansiyeli değerleri.....	110
Çizelge 4.8. Asidifikasyon potansiyeli değerleri	114
Çizelge 4.9. Ötrofikasyon potansiyeli değerleri.....	117
Çizelge 4.10. Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri	120
Çizelge 4.11. Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri	123
Çizelge 4.12. A1- A4 aşamalarının toplam çevresel etki değerleri.....	128
Çizelge 4.13. Isı yalıtımı malzemelerinin “1m ² x gerekli kalınlık” için fiyat bilgileri	129

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

ac	: hava değişimi
bio	: biyojenik
cm	: santimetre
d	: kalınlık
eq	: eşitlik
h	: saat
K	: kelvin
kg	: kilogram
km	: kilometre
kW	: kilowatt
l	: litre
m	: metre
m ²	: metrekare
m ³	: metreküp
mm	: milimetre
Pa	: paskal
W	: watt
λ	: ısı iletkenlik katsayısı
\bar{m}	: ölçüm değerlerinin ortalaması
m_i	: ölçüm verileri
m_s	: simülasyon verileri
n	: ölçüm noktası sayısı
p	: ayarlanabilir model parametre sayısı
U_w	: pencerenin ısı geçirme katsayısı
U_g	: camın ısı geçirme katsayısı
U_f	: çerçevenin ısı geçirme katsayısı

Ψ_g : cam kenarındaki ısı köprüsü katsayısı
 A_g : cam alanı
 A_f : çerçeve alanı
 l_g : cam kenar uzunluğu
CFC : kloroflorokarbon
CO₂ : karbondioksit
MJ : megajul
NO_x : azot oksit
O₃ : ozon
PE : polietilen
PET : polietilen tereftalat
PO₄ : fosfat
Sb : antimon
SiO₂ : silisyum dioksit
SO₂ : kükürt dioksit
°C : santigrat

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ADP	: Abiotic Depletion Potential (Abiyotik Tükenme Potansiyeli)
AKT	: Amaç Kapsam Tanımı
AP	: Acidification Potential (Asidifikasyon Potansiyeli)
ASHRAE	: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (Amerikan Isıtma, Soğutma ve Klima Mühendisleri Derneği)
BREEAM	: Building Research Establishment Environmental Assessment Method (Bina Araştırma Kuruluşu Çevresel Değerlendirme Metodu)
CFD	: Computational Fluid Dynamics (Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği)
CML	: The Centre of Environmental Science (Çevre Bilimleri Merkezi)
CV(RMSE)	: Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error (Ortalama Karekök Hatasının Değişim Katsayısı)
DGNB	: Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (Alman Sürdürülebilir Bina Derneği)
EN	: Europeane Norm (Avrupa Standartları)
EP	: Eutrophication Potential (Ötrofikasyon Potansiyeli)
EPD	: Enviromental Product Declaration (Çevresel Ürün Beyanı)
EPS	: Expanded Polystyren (Expande Polistiren)
EPW	: EnergyPlus Weather Data File (EnergyPlus Hava Durumu Veri Dosyası)
FEMP	: Federal Energy Management Program (Federal Enerji Yönetimi Programı)
G.	: Genleştirilmiş
GWP	: Global Warming Potential (Küresel Isınma Potansiyeli)
HVAC	: Heating, Ventilation and Air Conditioning (Isıtma, Havalandırma, İklimlendirme Sistemi)
IPMVP	: International Performance Measurement and Verification Protocol (Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü)
ISO	: International Organization for Standardization (Uluslararası Standartlar Organizasyonu)
K.	: Kaplama
KDV	: Katma Değer Vergisi

L.	: Levha
LCA	: Life Cycle Assessment (Yaşam döngüsü Değerlendirmesi)
LEED	: Leadership in Energy and Environmental Design (Enerji ve Çevre Dostu Tasarımda Liderlik)
LOW-E	: Low Emissivity (Düşük Emisyonlu)
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
NMBE	: Normalized Mean Bias Error (Normalleştirilmiş Ortalama Sapma Hatası)
ODP	: Ozone Depletion Potential (Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli)
PIR	: Polyisocyanurate Foam (Poliizosiyanürat Köpük)
POCP	: Photochemical Ozone Creation Potential (Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli)
PUR	: Polyurethane Foam (Poliüretan Köpük)
PVC	: Polyvinyl Chloride (Polivinil Klorür)
R-DEĞERİ:	Isı Geçirme Direnci
SETAC	: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği)
TS	: Türk Standartları
TRACI	: Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts (Kimyasal ve Diğer Çevresel Etkilerin Azaltılması ve Değerlendirilmesi Aracı)
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
U-DEĞERİ:	Isı Geçirme Katsayısı
UNEP	: United Nations Environment Programme (Birleşmiş Milletler Çevre Programı)
VIP	: Vacuum Insulated Panel (Vakumlu Yalıtım Paneli)
VRF	: Variable Refrigerant Flow (Değişken Debili Soğutucu Akışkan)
XPS	: Extruded Polystyrene (Ekstrüde Polistiren)
YDD	: Yaşam Döngüsü Değerlendirme
YDEA	: Yaşam Döngüsü Envanter Analizi
YDED	: Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi
YDY	: Yaşam Döngüsü Yorumlaması

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya genelinde teknolojik gelişmeler, nüfusun artması ve yaşam biçiminin değişmesiyle birlikte enerji tüketimi her geçen gün artmaktadır. Artan tüketimin büyük bir kısmı fosil kaynaklardan karşılanmakta ve fosil kaynakların kullanımı, atmosferdeki sera gazı emisyonlarının artması sonucu küresel ısınma, iklim değişikliği gibi olumsuz durumların ve çevre kirliliğinin de artmasına neden olmaktadır (Yazıcıoğlu, 2012).

Yapı sektörü toplam enerji tüketiminin önemli bir kısmının sorumlusu olarak görülmektedir. Dünya genelinde kullanılan enerjinin ve suyun önemli bir bölümü, yapıların yapım ve kullanım aşamalarında tüketilmektedir. Doğal kaynakların önemli bir kısmı da, yapı sektöründe kullanılmakta olup bu durum ekolojik dengenin bozulmasına, insan sağlığının tehdidine yol açmaktadır. Ek olarak küresel ısınmaya neden olan sera gazlarının ve hava kirliliğinin önemli kısmı yapılara ilişkin faaliyetler sonucu oluşmaktadır. Bu nedenle yapı sektöründe enerji tüketiminin düşürülmesi, fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artırılması, yapı sektörünün neden olduğu küresel ısınma, su kirliliği, hava kirliliği gibi çevresel zararların azaltılabilmesine yönelik stratejilerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu bağlamda yapı sektöründe sürdürülebilir mimarlık kavramı önemlidir. Sürdürülebilir mimarlık ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı, enerjinin, malzemenin ve suyun etkin kullanıldığı, çevresel etkilerin en aza düşürüldüğü, insan sağlığının korunduğu yapıların üretilmesi amaçlanmaktadır (Yetkin, 2019).

Yapıların sürdürülebilir mimarlık kapsamında değerlendirilirken bütünlük olarak ele alınması oldukça önemlidir. Yapıların enerji tüketimlerinin ve çevresel etkilerinin bir arada düşürülmesi ancak bütünlük bir değerlendirme ile mümkün olabilmektedir.

Yeni yapıların enerji performansını artırmaya yönelik çalışmalarda, çevresel etkilerinin de azaltılması gerekliliği mevcut yapılar için de önemlidir.

Sürdürülebilir mimarlık kavramının kapsamı oldukça geniştir. Bu kavram sürdürülebilir mimarlık ilkeleri çerçevesinde oluşturulmuş olan, yapıların enerji tüketimini düşürmeye yönelik; enerji etkin yapı, düşük enerjili yapı ve pasif ev gibi kavram ve uygulamaları kapsarken, yapıların çevreye verdikleri zararların azaltılıp çevre dostu yapılar oluşturmaya yönelik; ekolojik mimari, çevresel etki değerlendirmesi gibi kavram ve uygulamaları kapsamaktadır. Pasif Ev Standardı; enerji verimli, düşük kullanım maliyetli ve konforlu bir yapı standardıdır. Pasif evler, ısı geçirme direnci yüksek bir yapı kabuğu ile ısıyı iç mekânda tutabilen, yüksek oranda enerji tasarrufu sağlayan, standart yapılara göre çok daha düşük enerji tüketen yapılardır. Bu yapılarda yaşam konfor seviyesini artırmak amacıyla yüksek değerlerde yalıtım uygulamaları yapılmaktadır (Şengezer, 2011).

Sürdürülebilir mimarlık ilkeleri bağlamında, yapıların çevresel etkilerinin düşürülerek, çevre dostu yapıların üretilmesini sağlamaya yönelik ortaya çıkarılan kavramlardan olan çevresel etki değerlendirmesi ise; yapıların ve yapı malzemelerinin çevresel performans özelliklerinin tespit edilmesidir. Çevresel etki değerlendirmesi için yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kullanılmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, yapıların ve malzemelerin yaşam döngüleri boyunca neden oldukları çevresel etkilerin döngüsel bir süreçte değerlendirilmesidir. Yapıların ve malzemelerin yaşam döngülerini; hammaddenin edinimi, malzemenin üretimi, taşınması, uygulaması, kullanımı, bakım-onarımı, yıkımı, geri dönüşümü ya da yok edilmesi süreçleri oluşturmaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirmenin amacı, yapıların ve yapı malzemelerinin çevresel zararlarını belirlemek ve azaltmak, doğal çevreye en düşük oranda zarar veren malzemelerin seçilmesini sağlamaktır (Taygun, 2005).

Yapılardaki enerji tüketimi önemli ölçüde yapı kabuğunun özellikleri ile bağlantılıdır. Yapıların enerji performansının artırılmasında, yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtımı malzemeleri oldukça önemli bir faktördür. Yapılardaki toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümü, yapılarda ısı yalıtımı kullanım durumu ile ilgilidir. Bu nedenle ısı

yalıtımı malzemelerinin kullanımı yapılardaki enerji tüketimini düşürmenin en iyi yollarındandır (Eren, 2019).

Pasif evlerde enerji korunumunu sağlamak amacıyla, yapı kabuğunda yüksek kalınlıkta ısı yalıtımı uygulamaları yapılmaktadır. Isı yalıtım malzemeleri, yapıların kullanım aşamalarında enerji ihtiyacının ve yakıt tüketiminin düşürülmesinde ve buna bağlı olarak da yapıların kullanım aşamasındaki çevresel etkilerinin azaltılmasında oldukça önemlidir. Bu duruma ek olarak, ısı yalıtım malzemelerinin de üretim aşamalarında ve sonrasında çevresel etkilere neden olduğu unutulmamalıdır. Özellikle yüksek kalınlıklarda uygulanan ısı yalıtım malzemelerinin seçiminde çevresel etkilerinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

Bu bağlamda tez çalışmasının amaçları şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Karabük Demir Çelik Fabrikaları'nda çalışacak işçiler için hazırlanmış Yenişehir işçi konutlarının ada bazında sosyal ve kültürel sürdürülebilirliğini sağlamak amacıyla, adada yerleşik bu konutların Pasif Ev EnerPHit Standardı kapsamında bütünleşik olarak (enerji tüketimi ve çevresel etkilerinin) iyileştirilmesi,
- Enerji iyileştirmesi için önerilecek olan ısı yalıtım malzemelerinin yapının kabuk özelliklerine bağlı olarak çevresel etki değerlerinin belirlenerek en düşük çevresel etki değerine sahip yalıtım malzemesi seçimine karar verilmesi,
- İyileştirmeler için önerilen yalıtım malzemelerinin maliyetleri de esas alınarak bu konutlar için optimum yalıtım malzemesi türünün tespit edilmesi.

Yukarıda sayılan amaçlar sayesinde adada yer alan tüm işçi konutlarının bütünleşik olarak iyileştirilebilmesi hedeflenmiştir.

Çalışma kapsamında mevcut yapıların enerji performansını artırmaya yönelik oluşturulan iyileştirme önerilerinde doğal, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtım malzemeleri kategorilerinden farklı yalıtım malzemeleri seçilerek, seçilen yalıtım malzemelerinin çevresel etki değerlendirmesi üzerinde durulmuştur. Bu bağlamda tezin hipotezini "Enerji iyileştirmelerinde doğal ısı yalıtım malzemelerinin çevresel

etkileri, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel etkilerinden daha düşüktür” şeklinde kurgulamak mümkündür.

Tezin alan çalışmasını oluşturan mevcut yapılar 1940’lı yıllarda inşa edilen, yapıldıkları dönem ve kullanılan yapı malzemeleri itibariyle iyileştirilmeye ihtiyaç duyan Yenişehir işçi konutları adası olarak seçilmiştir. Bu konutlar Karabük Demir Çelik Fabrikası’nın çalışanları için inşa edilmeleri, o günün şartlarına göre modern ve planlı olarak tasarlanmaları, 3. Derece doğal sit ve kentsel sit alanı içerisinde yer almaları gibi nedenlerden dolayı Karabük için oldukça önemli ve korunması gereken yapılardır. Bu yapılar korunurken içerisinde yaşayan insanların konfor koşulları ve yapıların enerji tüketimleri gibi unsurların da düşünülerek iyileştirilmeleri gerekmektedir.

Bu çalışma kapsamında ilk olarak, Yenişehir işçi konutlarına ait yapı kabuğu elemanlarının özellikleri belirlenmiş ve bu konutlar simüle edilerek mevcut durumdaki enerji performansları tespit edilmiştir. Elde edilen veriler değerlendirilerek, işçi konutlarının yapı kabuğu ısı geçirme dirençlerinin ve enerji performanslarının düşük olduğu saptanmıştır. İşçi konutlarını iyileştirebilmek için, mevcut yapıların enerji performansını yükseltmeye yönelik geliştirilen EnerPHit Standardı kapsamında öneriler oluşturulmuştur. Bu önerilerde yapı kabuğu elemanlarının ısı yalıtımı malzemeleri ile (farklı yalıtım kalınlıklarında ve aynı kabuk U değerinde olmak üzere) iyileştirilerek, yapıların enerji performansının artırılması sağlanmıştır. Isı yalıtım malzemeleri ile kabuğun ihtiyaç duyduğu ısı geçirme katsayısı (U_{duvar}) belirlenmiş ve dinamik tabanlı bir simülasyon programı ile EnerPHit Standardına uygun hale getirilmiştir. İşçi konutlarının bütünsel olarak iyileştirilebilmesi için enerji performansı iyileştirmelerinin, çevreye etkisinin en az düzeyde olmasına önem verilmiştir. Bu bağlamda iyileştirme önerilerinde yapı kabuğunun güçlendirmesi amacıyla kullanılan doğal, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımı kategorilerinden seçilen yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etkileri ve maliyet analizleri çıkarılmıştır. Bu sayede düşük enerjili, çevre dostu ve ekonomik iyileştirme önerileri sunulabilmiştir.

Bu tez çalışması toplam beş bölümden oluşmaktadır. Giriş bölümü birinci bölüm olup ikinci bölümde, enerji ve çevre sorunlarına değinilmiş, yapılardan kaynaklı enerji ve çevre sorunlarının azaltılabilmesine yönelik ortaya çıkarılan sürdürülebilir mimarlık kavramından bahsedilmiştir. Sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütünleşik enerji etkin yapı tasarımı ve parametreleri incelenmiştir. Pasif Ev ve EnerPHit Standardı detaylı olarak ele alınmış ve standartların gerektirdiği kriterler tablolar şeklinde sunulmuştur. Yapı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve yaşam döngüsü değerlendirme konuları ele alınarak yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları incelenmiştir. Son olarak da ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesiyle ilgili bilgilere yer verilmiştir.

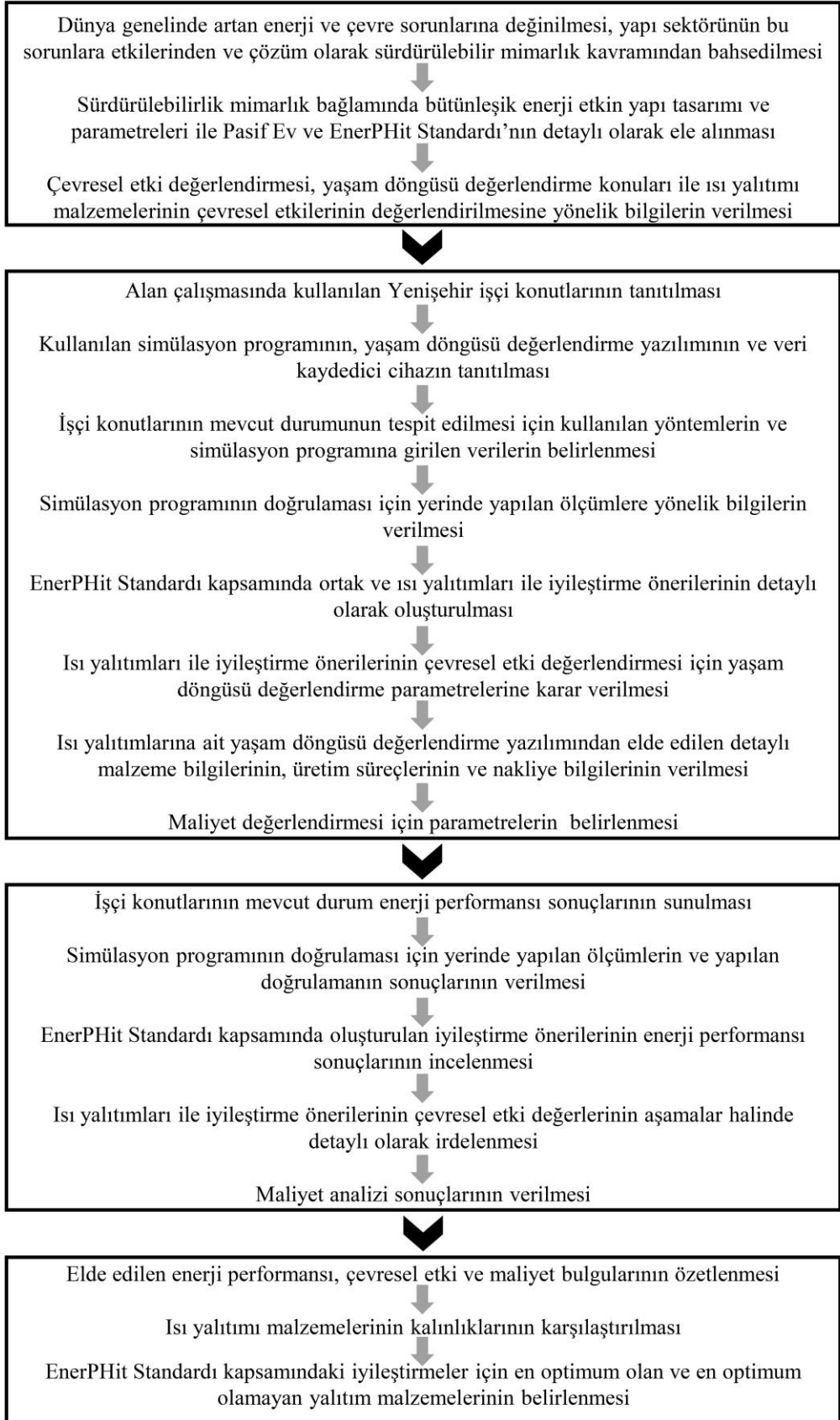
Tez çalışmasının üçüncü bölümünde alan çalışması için seçilen Yenişehir işçi konutlarının özellikleri detaylı olarak incelenmiş, yapılara ait mimari çizimler ve yapı elamanlarının malzeme katmanları verilmiştir. Tez çalışması kapsamında kullanılan DesignBuilder simülasyon programı ve One Click LCA yaşam döngüsü değerlendirme yazılımı hakkında bilgiler ile veri kaydedici cihazın teknik özellikleri sunulmuştur. İşçi konutlarının mevcut durum tespiti için kullanılan yöntemler ve simülasyon programına girilen veriler, simülasyon programının doğrulaması için yerinde yapılan ölçümlere yönelik bilgiler ve doğrulama yöntemi irdelenmiştir. EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan ortak ve ısı yalıtımları ile iyileştirme önerileri, önerilerde kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlıkları ve bu önerilere bağlı olarak yapılarda öngörülen değişiklikler detaylı olarak ele alınmıştır. Ayrıca iyileştirme önerilerinde kullanılan ısı yalıtımı malzemelerine ait One Click LCA yaşam döngüsü değerlendirme yazılımından elde edilen detaylı malzeme bilgileri ve üretim süreçleri ile ısı yalıtım malzemelerinin tedarik edildiği firmalar, tedarik edildiği mesafeler ve maliyet değerlendirme yöntemine yönelik bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın dördüncü bölümünde işçi konutlarının mevcut durumdaki enerji tüketim değerleri, simülasyon programının doğrulaması için yerinde yapılan ölçümlerin ve yapılan doğrulamanın sonuçları grafik ve tablolarla görselleştirilerek sunulmuştur. EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji performans sonuçları verilmiştir. Isı yalıtımları ile iyileştirme önerilerinin çevresel etki değerleri, etki değerlendirme metoduna bağlı olarak küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeleri,

asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal ozon oluşumu, fosil kaynaklar için abiyotik tükenme ve biyojenik karbon depolama potansiyeli kategorilerinde detaylı olarak irdelenmiştir. Çevresel etki değerleri, A1-A3 üretim aşamaları ile A4 taşıma aşaması bazında grafik ve tablolarla görselleştirilerek ele alınmıştır. Maliyet analizi sonuçları da grafik ve tablolarla bu bölümde verilmiştir.

Çalışmanın beşinci bölümü olan sonuç bölümünde ise işçi konutlarının mevcut durum ve EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji performanslarına ait bulgular ile ısı yalıtımlarının çevresel etkileri ve maliyetlerine ait bulgular özetlenerek sunulmuştur. Isı yalıtım malzemelerinin kalınlıkları açısından karşılaştırılmalarına yer verilmiş ve çevresel etki ve maliyetlerine göre değerlendirilmesi yapılarak hem çevresel etki hem de maliyet açısından bu konutların iyileştirilmesi için önerilebilecek yalıtım malzemesi belirlenmiştir. Ayrıca tez çalışmasına devam niteliğinde gelecekte yapılabilecek çalışmalara yönelik öneriler sunulmuştur.

Tez çalışmasına ait tez akış şeması Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Tez akış şeması.

BÖLÜM 2

SÜRDÜRÜLEBİLİR MİMARLIK BAĞLAMINDA ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI VE YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

20. yüzyılın başlarından itibaren, değişen yaşam standartlarına, artan nüfusa, gelişen sanayi ve teknolojiye bağlı olarak her geçen gün enerji talebi artmakta ve artan bu enerji talebini karşılamaya yönelik geliştirilen stratejiler birçok çevre sorununa neden olmaktadır. Dünyanın birçok yerindeki çevre sorunlarının temelinde kaynak tüketimi ile doğal çevre arasında olan dengesizlik bulunmaktadır. Enerji talebinin fosil yakıtlar gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarından karşılanması, küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, biyoçeşitliliğin azalması ve iklim değişikliği gibi birçok çevre sorununa neden olmaktadır. Ayrıcı kullanımına bağlı olarak, yenilenemeyen enerji kaynaklarının stokları hızla tükenmekte ve yakın zamanda tamamen yok olma olasılıkları bulunmaktadır.

Dünya’da birincil enerji talebini karşılamak için kullanılan kaynakların büyük bir kısmını yenilenemeyen enerji kaynakları oluşturmaktadır. 2010 yılında Dünya’daki toplam birincil enerji talebinin %32’sini petrol, %27’sini kömür, %22’sini doğal gaz, %6’sını nükleer enerji, %2’sini hidrolik enerji ve %11’ini biyoyakıt, rüzgâr, jeotermal ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları karşılamıştır. Türkiye’nin 2011 yılındaki toplam birincil enerji talebinin %32’sini doğal gaz, %29’unu kömür, %27’sini petrol, %4’ünü hidrolik enerji, %3’ünü odun, hayvan ve bitki artıkları ve %3’ünü ise jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynakları karşılamıştır (Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, 2012).

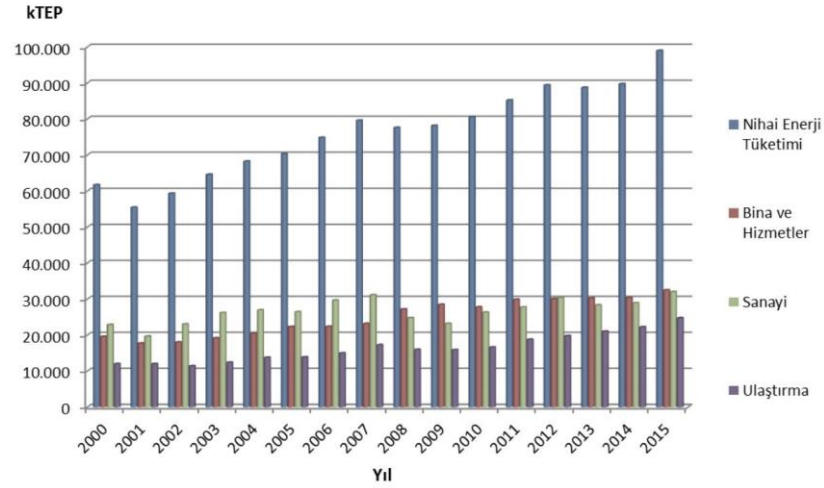
Ülkelerin enerji tüketimlerinin artmasıyla birlikte, enerjiyle ilgili emisyonların toplam sera gazı emisyonlarındaki payı da artmaktadır. Küresel ısınmaya neden olan sera gazı salımlarının oldukça büyük bir kısmı, enerji kaynağı olarak fosil tabanlı yakıtların kullanımını sonucu oluşmaktadır. 2015 yılında küresel sera gazlarının %70’i fosil tabanlı

enerji kaynaklarının kullanılmasıyla meydana gelmiştir. Enerji kaynaklı atmosfere salımı gerçekleşen sera gazlarının %90'ı karbondioksit, %9'u metan ve %1'i azot oksitlerdir (International Energy Agency, 2019).

Dünya'da tüketilen enerjinin ve atmosfere salımı gerçekleşen sera gazı emisyonlarının önemli bir kısmından yapı sektörü sorumlu tutulmaktadır. Yapı sektörü küresel çapta toplam enerji tüketiminin %36'sını ve enerji tüketimi ile ilişkili karbondioksit (CO₂) emisyonlarının %39'unu oluşturmaktadır. 2015 yılında yapılardaki toplam enerji tüketiminin %82'si fosil yakıtların kaynak olarak kullanılmasıyla sağlanmıştır (UN Environment and International Energy Agency, 2017). Konut sektörü, küresel olarak toplam enerji tüketiminin %32'sini, küresel elektrik tüketiminin ise %51'ini oluşturmaktadır (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2014). Avrupa Komisyonu'na göre yapılar, Avrupa Birliği enerji tüketiminin yaklaşık %40'ından, sera gazı emisyonlarının ise %36'sından sorumlu tutulmaktadır (European Commission, 2021).

Türkiye'de nüfus artışı, hizmet sektörünün gelişmesi ve sanayileşmenin artması gibi nedenlere bağlı olarak enerji tüketimi gelişmiş ülkelere oranla daha hızlı artış göstermektedir. 2015 yılında birincil enerji tüketimi 129,7 MTEP olup, 2005'ten 2015'e kadar %46 oranında artmıştır. Türkiye'de birincil enerji talebi için ithal edilen enerji kaynaklarının oranı 2015 yılında %75,9 olup, enerji konusunda dışa bağımlılığı yüksek ülkeler arasında bulunmaktadır (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, 2017).

Türkiye'de yapı sektörü son zamanlarda hızla gelişmektedir. Yapı sektörünün enerji tüketimi 2000 yılında 19,5 MTEP iken 2015 yılında %66 artarak 32,4 MTEP değerine ulaşmıştır. Yapı sektöründe yıllık ortalama %4,4 enerji talebi artışı gerçekleşmektedir. 2015 yılında sektörün enerji tüketimi içerisindeki payı %32,8 değerine ulaşarak sanayi sektörünün de önüne geçmiştir. Benzer şekilde yapı sektörünün 2000 yılında elektrik tüketimindeki payı %47,4 değerinde iken 2015 yılında elektrik tüketimindeki payı %49,9 değerine ulaşarak sanayi sektörünün önüne geçmiş ve en yüksek elektrik tüketim oranına sahip olmuştur (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, 2017).



Şekil 2.1. Türkiye’de sektörel enerji tüketimlerinin yıllara göre değişimi (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, 2017).

2020 yılında Türkiye’de, enerji tüketiminde en fazla paya mesken ve hizmetler sektörü sahip olup, bunu sanayi sektörü, ulaştırma sektörü ve tarım-hayvancılık sektörü takip etmiştir. Aynı yıl Avrupa Birliği ülkelerinde ise enerji tüketiminde en fazla paya konut ve hizmetler sektörü sahip olup, bunu ulaştırma sektörü, sanayi sektörü ve tarım-hayvancılık sektörü takip etmiştir (Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 2023).

Türkiye İstatistik Kurumu’na (TÜİK) göre, 2017 yılı itibarıyla Türkiye’de yaklaşık %87’si konut işlevli yapılar olmak üzere 9,1 milyon adet yapı bulunmaktadır. Yapı kullanma izni istatistiklerine göre her yıl 100.000’den fazla yeni yapı Türkiye’nin yapı stokuna eklenmektedir. Bu istatistiklerden de anlaşılacağı üzere Türkiye hızla büyüyen ve dönüşen bir yapı stokuna sahiptir. Bu kapsamda yeni yapılacak olan yapıların verimliliğinin artırılması ve mevcut yapıların iyileştirilmesi ile önemli miktarda enerji tasarrufu sağlamak mümkündür (Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı, 2017).

Dünya’da ve ülkemizde enerji talebinin gün geçtikçe artması, artan enerji talebinin büyük bölümünün fosil kaynaklardan karşılanması, fosil kaynakların kullanımı sonucu oluşan sera gazları ve diğer gözle görülür çevresel sorunlar, doğal kaynakların hızla tükenmesi gibi olumsuzluklar insanları bu konular üzerine düşünmeye ve çalışmalar yapmaya yönlendirmiştir. Bu bağlamda, insanların enerji korunumu, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları, çevre sorunları, çevre bilinci gibi konular üzerine çalışmaları sonucu sürdürülebilirlik kavramı ortaya çıkmıştır.

Dünya’da ve ülkemizde yapı sektörünün toplam enerji tüketimi içerisindeki payı oldukça fazladır. Yapı sektöründe tüketilen enerjinin azaltılabilmesi, yapı sektöründen kaynaklı sera gazı salımları, su kirliliği, hava kirliliği gibi sektörün çevreye verdiği zararların azaltılabilmesi amacıyla yapı sektöründe yeni arayışlar içerisine girilmiştir. Bu bağlamda yapıların enerji verimliliğinin artırılarak enerji tüketiminin azaltılması, çevresel etkilerinin azaltılarak çevre dostu yapıların oluşturulması gibi düşünceler sürdürülebilir mimarlık kavramı ortaya çıkarmıştır.

Sürdürülebilirlik kavramı oldukça geniş bir kapsama sahip olduğu için, bu bağlamda gerçekleştirilen çalışma ve uygulamalar farklı ölçeklerde, farklı konseptlerde ve farklı kavramlarla ortaya çıkmaktadır. Sürdürülebilir mimarlık kapsamında oluşturulan yapı tasarım ilkelerinden bir veya birden fazla kavram öne çıkabilmektedir. Sürdürülebilir mimarlık ilkeleri kapsamında tasarlanmış olmalarına rağmen bu ilkelere bir veya birden fazlasına odaklanılarak oluşturulmuş projeler enerji etkin yapı tasarımı, çevresel etki değerlendirilmesi, ekolojik tasarım ve çevreci-doğaya uyumlu yapı tasarımı gibi kavramları ortaya çıkarmıştır (Dikmen, 2011).

Sürdürülebilir mimarlık kavramı, enerji bağlamında; enerji etkin yapı, pasif enerjili yapı, sıfır enerjili yapı tasarımı gibi kavramları ve çevreyle uyumu sağlaması bağlamında; ekolojik mimari, çevresel etki değerlendirilmesi, geri dönüşümlü malzeme kullanımı gibi kavramları içeren genel bir başlıktır (Öztürk, 2013). Bölüm 2.1 ve Bölüm 2.2’de sürdürülebilir mimarlık kapsamında enerji etkin yapı tasarımı ile yapı malzemelerinin çevresel etki değerlendirilmesi konuları detaylı olarak incelenmiştir.

2.1. ENERJİ ETKİN YAPI TASARIMI

Dünya genelinde tüketilen toplam enerjide yapı sektörünün önemli bir payının bulunması, yapıların enerji etkin olarak tasarlanmasını gerektirmektedir. Enerji etkin yapı tasarımı; iklim özellikleri, yönlenme, hâkim rüzgâr, yere özgü koşullar gibi fiziksel çevre verilerine uygun olan, yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmayı amaçlayan, enerji kaynaklarına bağımlılığın olabildiğince azaltıldığı, enerji kaynaklarının en verimli ve etkin şekilde kullanıldığı ve çevresel kaynaklardan en üst

düzeyde yararlanan tasarım anlayışı olarak tanımlanabilmektedir (Tokuç 2004; Kantaroğlu, 2011).

Enerji etkin yapı tasarımı, aktif ve pasif tasarım parametrelerinin kullanılmasıyla, ısıtma, soğutma, havalandırma ve doğal aydınlatma performansının artırılmasını ve bunlara bağlı olarak da enerji talebinin düşürülerek enerjiden tasarruf edilmesini sağlamaktadır (Utkutuğ, 1999). Enerji etkin yapı kavramı, ekosisteme duyarlı olarak, yapıların yaşam döngüsü evrelerinin tümünde, yapılara ait girdi ve çıktıların doğal çevreyle uyumlu olmasını, atık üretiminin en az olduğu malzemelerin kullanımını ve oluşan atık maddelerin çevreye en az zararı vermesini sağlamaktadır (Çetin, 2010).

2.1.1. Enerji Etkin Yapı Tasarım Parametreleri

Enerji etkin yapı tasarım parametreleri; kullanıcıya ilişkin, doğal çevreye ilişkin ve yapıya ilişkin parametreler olmak üzere üç ana başlık altında incelebilmektedir. Bu parametreler Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1. Enerji etkin yapı tasarım parametreleri.

Kullanıcıya İlişkin Parametreler	Doğal Çevreye İlişkin Parametreler	Yapıya İlişkin Parametreler
<ul style="list-style-type: none">• Kullanıcı Niteliği ve Durumuna İlişkin Parametreler• Fizyolojik Parametreler	<ul style="list-style-type: none">• İklim Verileri• Topoğrafya• Bitki Örtüsü	<ul style="list-style-type: none">• Yapının Konumu• Yapı Aralıkları ve Yükseklikleri• Yapının Yönlenmesi• Yapının Formu• Yapının Mekân Organizasyonu• Yapılarda Günışığı ve Doğal Aydınlatma• Yapı Kabuğunun Optik ve Termofiziksel Özellikleri

Enerji etkin yapı tasarımı için yapının kullanım şekli oldukça önemlidir. Kullanıcıların yoğunluğu ve özelliklerine bağlı olarak mekânların ısı konforu değişiklik göstermektedir (Tunalı, 2012). Bu duruma bağlı olarak da yapının ısıtma-soğutma ve enerji talebi etkilenmektedir. Kullanıcıya ilişkin olan parametrelerin başlıcaları; kullanıcı niteliği ve durumuna ilişkin parametreler ile fizyolojik parametreler olarak sıralanabilmektedir.

Enerji etkin yapı tasarımı için yapının inşa edileceği doğal çevre koşullarına göre tasarlanması oldukça önemlidir. Enerji etkinliği açısından yapılar doğal çevreye ait negatif faktörlerden korunmaya ve pozitif faktörlerden faydalanmaya yönelik tasarlanmalıdır (Sarıbaş Gürol, 2023). Doğal çevreye ilişkin olan parametrelerin başlıcaları; iklim verileri, topoğrafya ve bitki örtüsü olarak sıralanabilmektedir.

Enerji etkin yapı tasarımı için yapıya ilişkin olan parametreler tasarımcı kontrolünde olup yapı tasarlanırken bu parametrelere dikkat edilmesi gerekmektedir. Bu parametrelerin yapıya yansıtılması ile yapay ısıtma, soğutma ve aydınlatma talepleri düşürülerek pasif iklimlendirme sağlanabilmektedir (İmik, 2017). Bu sayede yapının enerji talebi düşürülerek enerji tasarrufu yapılabilmektedir. Yapıya ilişkin olan parametrelerin başlıcaları; yapının konumu, yapı aralıkları ve yükseklikleri, yapının yönlenmesi, yapının formu, yapının mekân organizasyonu, yapılarda günışığı ve doğal aydınlatma ile yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri olarak sıralanabilmektedir. Bu çalışma kapsamında yapıya ilişkin parametrelerden olan yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri parametresi detaylı olarak açıklanmıştır.

Yapı kabuğu duvar, pencere, kapı, zemin, tavan gibi yapı elemanlarından oluşan, yapının iç mekânlarını dış ortamdan ayıran, yapının iç iklim koşulları ile dış iklim koşulları arasındaki ısı, ışık ve hava ilişkisini belirleyen en önemli yapı elemanlarının tümüdür (Efe, 2009). Yapı kabuğu, yapı kullanıcıları için güvenlik, konfor ve ekonomiklik sağlarken, optik ve termofiziksel özellikleri ile de yapının enerji tüketiminin belirleyicisidir (Yüksek, 2008).

Yapı kabuğu sahip olduğu optik ve termofiziksel özellikleri ile güneş ışınımı ve dış hava sıcaklığına bağlı olarak kabuğun birim alanından kazanılan ve kaybedilen ısı

miktarını belirlemektedir. Yapı kabuğundan kazanılan ve kaybedilen toplam ısı miktarına göre yapının iç iklimsel koşulları ile yapay iklimlendirme talepleri değişmekte olup bunlara bağlı olarak da enerji tüketimi değişmektedir. Dolayısıyla yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri yapının iç iklimsel koşullarını ve yapay iklimlendirme taleplerini belirlemektedir (Özdemir, 2005).

Yapı kabuğunu oluşturan elemanların ısı geçirgenlik özellikleri, pencerelerin oranı ve konumlandırılması, doğrama özellikleri, kullanılan camların yansıtıcılık ve renk özellikleri, kabuğun hava sızdırmazlık seviyesi gibi parametreler yapıların enerji etkinliği açısından oldukça önemli girdilerdir. Yapılarda pasif iklimlendirme için yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri oldukça önemlidir. Kabuğun optik ve termofiziksel özelliklerine bağlı olarak iç-dış hava sıcaklığı farkından dolayı yapı kabuğunun birim alanından gerçekleşen ısı transferi miktarı belirlenmektedir. Bu miktara bağlı olarak da yapının iç iklim koşulları, yapay ısıtma ve iklimlendirme talepleri farklılık göstermektedir (Soysal, 2008).

Yapı kabuğunun termofiziksel özelliklerini; toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri), saydamlık oranı, genlik küçültme faktörü, zaman gecikmesi ve sönüm oranı belirlerken, optik özelliklerini; kabuk iç ve dış yüzeyinin geçirgenliği, yutuculuğu ve yansıtıcılığı belirlemektedir (Soysal, 2008).

Toplam ısı geçirme katsayısı (U değeri); Kabuğu oluşturan opak ve saydam bileşenlerin termofiziksel özelliklerinden olan ısı geçirme katsayısı (U değeri), iç ve dış mekân arasındaki hava sıcaklık farkı 1 Kelvin olduğunda bileşenin birim alanından birim zamanda gerçekleşen ısı geçişi miktarını ifade etmektedir (Karakoç, 2001). Yapı kabuğunun ısı geçirme katsayısının düşürülmesi kabuktan geçen ısı miktarını azaltmakta, kabuğun ısı geçirme direncini artırmaktadır. Bu sayede iç hava sıcaklığı korunarak ısıtma-soğutma talepleri düşürülmekte ve enerjiden tasarruf edilmesi sağlanmaktadır (Soysal, 2008). Bu sebeple yapı kabuğunda kullanılan yapı malzemelerinin termofiziksel özellikleri yapının enerji performansının belirlenmesi açısından oldukça etkili parametrelerdendir (Umaroğulları vd., 2011).

Yapı kabuğu sahip olduğu ısı geçirme direnci (R değeri) ile doğru orantılı olarak ısı geçişini azaltmaktadır. Yapı kabuğunun geçirdiği ısı miktarı ise ısıl direncin aritmetik tersi olan ısı geçirme katsayısı (U değeri) ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Yapı kabuğunun ısı geçirme katsayısını (U değeri) ve ısı geçirme direncini (R değeri) hesaplamak için kullanılan denklemler Eşitlik 2.1, Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3'te verilmiştir.

$$R \text{ (ısı geçirme direnci) (m}^2\text{K/W)} = \frac{d \text{ (kalınlık) (m)}}{\lambda \text{ (ısı iletkenlik katsayısı) (W/mK)}} \quad (2.1)$$

$$U \text{ (ısı geçirme katsayısı) (W/m}^2\text{K)} = \frac{\lambda \text{ (ısı iletkenlik katsayısı) (W/mK)}}{d \text{ (kalınlık) (m)}} \quad (2.2)$$

Isı geçirme direnci olan R (m²K/W), malzemelerin kalınlık (d) değerlerinin ısı iletkenlik katsayısına (λ) bölünmesiyle bulunmaktadır. Isı geçirme katsayısı olan U değeri (W/m²K) ısı geçirme direnci olan R değerinin (m²K/W) aritmetik olarak tersidir. Yani ısı geçirme katsayısı U (W/m²K), malzemelerin ısı iletkenlik katsayısının (λ) kalınlığa (d) bölünmesiyle bulunmaktadır. Yapı kabuğu ısı geçirme direnci (R) ile doğru orantılı olarak ısı geçişini azaltmakta, geçirdiği ısı miktarı ise ısı geçirme katsayısı (U) ile doğru orantılı olarak artmaktadır.

$$\Sigma R = R_{dış} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{iç} \quad (2.3)$$

Yapı kabuğu bileşenlerinin sınırladığı iki farklı sıcaklığa sahip ortam arasında ısı akışı kondüksiyon ve konveksiyon yolu ile olmaktadır. Havadan konveksiyon yoluyla yapı kabuğu yüzeyine geçen ısı kabuk katmanları arasında kondüksiyon yoluyla ilerledikten sonra yapı kabuğunun diğer yüzeyine geçmekte ve oradan da yine konveksiyon yoluyla havaya geçmektedir. Çok katmanlı opak kabuk bileşeninde, dış ortamdaki iç ortama ve tersi yönde kondüksiyon ve konveksiyon ile ısı geçişinde ısı geçirme direnci (R), tüm katman dirençleri ile dış (R_{dış}) ve iç (R_{iç}) ortamın ısı geçirme dirençlerinin toplanması ile bulunmaktadır. R_{dış} ve R_{iç}, dış ve iç ortamın ısı geçirme direncini göstermektedir.

Saydamlık oranı; Yapı kabuğundaki camlı alanların toplam kabuk alanına oranını ifade etmektedir. Yapı kabuğundaki saydam alanların doğru tasarlanması ile ısıtma ve aydınlatma için güneş enerjisinden yararlanılabilmektedir. Saydam bileşenlerin opak bileşenlere oranla ısı geçirme dirençleri daha az olduğu için doğru tasarlanmamaları durumunda yüksek oranda ısı kaybedilmesine sebep olabilmektedir. İklim koşullarına göre ısı kazancı-kaybı ve aydınlatma faktörleri göz önüne alınarak kabuğun saydamlık oranı belirlenmelidir (Soysal, 2008).

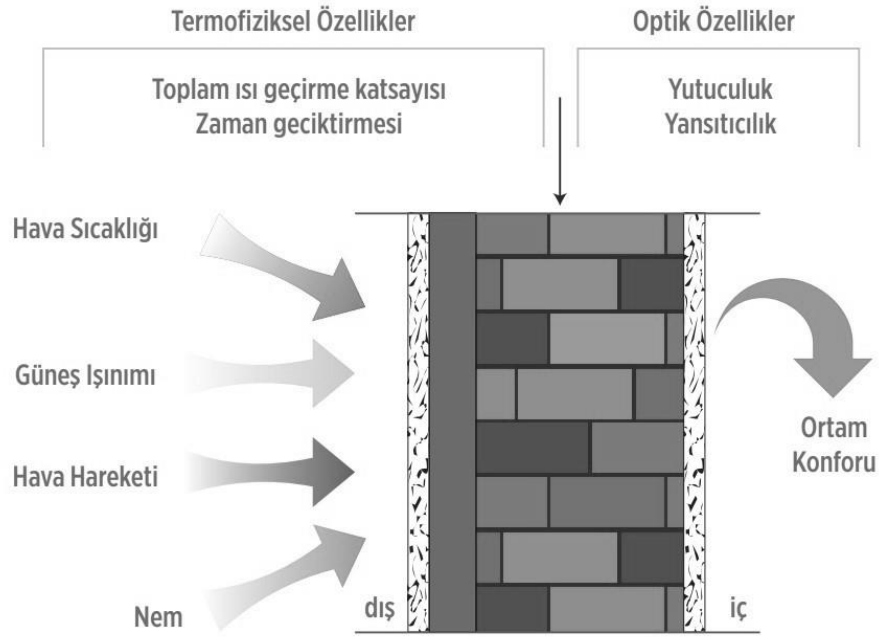
Genlik küçültme faktörü; Yapı kabuğu elemanlarına ait gün içerisinde, iç yüzeyde ölçülen en yüksek sıcaklık ile ortalama iç yüzey sıcaklıkları farkının, dış yüzeyde ölçülen en yüksek sıcaklık ile ortalama dış yüzey sıcaklıkları farkına oranı olarak tanımlanmaktadır (Kocaaslan,1991). Yapı dış ortamındaki sıcaklık değişimi, kabuğu oluşturan elemanların ısı depolama özellikleri ile doğru orantılı olarak ısı akışını yavaşlatmakta ve sıcaklık salınımlarının genliğini düşürmektedir (Soysal, 2008).

Zaman gecikmesi; Gün içerisinde yapı kabuğunun dış yüzeyinde ölçülen en yüksek sıcaklık değerinin, yapı kabuğunun iç yüzeyindeki en yüksek sıcaklık değerini oluşturuncaya kadar geçen süre olarak ifade edilmektedir. Zaman gecikmesi faktörü kabuğun ısı kütlesi özelliklerine göre farklılık göstermektedir (Soysal, 2008). Yapı kabuğunun genlik küçültme ve zaman gecikmesi faktörleri kabuk elemanlarını oluşturan malzemelerin ısı depolama kapasitelerine bağlıdır. Bu iki özellik kabuk elemanlarının yalıtım kapasitesini belirlemektedir (Koca, 2006).

Sönüm oranı; Bir günlük zaman süreci içerisinde yapı kabuğunun iç yüzeyindeki en düşük ve en yüksek sıcaklık farkının, dış yüzeyindeki en düşük ve en yüksek sıcaklık farkına oranını ifade etmektedir (Soysal, 2008).

Kabuğun geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık katsayıları; Yapı kabuğunu oluşturan saydam ve opak alanların güneş ışınımı ile kurduğu ilişkidir. Yapı kabuğunda kullanılan malzemelerin opak ve saydamlık özelliklerine göre optik özellikleri olan yutuculuk, geçirgenlik ve yansıtıcılık özellikleri değişmektedir. Güneş ışınımının geliş açısına göre saydam yüzeylerin geçirgenlik, yutuculuk ve yansıtıcılık özellikleri değişiklik göstermektedir. Bu yüzeyler kısa dalga boylu ışığı geçirmekte olup, uzun

dalga boylu ışığa karşı opak özellik göstererek sera etkisi oluşturmakta ve bu durum da iç mekânda ısının artmasını sağlamaktadır. Opak bileşenlerin ise geçirgenlik özelliği bulunmayıp, yutuculuk ve yansıtıcılık özellikleri değişmektedir. Bu yüzeylerde kullanılan malzemenin rengine, yüzey sıcaklığına, dokusuna ve gelen ışının dalga boyu ile geliş açısına bağlı olarak ışının bir kısmını yansıtmakta ve diğer kısmını yutuculuk özelliğiyle ısı enerjisine dönüştürmektedir (Çengel, 1998; Tunalı, 2012).



Şekil 2.2. Yapı kabuğunun optik ve termofiziksel özellikleri (Ulukavak Harputlugil, 2016).

İç ve dış ortam arasındaki sıcaklık farkının ve rüzgârın oluşturduğu basınç farklarına bağlı olarak yapı kabuğunda hava sızıntıları olmaktadır. Yapı kabuğunda hava sızdırmazlığın sağlanması ile yapının enerji performansının yükseltilmesi, iç ortam hava kalitesinin sürdürülmesi ve yoğuşmadan kaynaklı yapı hasarlarının önlenmesi sağlanabilmektedir. Yapılarda %20 - %50 oranında ısı kayıplarına yapı kabuğundan gerçekleşen hava sızıntıları yol açmaktadır (Ulukavak Harputlugil, 2016).

Yapıların içerisindeki kullanıcı konfor gereksinimlerinin yerine getirilirken aktif ısıtma, soğutma, aydınlatma ve havalandırma sistemlerine mümkün olduğunca az

ihtiyaç duyulması amacıyla pasif sistem çözümleri meydana getirilmiştir (Aşıkoglu ve Altın 2016). Günümüzde aktif ve pasif sistem çözümleri kullanılarak enerji etkin yapıların tasarlanmasına yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Yapıların enerji etkin tasarlanmasına yönelik geliştirilen kullanıcıya ilişkin, doğal çevreye ilişkin ve yapıya ilişkin parametreler doğru kurgulanarak aktif sistemlere ihtiyacı oldukça az olan enerji etkin yapılar üretilebilmektedir. Yapılarda enerji etkinliğine yönelik pasif teknikler kullanılarak geliştirilmiş sistemlerin en önemlilerinden biri aynı zamanda bir sertifika sistemi de olan Pasif Ev Standartları'dır. Pasif Ev Enstitüsü tarafından yeni yapılara yönelik Pasif Ev Standardı, mevcut yapılara yönelik ise EnerPHit Standardı geliştirilmiştir (Aşıkoglu vd., 2021).

Yapı sektörünün dünya genelinde enerji tüketiminin önemli bir kısmından sorumlu olmasına bir çözüm olarak yapı sektöründe enerji etkin yapılar ön plana çıkmaktadır. Enerji etkin yapılar iklim, topoğrafya, bitki örtüsü, yönlenme, yapı malzemeleri ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi verilerin değerlendirilmesi ile oluşturulan yapılardır. Enerji etkin yapılar bağlamında çevre verileri dikkate alınarak oluşturulan düşük enerjili yapılar, yaklaşık sıfır enerjili yapılar, pasif evler, artı enerjili yapılar ön plana çıkmaktadır. Pasif evler çok az enerji kullanarak iç mekân ısı konfor koşullarını sağlayan yapılardır. Pasif evler, iklimsel verilerle bütünleşerek tasarlanan, çevre dostu ve enerji verimli yapılardır (Duran ve Kartal, 2021). Bölüm 2.1.2'de pasif ev özelliklerine ve tasarım ilkelerine yer verilmiştir.

2.1.2. Pasif Ev

Dünya genelinde tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun yapılarda kullanıldığının tespiti ile 1990'lı yıllarından itibaren, yapılarda enerji kullanımını azaltmaya yönelik çözümler üretilmeye başlanmıştır (Erengözgin, 2005). İlk başlarda enerji kullanımını azaltmaya yönelik çözümleri; yapının konumu, formu, yönlenmesi, ısıtma-soğutma ve havalandırma sistemleri, kullanılan yapı malzemelerinin türü gibi parametreler oluşturmuştur.

Yapılarda enerji etkinliğini sağlamak ve enerji tüketimlerini azaltmaya yönelik dünya çapında birçok yönetmelik, yasa ve sertifika sistemleri geliştirilmeye başlanmıştır. Bu

gelişmeler doğrultusunda birçok ülkede, yapılarda pasif sistemler kullanılmış ve enerji tüketimi az olan, çevresel duyarlılığa sahip sürdürülebilir yapılar üretilmiştir. Bu gelişmeler yaşanırken 1990'lı yıllarda belirli ölçüler çerçevesinde pasif sistemlerin kullanıldığı yapılara sertifikalar verilmeye başlanmıştır. Yapı sektöründeki bu gelişmelere bağlı olarak 1996 yılında Almanya'nın Darmstadt şehrinde Pasif Ev Enstitüsü kurulmuş ve çalışmalar yapılmıştır. Yapıların sürdürülebilirliği ve enerji etkinliği açısından, yer aldığı iklim bölgesinin özelliklerine uygun pasif sistem çözümleri kullanılarak tasarlanmaları ve aktif sistemlerin mümkün olduğunca az kullanılarak iç mekân konfor gereksinimlerinin sağlanması oldukça önemlidir (Aşıkoglu, 2014). Pasif iklimlendirme çözümlerinin amacı, iklim koşullarına göre kullanıcıların iklimsel gereksinimlerini değerlendirerek ısıtma, soğutma, havalandırma için yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmak ve mekanik sistemlerin kullanıldığı aktif iklimlendirme talebini düşürmektir (Utkutuğ, 1999; Özteker, 2005).

Pasif ev kavramı ilk kez Lund Üniversitesi'nden (İsveç) Profesör Bo Adamson ile Ev ve Çevre Enstitüsü'nden (Almanya) Profesör Wolfgang Feist tarafından 1988 yılında oluşturulmuş ve yapıların enerji verimliliğini yükseltmek amacıyla geliştirilmiştir. Pasif evin ilk örneği Almanya'nın Darmstadt şehrinde 1990 yılında hayata geçirilmiştir (Demirel, 2013).

Pasif evler, ısıtma ve soğutma için gerekli enerji talepleri düşük olan, yaz ve kış aylarında konforlu bir iç mekân sıcaklığı ve hava kalitesi sunan, kullanıcı sağlık ve refahını yükselten yapılardır (Mihai et al., 2017; Johnston et al., 2020). Pasif evlerde, temiz havanın önden ısıtılması ya da soğutulması ile iç mekânın ısı konforu sağlanmakta ve ek hava sirkülasyonuna gereksinim duyulmamaktadır. Pasif evler tüm iklim bölgelerinde uygulanabilmektedir (Waltjen, 2005).

Pasif ev, enerji verimli, konforlu, ekonomik ve çevreye duyarlı bir yapı standardıdır. Pasif evler, mevcut yapılara göre %90'a varan, yeni yapılara göre %75'in üzerinde ısıtma ve soğutma ile ilgili enerji tasarrufu sağlamaktadır. Pasif evler, bir metrekaresel yaşam alanını bir yıl boyunca ısıtmak için 1,5 litreden daha az petrol veya 1,5 m³'ten daha az gaz kullanmakta olup düşük enerjili yapılardan daha az enerji tüketmektedir. Pasif evler, yüksek düzeyde yalıtımlı döşeme-duvar-çatıdan oluşan yapı kabuğu,

yalıtlı özel kapı ve pencereler, düşük hava sızdırmazlık, ısı köprüsüz tasarım ve yüksek verimli ısı geri kazanımlı havalandırma sistemleri gibi detaylardan oluşmaktadır. Pasif evler, ısı geri kazanımını ve iç ısı kaynaklarını etkin bir şekilde kullanmakta olup, soğuk kış aylarında bile geleneksel ısıtma yöntemlerini kullanmayı büyük oranda gerektirmemektedir. Sıcak yaz aylarında ise aktif soğutmanın yükünü pasif gölgeleme tekniklerinin kullanımı ile düşürmektedir. Yüksek yalıtımlı yapı kabuğu sayesinde, iç mekân sıcak değerlerinin, dış ortam sıcaklık değerlerindeki farklılıklara rağmen, sabit kalması sağlanmaktadır (Passive House Institute, 2023).

Pasif evler, yapılarda iç mekân konfor seviyesi artırmayı amaçlayan, yüksek düzeyde yalıtım uygulamaları ve detaylarla çözümlenmiş, enerjiyi yapı içerisinde tutan ve bu sayede yüksek oranda enerji tasarrufu sağlayabilen yapılardır (Şengezer, 2011). Pasif evlerde enerji tüketiminin düşürüldüğü gibi CO₂ emisyonları da düşürülmektedir. Pasif evler, enerji tasarrufu sağlanması ve sera gazı salımlarının azaltılması konularında oldukça önemli yapılardır. Pasif Ev Standartları, yığma, betonarme, çelik, ahşap ve prefabrik sistemle inşa edilen konut, kamu, ticari ve endüstriyel yapılara uygulanabilmektedir (Demirel, 2013). Pasif Ev Standartları'na ait kriterlerin bütün yapı tiplerine uygulanması yeterli olup, belirli bir tasarım ya da yapım yöntemi zorunluluğu bulunmamaktadır (Trubiano, 2013).

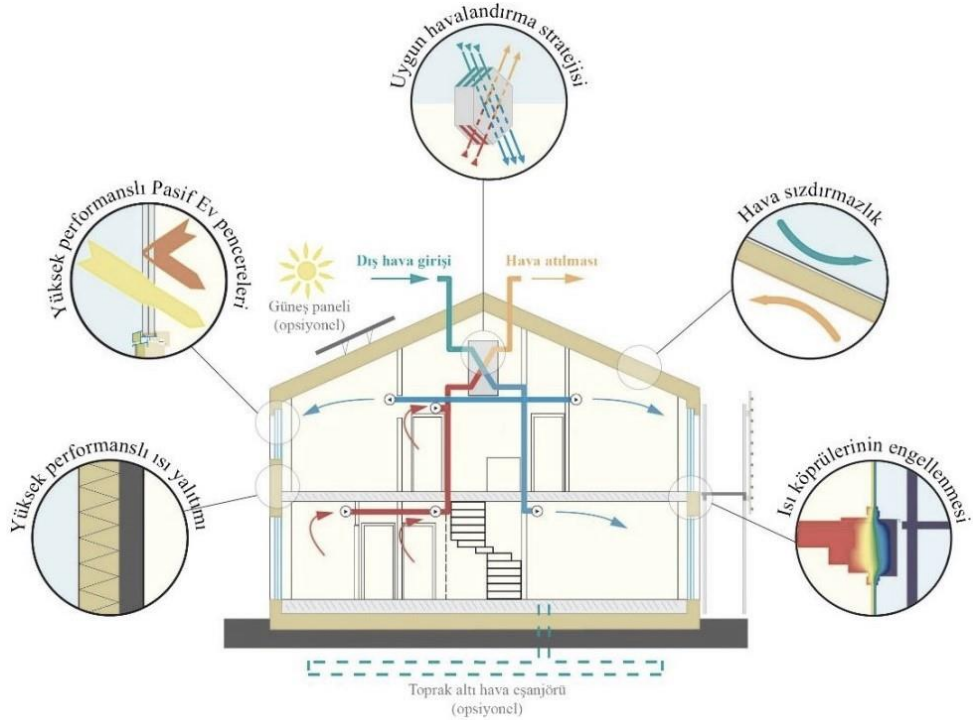
TS 825 yönetmeliğine uygun olarak inşa edilen düşük enerjili bir yapı m²'de yıllık 10 kg CO₂ emisyonuna neden olurken ısı yalıtımı kullanılmadan inşa edilen bir yapı 60 kg CO₂ emisyonu yaymaktadır. Pasif evler ise yaklaşık 2 kg CO₂ emisyonu yaymaktadır. TS 825 yönetmeliğine uygun bir yapı bir m²'lik yaşam alanını bir yıl boyunca ısıtmak için yaklaşık 4-5 litre yakıt harcarken, ısı yalıtımı kullanılmayan bir yapı 25-30 litre yakıt harcamaktadır. Pasif evlerde ise yaklaşık 1,5 litre yakıt harcanmaktadır. TS 825 yönetmeliğine uygun olarak inşa edilen bir yapının m²'de yıllık ısıtma enerjisi ihtiyacı 70-80 kWh civarında olup, ısı yalıtımı kullanılmayan bir yapıda yaklaşık 250 kWh'dir. Pasif evlerde ise 15 kWh olarak belirlenmiştir (İzocam, 2009; Bulut, 2015; Karabulut ve Kartal, 2021).



Şekil 2.3. Yapıların enerji tüketimlerine göre CO₂ emisyonlarındaki değişim (İzocam, 2009; Bulut, 2015).

2.1.2.1. Pasif Ev Tasarım İlkeleri

Pasif evlerin yapımında kullanılan 5 temel ilke bulunmaktadır. Bu ilkeler; opak yapı kabuğunda yüksek ısı yalıtımı seviyeleri, ısı köprüsüz tasarım, hava sızdırmaz bir yapı kabuğu, ısı yalıtım direnci yüksek pencereler ve kapılar, yüksek verimlilik özelliğine sahip ısı geri kazanımlı havalandırma şeklinde sıralanmaktadır (Passive House Institute, 2023).



Şekil 2.4. Pasif ev tasarım ilkeleri (Passive House Institute, 2023).

2.1.2.1.a. Opak Yapı Kabuğunda Yüksek Isı Yalıtımı Seviyeleri

Pasif evlerin dış kabuğunu oluşturan tüm opak yapı bileşenleri çok iyi yalıtılmalıdır. Pasif ev yapıları için soğuk ılıman iklim bölgelerinde, ekonomik olan optimum kalınlık dış duvar yalıtımı ve çatı yalıtımı için yaklaşık 24 cm'dir. Bu durumda yalıtımın ısı iletkenlik katsayısının 0,036 W/mK olduğu varsayılmaktadır. 32 cm kalınlığında yalıtım malzemesinin kullanılması maliyetine göre daha fazla enerji tasarrufu sağladığı ve enerji maliyetlerindeki artışlardan yapının daha az etkilenmesini sağladığı için uygun maliyetli bir çözümdür. Enerji fiyatlarındaki artışlar dikkate alındığında yapı kabuğunda yüksek yalıtım uygulamaları oldukça uygun bir çözüm yoludur. Yapı kabuğuna yalıtım uygulamanın zorlukları olabilmektedir. Örneğin yeni bir pasif ev yapısında zemin döşemesinin altına yalıtım rahatlıkla uygulanabilirken mevcut yapılarda bu mümkün olmamaktadır. Bu duruma bir çözüm olarak zemin döşemesinin üzerine ısı yalıtımı malzemesi uygulanabilmektedir (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018).

2.1.2.1.b. Isı Köprüsüz Tasarım

Yapı kabukları sadece duvar, döşeme, çatı gibi kesintisiz yapı elamanlarından oluşmamaktadır. Yapı kabuğunun köşeleri, kenarları, bağlantıları ve geçişleri de vardır. Enerji yapı kabuğunun kesintisiz elemanlarına göre bu kenar, köşe, bağlantı yerlerinden çok daha kolay bir şekilde geçebilmekte olup bu durum ısı köprüsü olarak ifade edilmektedir. En verimli enerji tasarrufu önlemlerinden biri ısı köprülerinin önlenmesidir. Tasarımda uygulanabilecek bazı basit kurallarla ısı köprüleri azaltılabilmektedir. Örneğin, bir döşemenin dışarı uzatılması ile oluşturulan balkon, ısı köprülerinin oluşmasına ve ısı kayıplarına neden olmaktadır. Çünkü ısının yalıtım katmanından geçerek dışarı çıkmasına olanak tanımaktadır. Bunun yerine çözüm olarak bağımsız bir balkon cepheye yerleştirilebilir. Pasif ev dikkatli planlama ve uygulamalarla, ısı köprüsü etkilerini dikkate alınmayacak kadar azaltmayı amaçlamaktadır (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018).

2.1.2.1.c. Hava Sızdırmaz Bir Yapı Kabuğu

Yapı kabuğunun hava sızdırmazlığının sağlanması ile yapısal hasar riskleri azaltılmaktadır. Yapı kabuğunda hava sızdırmazlık, dikkatli bir planlama, düzgün sıva ve kaplamaların yapılması gibi çözümlerle sağlanabilmektedir. Pencere ve kapıların doğru montajı ve işçilik de önemlidir. Pasif ev yapılarındaki hava sızdırmaz katman, yapıların kabuğunu kesintisiz bir şekilde çerçevelemelidir. Bu yapılarda kalemi hiç kaldırmadan hava sızdırmazlık katmanını sürekli bir çizgi ile çizmek gerekmektedir (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018).

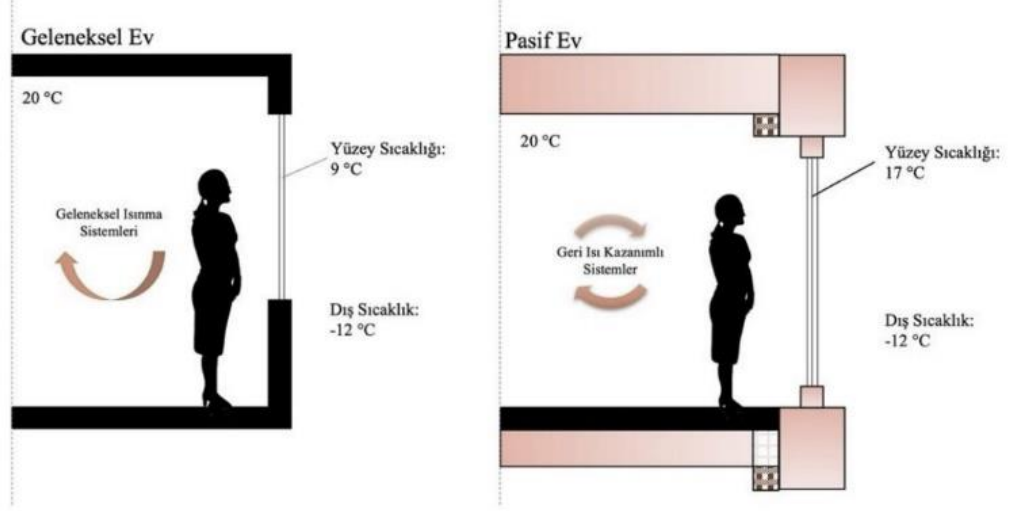
2.1.2.1.d. Isı Yalıtım Direnci Yüksek Pencere ve Kapılar

Pencere kasaları iyi bir şekilde yalıtılmalı ve ısı transferini önlemek için argon ya da kripton ile doldurulmuş Low-E camlar kullanılmalıdır. Pencere yapı kabuğunun en güçsüz kısmını oluşturdukları için pasif ev yapılarında iyi yalıtılmış pencerelerin kullanılmasına önem verilmektedir. Yapının bulunduğu iklime göre iç mekân ısı konfor taleplerini karşılamaya yönelik farklı düzeylerde çerçeve yalıtımı ve farklı cam özellikleri gerekmektedir. Bu duruma ek olarak pencere iç yüzey sıcaklığının soğuk bir günde pencere altındaki radyatörler kapalı iken 17 °C'nin altına düşmemesi gerekmektedir. Bu ilkenin sağlanması durumunda optimum ısı konfor koşulları pencerenin yakınındaki bir noktada bile sağlanmaktadır (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018).

2.1.2.1.e. Yüksek Verimlik Özelliğine Sahip Isı Geri Kazanımlı Havalandırma

Verimliliği yüksek olan ısı geri kazanımlı bir havalandırma sistemi ile iyi bir iç hava kalitesi ve enerji tasarrufu sağlanmalıdır. Pasif ev yapılarında havalandırma sistemleri, temiz, polensiz bir hava sağlarken koku ve aşırı nemi de yapıdan uzaklaştırmaktadır. Pasif ev yapılarında havalandırma için pencerelerin açılması, toplam enerji talebinden daha fazla ısı kaybedilmesine sebep olmaktadır. Havalandırma sistemi içerisinde, iç mekândaki ılık ve bayat havadaki ısı, dışarıdan gelen soğuk ve taze havaya aktarılmakta olup bu sayede ısı kayıpları büyük oranda azaltılmaktadır. Yaz sıcaklarında, bu sistem ters yönde çalışarak yapıya gelen taze havayı önden

soğutabilmektedir. Sistemin verimliliğine göre bayat havadaki ısının %90'ından fazlası taze havaya aktarılabilmektedir. Bu da taze havanın iç mekâna neredeyse oda sıcaklığında girmesini sağlamaktadır (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018).



Şekil 2.5. Geleneksel ev ile pasif ev karşılaştırması (Duran, 2020).

Pasif Ev Enstitüsü, pasif ev kriterlerini sağlamakta olan yeni yapıları ve iyileştirilmiş mevcut yapıları sertifikalandırmaktadır. Pasif Ev Enstitüsü tarafından, yeni yapılan yapılara yönelik Pasif Ev Standardı ve sertifikası, mevcut yapılara yönelik EnerPHit Standardı ve sertifikası geliştirmiştir.

2.1.2.2. Yeni Yapılar İçin Pasif Ev Sertifika Sistemi

Pasif Ev Enstitüsü tarafından yeni yapılara, kriterleri sağlamaları doğrultusunda Pasif Ev Sertifikası verilmektedir. Pasif Ev Enstitüsü'nün geliştirildiği pasif ev kriterleri aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018; SEPEV, 2023);

- Opak kabuk elemanlarında yüksek düzeyde yalıtım sağlanmalıdır ($U_d < 0.15$ W/(m²K).
- Yüksek performanslı ve yalıtımlı pencere-kapılar kullanılmalıdır ($U_p < 0.8$ W/(m²K).

- Yapı kabuğunun hava sızdırmazlığı sağlanmalıdır ($< 0.6 /h @50 Pa$).
- Verimi yüksek olan, ısı geri kazanımlı mekanik havalandırma sistemleri kullanılmalıdır (≥ 75 verimlilik).
- Isı köprülerinin oluşmasını engelleyen mimari detay çözümleri yapılmalıdır.
- Isıtma talebi, yıllık $15 kWh/m^2$ 'yi geçmemelidir.
- Soğutma talebi, kabaca ısıtma talebi ile aynı olup, ek olarak iklime bağlı bir nem alma kabulü ilave eklenmelidir.
- Birincil enerji talebi, yıllık $120 kWh/m^2$ 'yi geçmemelidir.
- Hava sızdırmazlık, 50 Paskal basınçta saatte en fazla 0,6 hava değişimi olmalıdır.
- Isıl konfor, yıl boyunca tüm yaşam alanlarında yılın saatlerinin %10'undan fazlasında $25 ^\circ C$ 'nin üstünde olması gerekmektedir.

				Kriterler ¹	Alternatif Kriterler ²
Isıtma					
Isıtma talebi	[kWh/(m ² a)]	\leq		15	-
Isıtma yükü ³	[W/m ²]	\leq		-	10
Soğutma					
Soğutma + nem alma talebi	[kWh/(m ² a)]	\leq		15 + nem alma katkısı ⁴	değişken sınır değeri ⁵
Soğutma yükü ⁶	[W/m ²]	\leq		-	10
Hava sızdırmazlık					
n50 Basınç uygulama test sonucu	[1/h]	\leq		0,6	
Yenilenebilir birincil enerji (PER)⁷					
PER talebi ⁸	[kWh/(m ² a)]	\leq		Klasik: 60, Plus: 45, Premium: 30	kriterden +/- 15 kWh/(m ² a) sapma...
Yenilenebilir enerji üretimi ⁹ (öngörülen bina ayakizine referansla)	[kWh/(m ² a)]	\geq		Klasik: -, Plus: 60, Premium: 120	... farklı üretimler ile üstteki sapmanın telafi edilmesi

Şekil 2.6. Pasif ev kriterleri (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

Pasif ev sertifikaları kendi içlerinde derecelendirilmiştir. Standart kriterleri sağlayan pasif evlere Pasif Ev Klasik, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ek enerji üretebilen pasif evlere Pasif Ev Plus ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ihtiyaç duyduğundan daha fazla enerji üretebilen pasif evlere Pasif Ev Premium sertifikaları verilmektedir (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

2.1.2.3. Mevcut Yapılar İçin EnerPHit Sertifika Sistemi

Pasif ev ilkeleri yeni yapılara uygulandığı gibi mevcut yapıları iyileştirmek amacıyla da uygulanabilmektedir. Pasif Ev Enstitüsü, mevcut yapıların enerji etkin olarak iyileştirilebilmesi amacıyla EnerPHit Standardı'nı geliştirmiştir. Mevcut yapıların iyileştirilmesi sonucu Pasif Ev Standardı'nı sağlamaları çeşitli zorluklar nedeniyle daha zor ve her zaman mümkün olamamaktadır. Bu nedenle Pasif Ev Enstitüsü mevcut yapılar için EnerPHit Standardı'nı geliştirmiştir (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022; SEPEV, 2023).

Pasif Ev Enstitüsü tarafından, mevcut yapılara EnerPHit kriterlerini sağlayabilmeleri için iki alternatif yöntem sunulmaktadır. Bu yöntemler; bileşen yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterleri (Şekil 2.7) ve enerji talebi yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterleridir (Şekil 2.8). Bu iki yöntemden birinin kriterlerinin sağlanması yeterlidir. Bu kriterlere ek olarak genel kriterlerin (Şekil 2.9) yerine getirilmesi gerekmektedir (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

PHPP'ye göre iklim zonu	Opak kapuk ¹ ve...				(Dış kapılar dahil) pencereler			Havalandırma			
	Zemin	Ambiyant hava			Genel ⁴		Cam ⁵	Güneş Yüğü ⁶	En az ısı geri kazanım oranı	En az nem geri kazanım oranı	
	Yalıtım	Dış yalıtım	İç yalıtım ²	Dış boya ³	En fazla transfer katsayısı (UK/P, kurulum)	Güneş ısı kazanım katsayısı (g-değeri)	soğutma periyodu sırasında en fazla özgün güneş yükü				
	En fazla ısı transfer katsayısı (U-değeri)			Soğuk renkler				[W/(m ² k)]	kWh/(m ² a)	%	
	W/(m ² k)			-							
Arktik	PHPP'de projeye özgü ısıtma ve soğutma derece günlerinden zemine göre belirlenir	0,09	0,25	-	0,45	0,50	0,60	Ug - g*0,7 ≤ 0	100	80%	-
Soğuk		0,12	0,30	-	0,65	0,70	0,80	Ug - g*1,0 ≤ 0	80%	-	
Soğuk ılıman		0,15	0,35	-	0,85	1,00	1,10	Ug - g*1,6 ≤ 0	75%	-	
Sıcak ılıman		0,30	0,50	-	1,05	1,10	1,20	Ug - g*2,8 ≤ 0	-	-	
İlman		0,50	0,75	-	1,25	1,30	1,40	-	-	-	
Çok sıcak		0,50	0,75	Evet	1,25	1,30	1,40	-	-	%60 nemli iklim	
Aşırı sıcak		0,25	0,45	Evet	1,05	1,10	1,20	-	-	%60 nemli iklim	

Şekil 2.7. Bileşen yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterleri (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

PHPP'ye göre iklim zonu	Isıtma	Soğutma
	En fazla ısıtma talebi	En fazla soğutma + nem alma talebi
	[kWh/(m ² a)]	[kWh/(m ² a)]
Arktik	35	Pasif Ev taleplerine eşit
Soğuk	30	
Soğuk ılıman	25	
Sıcak ılıman	20	
İlman	15	
Çok sıcak	-	
Aşırı sıcak	-	

Şekil 2.8. Enerji talebi yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterleri (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

		Kriterler ¹			Alternatif Kriterler ²
Hava sızdırmazlık		1,0			
n50 Basınç uygulama test sonucu	[1/h]	≤			
Yenilenebilir birincil enerji (PER)³			Klasik	Plus	Premium
PER talebi ⁸	[kWh/(m ² a)]	≤	60 + (QH - QH,PH) * FØPER,H + (QC - QC,PH) * ½	45 + (QH - QH,PH) + (QC - QC,PH) * 1/2	30 + (QH - QH,PH) + (QC - QC,PH) * 1/2
Yenilenebilir enerji üretimi ⁹ (öngörülen bina ayakizine referansla)	[kWh/(m ² a)]	≥	-	60	120
			kriterden +/- 15 kWh/(m ² a) sapma...		
			... farklı üretimler ile üstteki sapmanın telafi edilmesi		

Şekil 2.9. Genel EnerPHit kriterleri (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

EnerPHit Standardı'nda mevcut yapıların pasif ev bileşenleri ile iyileştirilmeleri ve bu sayede enerji tüketiminin düşürülmesi amaçlanmaktadır. Mevcut yapıların EnerPHit Standardı kriterlerini sağlamaları doğrultusunda EnerPHit sertifikaları verilmekte ve bu sertifikalar da kendi içlerinde derecelendirilmektedir. Standart kriterleri sağlayan mevcut yapılara EnerPHit Klasik, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ile ek enerji üretebilen mevcut yapılara EnerPHit Plus ve yenilenebilir enerji kaynakları ile ihtiyaç duyduğundan daha fazla enerji üretebilen mevcut yapılara EnerPHit Premium sertifikaları verilmektedir (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022).

2.2. YAPI MALZEMELERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

Çevre sorunlarının önemli bir kısmından yapı sektörü sorumlu tutulmaktadır. Teknolojinin gelişmesine bağlı olarak yapıların üretimi, kullanımı, bakım-onarımı esnasında kullanılan ve yok edilmesi ya da geri dönüştürülmesi sırasında ortaya çıkan etkenler önemli çevre sorunlarına neden olmaktadır. Yapıların üretim, kullanım ve atık evrelerinde atmosfere salımı gerçekleşen sera gazları, hava kirliliği, su kirliliği gibi birçok olumsuz çevre sorununa neden olmaktadır (Tuna, 2010).

Yapıların neden olduğu çevre sorunlarına etki eden faktörler arasında, yapılarda kullanılan yapı malzemelerinin önemi büyüktür. Üretimlerinden atık evrelerine kadar yaşamları boyunca çevre ile etkileşim içerisinde olan yapı malzemeleri önemli çevre sorunlarının kaynağını oluşturabilmekte ve çevreye büyük hasarlar verebilmektedir. Yapı malzemelerinin yaşamları boyunca çevreye olan etkileri yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile tespit edilebilmektedir (Tuna, 2010).

2.2.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Yöntemi

Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD), ürünlerin ya da hizmetlerin yaşam döngüleri boyunca olası çevresel etkilerini değerlendirmek için kullanılan bir yöntemdir (Çelebi ve Aydın, 2005). Yaşam Döngüsü Değerlendirme (YDD), ilk olarak endüstriyel ürünlerin yaşam döngüleri boyunca çevresel etkilerinin değerlendirilmesi amacıyla ortaya çıkarılan, sonrasında yapı sektörü tarafından da benimsenerek kullanılan bir yöntemdir (Gültekin, 2006). Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemi ile ürünlere ait hammaddelerin edinimi, üretimi, paketlenmesi, taşınması, yapıya uygulanması, kullanımı, ihtiyaç halinde bakım onarımı ve ürünün kullanım ömrünü tamamlaması ile geri dönüştürülmesi ya da yok edilmesi süreçlerini içine alan döngünün çevresel etkileri değerlendirmektedir (Taygun, 2005).

Yaşam döngüsü değerlendirme alanındaki çalışmalar enerji ve hammadde tüketimini sınırlamak amacı ile 1960'lı yıllarda başlamıştır. 1975'lerde yaşanan petrol krizi ile birlikte yönetimler tarafından enerji üzerine çalışmaların yapıldığı komisyonlar oluşturulmuştur. 1980'lerde geri dönüşüm ve atık konuları önem kazanmaya başlamış

ve bu konular üzerine çalışmalar yapılmıştır. 1990 yılında Çevresel Toksikoloji ve Kimya Derneği (Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC)), yaşam döngüsü değerlendirme konusunda çalışmalar yapmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirme terimi SETAC tarafından düzenlenen bir çalıştayda katılımcılar tarafından önerilmiş ve kabul edilmiştir (Curran, 1996; Horne et al., 2009).

SETAC yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin geliştirilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla iş birliği yapmak üzere yaşam döngüsü değerlendirme uygulayıcılarını bir araya getirmeye yönelik çalışmalar yapmıştır. Bu süreçte Uluslararası Standartlar Kuruluşu (ISO) faaliyetleri ile SETAC'ın yanına katılmıştır. Uluslararası Standartlar Kuruluşu (ISO) faaliyetleri 1994 yılında başlamıştır. ISO eksiksiz olan ilk yaşam döngüsü değerlendirme standartlarını oluşturmayı amaçlamaktadır. ISO yaşam döngüsü değerlendirme için ilk olarak 14000 serisi olarak isimlendirilen bir dizi standart ve rapor yayınlamıştır. 1990 ile 2000 yılları arası SETAC koordinasyonu ve ISO'nun faaliyetleri ile geçen on yıllık standardizasyon dönemi olmuştur (Bruijn et al., 2004; Heijungs and Guinée, 2012).

Uluslararası Standartlar Kuruluşu (ISO) standartları, yaşam döngüsü değerlendirme çalışmaları ile ilgili şartname, tanım, yöntem ve gerekli diğer bilgileri içermektedir. 1997'de orijinali yayınlanıp, 2006'da güncellenen iki standart bulunmaktadır;

- ISO 14040 (2006): Çevre yönetimi - Yaşam döngüsü değerlendirmesi - İlkeler ve çerçeve,
- ISO 14044 (2006): Çevre yönetimi - Yaşam döngüsü değerlendirmesi - Gereksinimler ve yönergeler.

ISO 14040:2006, yaşam döngüsü değerlendirme ilkelerini ve yaşam döngüsü değerlendirme çerçevesini açıklamaktadır. Bu temel standart yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında, amaç ve kapsamın tanımlanması, yaşam döngüsü envanter analizinin yapılması, yaşam döngüsü etki değerlendirmesinin yapılması ve yaşam döngüsü yorumlaması konularında bilgiler içermektedir (TS EN ISO 14040:2006, 2007). Bu temel standardın yanı sıra yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin detaylarını içeren ISO 14044:2006 incelenmelidir.

Yaşam döngüsü değerlendirmeye verilen önem zamanla artmış ve 2002 yılında Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) ile iş birliği yapılarak tüm dünyada geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bu bağlamda UNEP/SETAC Yaşam Döngüsü Girişimi başlatılmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmeye verilen önemin artması ile Çevresel Ürün Beyanları (EPD) ortaya çıkmıştır. EPD'ler, bir ürüne ait ISO 14040 serisi yaşam döngüsü değerlendirme standartlarına bağlı çevresel verileri içermektedir. EPD'ler yapı malzemelerinin içerikleri, üretim süreçleri, çevresel performansı gibi bilgileri sunmaktadır (Horne et al., 2009; Heijungs and Guinée, 2012; Buyle et al., 2013; Wuppertal Institute, 2018).

Yaşam döngüsü değerlendirme kapsamında malzeme seviyesindeki ve yapı seviyesindeki çevresel etkileri değerlendirmek için iki temel standart ele alınmaktadır. Bu standartlar EN 15804 ve EN 15978 olup bu standartlarda malzeme ve yapıların yaşam döngüsü süreçleri ile ilgili bilgiler verilmektedir. Türkiye'de malzeme ve yapıların yaşam döngüsü değerlendirmesi için 2012 yılında TS EN 15804:2012 ve TS EN 15978:2012 standardı yayınlanmıştır (Kuittinen et al., 2013; Gervasio and Dimova, 2018).

- TS EN 15804 (2012): Yapıların sürdürülebilirliği - Mamullere ilişkin çevresel beyanlar - Yapı mamullerinin mamul kategorisi için ana kurallar.
- TS EN 15978 (2012): Yapı işlerinin sürdürülebilirliği - Binaların çevresel performansının tetkiki - Hesaplama yöntemi.

Yaşam döngüsü değerlendirmesi ile tüm atık ve salımlardan kaynaklanan çevresel zararların hesaplanması ve enerji ile hammadde girdilerinin olabildiğince azaltılmasına yönelik bir sistem fikrinin oluşturulması amaçlanmaktadır (Vezzoli and Manzini, 2008).

Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, bir malzemenin ya da yapının beşikten mezara (cradle to grave) tüm yaşam döngüsü aşamalarının izlenebilmesini sağlamaktadır. Yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarında genellikle, beşikten kapıya, beşikten mezara ve beşikten beşiğe yaklaşımları kullanılmaktadır. Beşikten kapıya (A1-A3) yaklaşımı, malzeme için gerekli hammaddenin doğadan elde edilmesi,

fabrikaya taşınması ve üretim süreçlerini ele almaktadır. Beşikten mezara (A1-C4) yaklaşımı, hammaddenin elde edilmesi ile başlayıp, kullanım ömrünü tamamlayan malzemenin doğaya geri dönmesi süreçlerini ele almaktadır. Beşikten beşiğe (A1-D) yaklaşımı, hammadde evresinden itibaren, kullanım ömrü sonunda malzemenin geri dönüşümünün sağlanması ya da mevcut haliyle tekrar yapı üretimine katılmasına kadar olan süreçleri ele almaktadır (Scientific Applications International Corporation, 2006; Domone and Illston, 2010).

ISO 14040'a göre Yaşam Döngüsü Değerlendirme yöntemi aşağıda belirtilen alanlarda kullanılmaktadır (TS EN ISO 14040:2006, 2007);

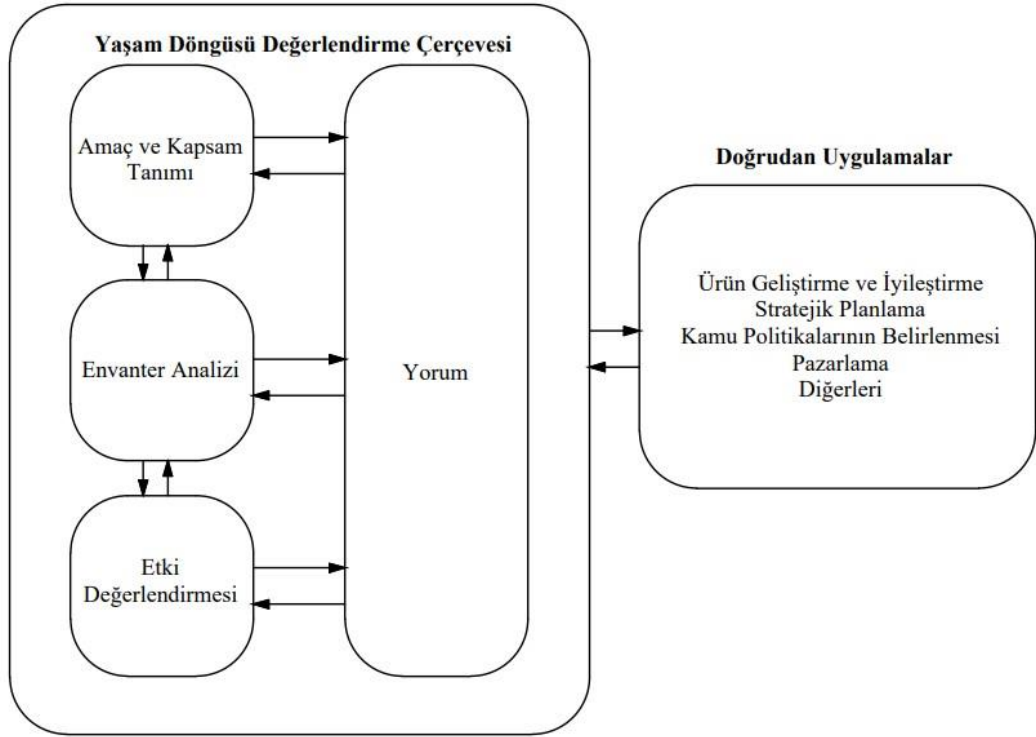
- Ürünlerin yaşam döngüsü evrelerindeki çevreyle ilişkisinin tanımlanması ve bu ürünlerin geliştirilmesi ile iyileştirilmesinde,
- Kamu, sanayi ve özel sektörde, stratejik planlama, önceliğin belirlenmesi, ürün tasarımı ve mevcut tasarımların yenilenmesi gibi konularda karar verilmesinde,
- Çevresel performans göstergeleriyle ilgili ölçüm tekniklerini içeren, kamu politikalarının oluşturulmasında,
- Çevre etiketi ve çevresel bildirimler gibi pazarlama araçlarının geliştirilmesinde.

Yaşam döngüsü değerlendirme yönteminin amaçları şu şekildedir (Tanaçan, 2002; Taygun, 2005);

- Doğal kaynakların korunması ve tüketimlerinin en aza indirilmesi,
- Çevre kirliliğine karşı önlemlerin alınması,
- Çevre eşitliğinin sağlanmasına yönelik çalışmalar yapılması,
- Çevreyle ilgili yasa ve yönetmeliklerin oluşturulması ve gelişmesi,
- Çevre yönetim sistemlerinde çevresel etki değerlendirme çalışmalarının geliştirilmesi,
- Çevre dostu olan ürünlerin üretiminin gerçekleştirilmesi,
- Ürün üretimi ve kullanımına bağlı olarak oluşan toplam çevresel etkiler ile sağlık risklerinin düşürülmesi.

2.2.1.1. Yaşam Döngüsü Değerlendirme Aşamaları

ISO 14040 standardı yaşam döngüsü değerlendirme çerçevesi için aşamaları tanımlamaktadır. ISO 14040 standardına göre yaşam döngüsü değerlendirme çerçevesi sırasıyla; amaç kapsam tanımı, yaşam döngüsü envanter analizi, yaşam döngüsü etki değerlendirmesi ve yaşam döngüsü yorumlaması olmak üzere dört aşamadan oluşmaktadır (TS EN ISO 14040:2006, 2007). Yaşam döngüsü değerlendirme çerçevesini oluşturan bu aşamalar Şekil 2.10'da verilmiştir.



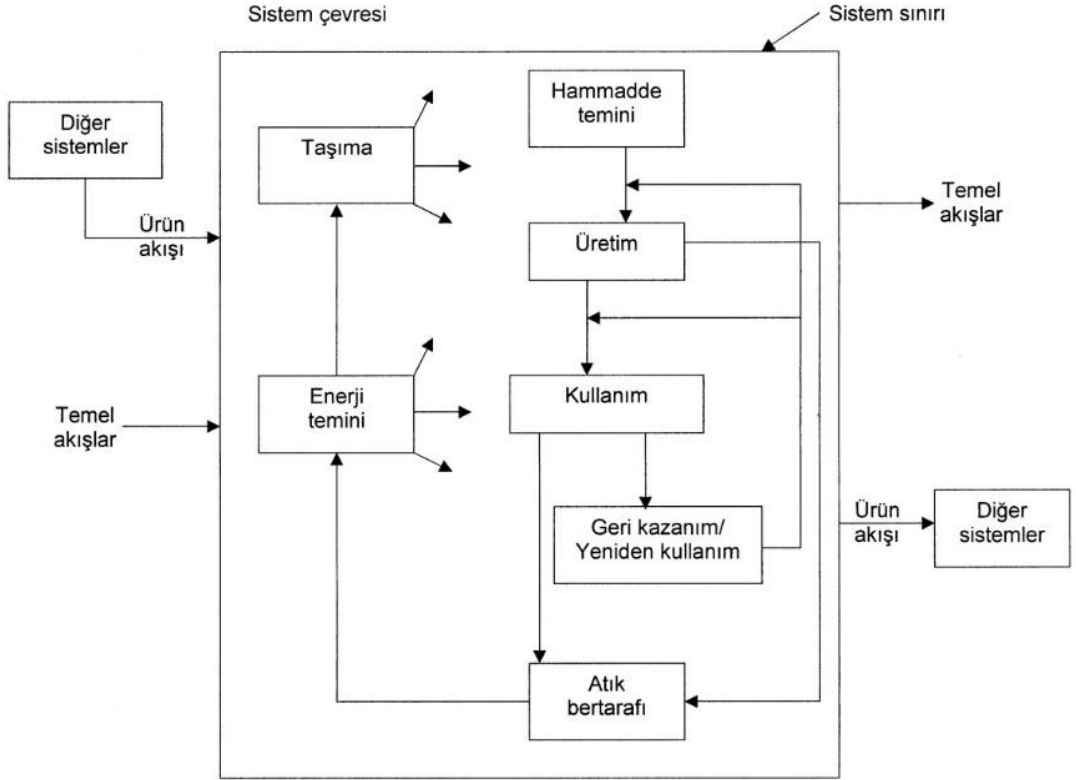
Şekil 2.10. Yaşam döngüsü değerlendirme aşamaları ve ilişkileri (TS EN ISO 14040:2006, 2007).

2.2.1.1.a. Amaç Kapsam Tanımı (AKT)

Yaşam döngüsü değerlendirmenin ilk aşaması amaç ve kapsamın tanımlanmasıdır. Bu aşamada ISO 14040 standardına göre çevresel etkileri incelenecek olan yapı ürünü sistemi, sistem sınırları, sistemle ilgili varsayımlar, işlevsel birim, dağıtım yöntemleri, veri kalite gerekleri gibi birçok parametrenin tanımlanması gerekmektedir. Aynı

zamanda rapor hazırlama ve eleştirel gözden geçirme süreci ile ilgili kararlar alınmalıdır (TS EN ISO 14040:2006, 2007; Tuna, 2010).

Amaç kapsam tanımı aşamasında yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi ile çevresel etkileri incelenecek olan yapı ürünü sistemi net bir şekilde tanımlanmalıdır (Gültekin,2006). Yapı ürünü sistemi örneği Şekil 2.11’de verilmiştir.

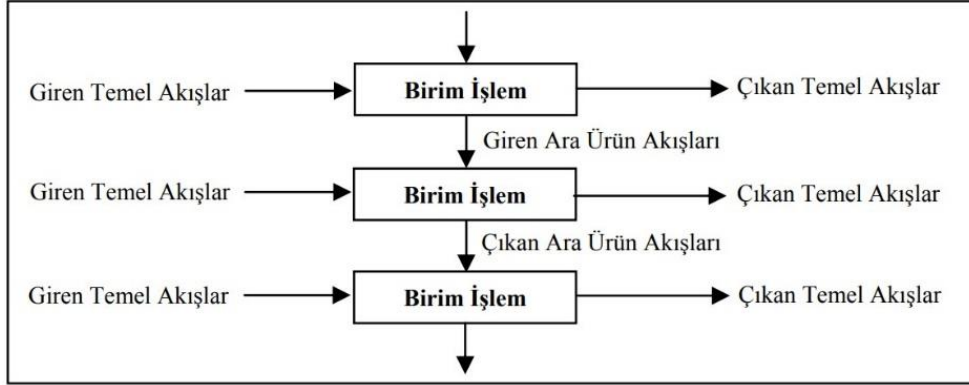


Şekil 2.11. Örnek yapı ürünü sistemi (TS EN ISO 14040:2006, 2007).

Varsayımlar; Yapı ürünü sistematığının yaşam döngüsü değerlendirme ile çevresel etkilerinin belirlenmesinde; hizmet ömrü, bakım - onarım yöntemleri ve sıklıkları, yeniden işlevlendirme ve yenileme çalışmaları ile atık sürecine ait varsayımlar dikkate alınmalıdır (Gültekin, 2006; Zhang et al., 2006).

İşlevsel birim; Yaşam döngüsü değerlendirmede işlevsel birim, yapı ürünün işlevini sağlaması için gereken ürün miktarının ölçülebileceği birimlerle ifade edilmelidir. İşlevsel birim m², m³, kg, l gibi birimler olabilmektedir (Paulsen, 2001; Gültekin, 2006).

Sistem sınırları; Yapı ürünü sistemleri, ara ürün akışları ve atık işleme akışları ile birbirlerine bağlı olan birim işlemlerden oluşmaktadır. Bu birim işlemler, başka ürün sistemlerine ve çevreye de temel akışlarla bağlanmaktadır (Gültekin, 2006). Bu bağlantılar Şekil 2.12’de verilmiştir.



Şekil 2.12. Yapı ürünü sistemlerini oluşturan birim işlemler (Gültekin, 2006).

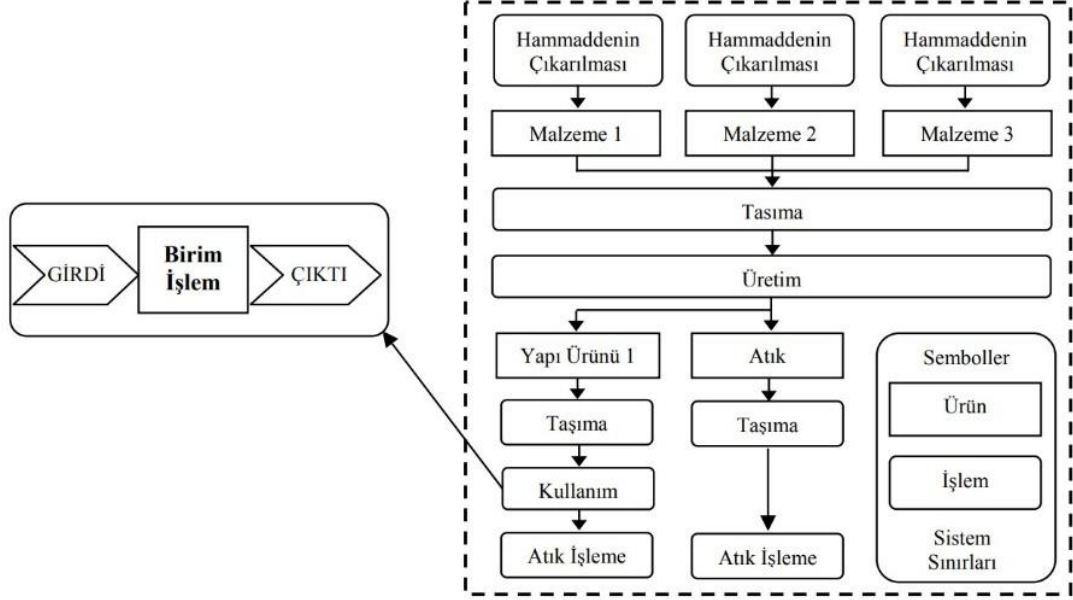
2.2.1.1.b. Yaşam Döngüsü Envanter Analizi (YDEA)

Yaşam döngüsü envanter analizi aşaması, yapı ürünü sistemlerine ait girdi ve çıktılarla ilgili verilerin toplanma yöntemleri ile hesaplama yöntemlerinin oluşturulmasını içermektedir. Aynı zamanda sistem sınırlarının kesinleştirilmesini de içermektedir (TS EN ISO 14040:2006, 2007; Tuna, 2010).

Yaşam döngüsü envanter analizi aşamasında amaç ve kapsam tanımında belirlenen yapı ürünü sistemi ve bu yapı ürünü sistem sınırlarında belirtilen birim işlemlere ait girdi ve çıktı verilerinin toplanması gerekmektedir. Bir yapı ürünü sistemindeki girdiler enerji, malzeme, su gibi kaynaklar iken, çıktıları hava, toprak ve suya salımlar, katı atıklar, atık sular ve yan ürünler olabilmektedir (Çelebi and Aydın, 2001).

Yaşam döngüsü değerlendirme amaç ve kapsam tanımı aşamasında belirlenen sistem sınırları, bu aşamada toplanan veriler ve birim işlemlere göre tekrar ele alınarak kesinleştirilebilmektedir. Sistem sınırlarını kesinleştirmeyi kolaylaştırabilmek adına yapı ürünü sistemi ve yapı ürünü sistemini oluşturan birim işlemler akış şemasına

dökülebilmektedir (Gültekin,2006). Bir yapı ürünü sistemi ve bu sisteme ait birim işlemleri içeren akış şeması Şekil 2.13'te verilmiştir.



Şekil 2.13. Bir yapı ürünü sistemine ait sistem sınırlarını ve birim işlemleri içeren akış şeması (Gültekin, 2006).

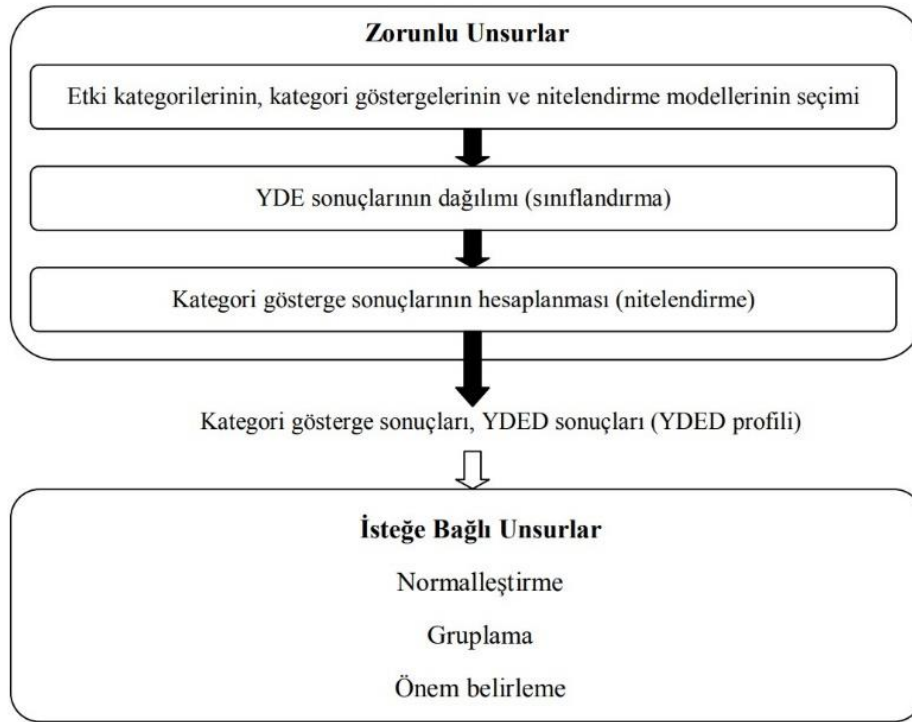
2.2.1.1.c. Yaşam Döngüsü Etki Değerlendirmesi (YDED)

Yaşam döngüsü değerlendirme aşamalarının üçüncüsü olan yaşam döngüsü etki değerlendirme, yaşam döngüsü envanter analizi sonucu elde edilen bulgulara bağlı olarak yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirildiği aşamayı oluşturmaktadır. Çevresel etkileri değerlendirmek için ISO 14040 ve ISO 14047 standartlarına göre bu aşamada, zorunlu olan ve zorunlu olmayan unsurlar tanımlanarak bu unsurların akışları oluşturulmaktadır (Gültekin, 2006; Tuna, 2010).

Zorunlu olan elemanlar, etki sınıflarının (etki kategorileri) seçilmesi, sınıf göstergelerinin (kategori göstergeleri) tespit edilmesi ile tanımlama modellerinin (karakterizasyon modelleri) oluşturulmasını içermektedir (Gültekin, 2006; Tuna, 2010).

Yapı ürünlerinin çevresel etki değerlendirmesi yapılabilmesi için ilk olarak çevresel etkilerin sınıflandırılmaları gerekmektedir. Yaşam döngüsü envanter analizi aşamasından alınan verilerin tekrar düzenlenmesi ve etki sınıflarına atanması sınıflandırmayı oluşturmaktadır. Dünya çapında kabul gören çevresel etki sınıfları henüz bulunmamaktadır. Buna bağlı olarak ülkelere göre etki sınıfları farklı biçimlerde sınıflandırılabilmektedir (Gültekin, 2006; Tuna, 2010).

Zorunlu olmayan elemanlar, yaşam döngüsü etki değerlendirmesine ait sonuçları detaylı olarak sunmak amacıyla kullanılabilir. Zorunlu olmayan elemanlar; normalleştirme, gruplandırma ve ağırlıklandırmayı içermektedir. Normalleştirme, sınıf gösterge sonuçlarının büyüklük hesabında, kullanılabilir. Gruplandırma, etki sınıflarının özelliklerine göre sınıflandırılması ya da derecelendirilmesinde, ağırlıklandırma ise değer ölçütlerine dayalı sayısal katsayıların kullanılması ile etki sınıflarına ait sonuçların tek boyutlu bir değere dönüştürülmesi için kullanılabilir (Hertwich and Hammitt, 2001). Bu aşamaya ait zorunlu olan ve zorunlu olmayan unsurların akış şeması Şekil 2.14'te verilmiştir.



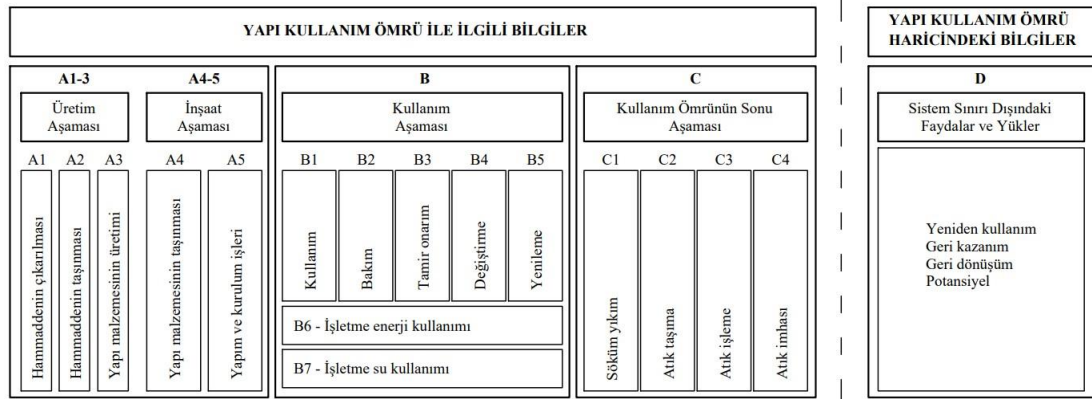
Şekil 2.14. Yaşam döngüsü etki değerlendirme aşamasına ait unsurların akış şeması (TS EN ISO 14040:2006, 2007).

2.2.1.1.d. Yaşam Döngüsü Yorumlaması (YDY)

Yaşam döngüsü yorumlama aşaması, ISO 14040 standardına göre yaşam döngüsü değerlendirmenin son aşamasını oluşturmaktadır. Yaşam döngüsü yorumlaması, amaç kapsam tanımına uygun olarak yapılmaktadır. Bu aşamada yaşam döngüsü sürecindeki sınırlamalar, yaşam döngüsü envanter analizi ve yaşam döngüsü etki değerlendirmesi aşamalarının bulgularına dayanan sonuçların çözümlenmesi yapılmaktadır. Ulaşılan sonuçlar ve çevresel etkilerin iyileştirilebilmesi adına oluşturulan önerilerin şeffaf olarak raporlanması gerekmektedir (TS EN ISO 14040:2006, 2007).

2.2.1.2. Yapıların Yaşam Döngüsü Değerlendirme Aşamaları

EN 15978 standardı yapıların yaşam döngüsü aşamalarını ve yapıların yaşam döngüsü boyunca olası çevresel etkilerini değerlendirmede kullanılan hesaplama yöntemini tanımlamaktadır. EN 15978 standardına göre yaşam döngüsü aşamaları modüller şeklinde düzenlenmiş ve A, B, C, D modülleri olmak üzere dört temel aşamada ele alınmıştır (TS EN 15978, 2012). Yaşam döngüsü aşamalarını oluşturan bu modüller Şekil 2.15'te verilmiştir.



Şekil 2.15. Yapılar için yaşam döngüsü aşamaları ve modüller (TS EN 15978, 2012).

A1-A3 modülleri üretim, A4-A5 modülleri inşaat, B modülleri kullanım, C modülleri kullanım ömrünün sonu aşamalarıdır. A1 modülünden C4 modülüne kadar olan aşamalar sistem sınırları içerisinde kalan etkileri ve çevresel yönleri kapsamakta olup, D modülü ise sistem sınırı dışında kalan fayda ve yükleri kapsamaktadır.

2.2.1.2.a. Üretim ve İnşaat Aşaması (A Modülü)

Üretim ve inşaat aşamalarını kapsayan A modülünde yapı malzemesi aşamaları, şantiye alanı seçimi ve yapı tasarımı önemli süreçlerdir. Bu aşamalarda yapı üretiminde kullanılacak olan yapı malzemelerinin, şantiyeye taşıma mesafeleri ile yöntemlerinin ve yapı tasarımının çevresel etkileri değerlendirilmektedir. A modülündeki aşamalar çevresel etkileri en yüksek olan aşamalar olarak ifade edilmektedir. Bu aşamalarda çevreye verilen zararlar uzun süreli olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir (Kim and Rigdon, 1998; TS EN 15978, 2012).

2.2.1.2.b. Kullanım Aşaması (B Modülü)

Kullanım aşamalarını kapsayan B modülü yapım işlerinin tamamlanması ile başlayıp yapının yıkılacağı zamana kadar olan süreci ele almaktadır. Kullanım aşamaları, yapı malzemelerinin faydalı ömrünü belirtmektedir. B modülü yapının kullanımını, bakım ve onarımını, kullanım ömrü tamamlanan elemanlarının değiştirilmesini, yapının tadilatını ve yenilenmesini, işletme enerji ve su kullanımını içermektedir. Kaynak tüketiminin neden olduğu çevresel etkileri düşürmede kullanım ve işletme aşamaları önem taşımaktadır (Kim and Rigdon, 1998; TS EN 15978, 2012).

2.2.1.2.c. Kullanım Ömrünün Sonu Aşaması (C Modülü)

Kullanım ömrünün sonundaki aşamaları kapsayan C modülü, yapının yıkımını, atıkların taşınmasını, atıkların yeniden kullanımı ya da geri dönüştürülmesi için işlenmesini ve atıkların imhasını içermektedir. Bir yapının faydalı ömrünün tamamlanması ve yapının hiçbir şekilde kullanılmaması ile kullanım ömrü sonlanmaktadır. Kullanım ömrü sona eren bir yapının yıkımı; atılması, geri dönüştürülmesi ve yeniden kullanılması planlanan malzemelerin, yapılara kaynak oluşturulacak duruma getirilmesi için gerçekleştirilen işlemler olarak değerlendirilebilmektedir. Yapının kullanım ömrünü tamamlama durumu, yapının bulunduğu alandan temizlenmesi gereken tüm malzemelerin ve yapı elemanlarının kaldırılması ve alanın yeni kullanımlara hazır duruma getirilmesi olarak varsayılmaktadır (TS EN 15978, 2012; Önal, 2022).

2.2.1.2.d. Kullanım Ömrü Haricindeki Aşama (D Modülü)

Yapıların kullanım ömrü haricindeki aşamayı kapsayan D modülü, yeniden kullanım, geri kazanım ve geri dönüşüm potansiyelinin etki ve faydalarının değerlendirildiği süreçtir. Tekrar kullanılması planlanan elemanlar, geri dönüştürülmesi ve enerji kazanımı için kullanılması planlanan malzemeler, daha sonra kullanılacak potansiyel kaynaklar olarak ele alınmaktadır. D modülünde, net malzeme akışıyla ortaya çıkan tekrar kullanım, geri dönüşüm ve enerji geri kazanımından elde edilen net çevresel fayda ve yükler ile sistem dışına çıkan dışarıdan temin edilen enerji hesaba dâhil edilmektedir (TS EN 15978, 2012).

2.2.1.3. Çevresel Etki Kategorileri

EN 15978 Standardı ile uyumlu çevresel etki kategorileri; küresel ısınma, ozon tabakasının incilmesi, asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal ozon oluşumu, fosil olmayan kaynaklar (elementler) için abiyotik tükenme, fosil kaynaklar için abiyotik tükenme ve biyogenik karbon depolama potansiyeli olarak sıralanabilmektedir (URL 1). Bu çevresel etki kategorilerine ait birimler Çizelge 2.2’de verilmiştir.

Çizelge 2.2. Çevresel etki kategorileri ve birimleri (URL 1).

Kategori	Birim
Küresel Isınma Potansiyeli, GWP	kg CO ₂ eşdeğeri
Ozon Tabakasının İncilmesi Potansiyeli, ODP	kg CFC-11 eşdeğeri
Asidifikasyon Potansiyeli, AP	kg SO ₂ eşdeğeri
Ötrofikasyon Potansiyeli, EP	kg PO ₄ eşdeğeri
Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli, POCP	kg Ethene eşdeğeri
Fosil Olmayan Kaynaklar (Elementler) İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli, ADP-elements	kg Sb eşdeğeri
Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli, ADP- fossil fuels	MJ
Biyogenik Karbon Depolama Potansiyeli	kg CO ₂ eşdeğeri bio

2.2.1.3.a. Küresel Isınma Potansiyeli

Küresel ısınma fosil yakıtların yanması ve çeşitli endüstriyel-tarımsal faaliyetlerin sonucunda atmosfere sera gazlarının salımı durumuna bağlı olarak iklim sisteminde meydana gelen önemli farklılıklar olarak tanımlanabilmektedir. Karbondioksit miktarının atmosferde artmasına bağlı olarak sera etkisi oluşmakta ve bu da küresel ısınmaya neden olmaktadır. Küresel ısınma, dünyada iklim değişikliklerine yol açmaktadır. Bu da kutuplarda yer alan buzulların eriyerek, deniz seviyesinin yükselmesine ve önemli miktarlarda tarım alanlarının sular altında kalmasına neden olacaktır. Sera etkisini önleyebilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artırılması ve fosil yakıtların tüketiminin mümkün olduğunca azaltılması gerekmektedir (Özey, 2001; Keleş ve Hamamcı, 2005; Gültekin, 2006).

2.2.1.3.b. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli

Ozon tüketici çeşitli bileşenlerin atmosfere salımı ile ozon tabakasının hasar alması olarak ifade edilebilmektedir. Kloroflorokarbon (CFCs) bileşiklerinin atmosfere yayılması, ozon tabakasının incelmesindeki ana etkindir. Yapı sektöründe yalıtım malzemeleri, yangın söndürme sistemleri, soğutma tesisleri ve klimalarda kullanılan kloroflorokarbon (CFCs) önemli ölçüde ozon tabakasını inceltme potansiyeline sahiptir. Ozon tabakası dünyayı çevreleyerek güneşin mor ötesi ışınlarının emilimini sağlamakta ve bu ışınlardan tüm canlıların olumsuz etkilenmesini önlemektedir. Ozon tabakası mor ötesi ışınlarının emilimi işlevini, oksijenin ozona dönüşmesi ve ozonun da parçalanarak tekrar oksijene dönüşmesi esnasında ultraviyole ışınlarının kullanımı ile gerçekleşmektedir. Atmosferdeki ozon tabakasının yoğunluğu, güneşten gelen morötesi ışınlarının emilimini gerçekleştiremeyecek derecede azalması durumu, ozon tabakasının incelmesi olarak ifade edilmektedir. Bu durum, deri kanseri ve bağışıklık sistemi rahatsızlıklarını artırmakta olup, ekosisteme ve organizmalara hasar vermektedir (Keleş ve Ertan, 2002; Anderson et al., 2002; Roaf et al., 2004; Gültekin, 2006).

2.2.1.3.c. Asidifikasyon Potansiyeli

Asidifikasyon, çoğunlukla fosil yakıtların yanmasına bağılı olarak ortaya çıkan asit gazlarının havaya, toprağı ve suya salımı ile meydana gelmektedir. Fosil yakıtların yanması sonucu ve endüstriyel işlemlerde ortaya çıkan kükürt dioksit (SO₂), azot oksit (NO_x) gibi asidik gaz salımları asidifikasyona neden olmaktadır. Bu asidik gazlar atmosferde ya da toprak içerisinde su ile etkileşime girmektedir. Atmosferde su ile reaksiyona girmeleri sonucu asit yağmurları oluşmaktadır. Asit depolanması malzemeleri aşındırmakta ve ekosisteme zarar vermektedir. Asidifikasyon, biyolojik organizmalar, toprak, yerüstü ve yeraltı suları, ekosistem ve malzemeler (yapılar) üzerinde oldukça kapsamlı etkiye sahiptir (Gültekin, 2006; Karaman Öztaş, 2014).

2.2.1.3.d. Ötrofikasyon Potansiyeli

Ötrofikasyon, sulardaki besin maddesi birikimine bağılı olarak su ekosisteminin bozulması, bunun sonucunda sudaki canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için ihtiyaç duydukları oksijen miktarının azalması olarak ifade edilebilmektedir. Su ekosistemde besin birikimi fazla azot, fosfor ve bozunabilir organik maddelerden kaynaklanmaktadır. Ötrofikasyona su sıcaklığının artması, tarımsal kirlilik ve atık sular yol açmaktadır. Fabrikalar, enerji santralleri, konutlar gibi yapılardan çıkan ve atık su olarak isimlendirilen kirli sular, yüzey sularına ve yeraltı sularına karışarak onları kirletmektedir. İnsan sağlığına zararlı olan zehirli maddeleri içeren atık sular, deniz, göl ve akarsulara karışarak bu suların organik ve inorganik besin maddeleri açısından zenginleşmesini sağlamaktadır. Bu olay ötrofikasyon yani biyoelementler tarafından suların zenginleştirilmesi olarak adlandırılmaktadır. Ötrofikasyon sonucunda sularda yaşayan yeşil bitkiler beslenerek büyük biyolojik kütleler oluşturmaktadır. Bu istenmeyen bitkiler oldukça fazla oksijene ihtiyaç duydukları için sudaki oksijeni azaltmakta ve diğere canlıların oksijen azalmasına bağılı olarak ölümüne neden olmaktadır (Çepel, 1992; Kışlalıoğlu ve Berkes, 1993; Gültekin, 2006).

2.2.1.3.e. Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli

Ozon (O₃) gazı, atmosferin Stratosfer tabakasında yer alması ile ekosistemi güneşin zararlı ışınlarından koruma görevi üstlenirken, Troposfer tabakasında yer alan ve insan kaynaklı faaliyetler sonucu oluşan ozon gazı zararlı hale gelmektedir. Fotokimyasal ozon oluşumu atmosferdeki maddelerden kaynaklı fotokimyasal sis oluşumu etkisini ifade etmekte olup yaz sisi olarak da adlandırılabilir. Uçucu organik bileşiklerin, azot oksitlerin (NO_x), hidrokarbonların ve tozun gün ışığında salımıyla yeryüzünde fotokimyasal sis oluşmaktadır. Fotokimyasal ozon oluşumu bitki yüzeylerinin bozulmasına, yapraklarının renk değiştirmesine ve kurumalarına yol açabilmektedir. Fotokimyasal sise insanların maruz kalması ile solunum problemleri, gözde tahriş gibi rahatsızlıklar görülebilmektedir. Yapı sektöründen kaynaklı fotokimyasal sis oluşumundaki temel etken fosil yakıt kullanımı olup boya, tutkal gibi yapı malzemelerinden açığa çıkan uçucu organik bileşikler de fotokimyasal sis oluşumunun etkenlerindedir (Calkins, 2009; Karaman Öztaş, 2014).

2.2.1.3.f. Fosil Olmayan Kaynaklar (Elementler) İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli

Bu etki kategorisi fosil olmayan kaynakların kullanımıyla ilişkilidir. Fosil olmayan doğal kaynakların tüketimi sonucu stoklarının azalması olarak ifade edilebilmektedir. Element ve mineraller fosil tabanlı olmayan doğal kaynaklardan olmalarına karşın yenilenemeyen kaynaklar oldukları için gelecekte tükenme potansiyelleri bulunmaktadır. Yapı sektöründe bu kaynaklar önemli ölçüde tüketilmektedir. Kalker, alçı taşı ve kil gibi mineraller çimento yapımında, demir elementi donatı yapımında, alüminyum, bakır, çinko gibi elementler cephe ve çatı kaplamaları gibi yapı elemanlarının üretiminde tüketilmektedir. Bu kaynaklar tüketildiği zaman geri dönüştürülemiyor ise tükenerek ortadan kaybolma durumları söz konusudur. Bu kaynakların tükenmesi ile de kaynağa bağlı olan birçok sürecin olumsuz etkilenmesi kaçınılmaz bir durumdur (Williams, 2002; European Commission et al., 2010).

2.2.1.3.g. Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli

Bu etki kategorisi fosil yakıtların tüketimine bağlı olarak kaynaklara ait stoklarının azalması ile ifade edilebilmektedir. Fosil yakıtların yenilenmesi milyonlarca yıl aldığından dolayı yenilenemeyen kaynaklar olarak kabul edilmektedir. İnsanlar tarafından yüksek kaliteli olan kaynaklar ilk tüketilme eğiliminde olup düşük kaliteli kaynaklar ileride kullanılmak üzere bırakılmaktadır. Doğal kaynakların bilinçsiz kullanımına ve bu kaynaklara zarar verilmesine bağlı olarak gelecek kuşakların bu durumdan olumsuz etkilenmesi ve daha fazla çaba-enerji tüketerek kalan kaynaklara erişimleri söz konusudur. Düşük kaliteli olan kaynak kullanımı ile 1m³ ya da 1kg fosil yakıt daha fazla enerji ile elde edilmiş olacaktır. Bu durum, bu etki kategorisinde MJ fazla enerji olarak incelenmektedir (Özdemir, 2012; Jensen et al., 1997).

2.2.1.3.h. Biyojenik Karbon Depolama Potansiyeli

Biyojenik karbon, bitkiler ve toprak gibi biyolojik materyallerde depolanan karbonu ifade etmektedir. Karbon, fotosentez yoluyla bitkilerde birikir ve bu nedenle biyo-bazlı malzemeler, atmosferdeki karbondioksit seviyelerinin düşürülmesine katkıda bulunabilmekte ve küresel ısınma sorununun hafifletilmesine yardımcı olabilmektedir. Yapı malzemelerindeki biyojenik karbon negatif bir karbon emisyonudur. Biyojenik karbon tutma ve depolama, atmosfere karbondioksitin (CO₂) salımını engellemeye yöneliktir (One Click LCA, 2021).

Bu çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi, enerji korunumunda oldukça önemli bir yere sahip olan ve yapılarda yaygın olarak kullanılan yapı malzemelerinden ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Enerji etkin yapı tasarımlarında ve pasif evlerde enerji korunumunun gerçekleşebilmesinde yapı kabuğu ısı performansının önemli olması nedeniyle yapı kabuğunda kullanılan malzemelerin seçimi ve özellikleri de önemli olmaktadır. Yapı kabuğunda kullanılan malzemelerden de ısı yalıtımı malzemeleri enerji etkinliğinde önemli role sahiptir. Isı yalıtımı malzemeleri, yapıların kullanım aşamaları boyunca enerjiden tasarruf edilmesini sağlarlar da bu malzemeleri yalnızca yapıların kullanım aşamasındaki faydaları kapsamında değerlendirmek doğru değildir. Isı yalıtımı

malzemelerinin üretim aşamalarından itibaren tüm yaşam döngüsü aşamalarında çevresel etkilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir (Tuna, 2010; Ceylan, 2012). Bölüm 2.2.2’de ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel etkilerine detaylı olarak değinilmiştir.

2.2.2. Isı Yalıtımı Malzemelerinin Çevresel Etkileri

Isı yalıtımı malzemeleri, farklı sıcaklıklara sahip iki ortam arasındaki ısı geçişini kontrol etmek için kullanılan malzemelerdir. Uluslararası Standartlar Kuruluşu’na (ISO) göre bir malzemenin ısı yalıtım malzemesi olabilmesi için, ısı yalıtım malzemelerinin en belirgin özellikleri olan ısı iletkenlik katsayısı değerinin (λ) 0,065 W/mK’den daha küçük olması beklenmektedir (Eren, 2019). Yalıtım malzemeleri, yapı bileşenlerini ve taşıyıcı sistemini dış faktörlerden koruyarak, kullanım amacına uygun şekilde konforlu ve sağlıklı iç mekanların oluşmasını sağlamayı amaçlamaktadır (Ekici vd., 2012).

Isı yalıtımı malzemeleri literatürde farklı şekillerde sınıflandırılmaktadır. Bu çalışmada ısı yalıtımı malzemeleri Çizelge 2.3’te verildiği gibi doğal-yapay-ileri teknoloji ısı yalıtım malzemeleri olarak sınıflandırılmıştır.

Çizelge 2.3. Isı yalıtım malzemelerinin sınıflandırılması (Pfundstein et al., 2008)’den alınarak düzenlenmiştir.

DOĞAL ISI YALITIMI MALZEMELERİ	YAPAY ISI YALITIMI MALZEMELERİ	İLERİ TEKNOLOJİ ISI YALITIMI MALZEMELERİ
<ul style="list-style-type: none">•Genleştirilmiş Perlit•Genleştirilmiş Perlit Levha•Genleştirilmiş Vermikülit•Genleştirilmiş Mantar Levha•Selüloz Yalıtım•Ahşap Yünü Levhalar•Ahşap Lifli Levhalar	<ul style="list-style-type: none">•Camyünü•Taşyünü•Cam Köpüğü•XPS (Ekstrüde Polistiren)•EPS (Ekspande Polistiren)•PUR (Poliüretan Köpük)•Fenolik Köpük	<ul style="list-style-type: none">•Aerojel•VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli)

Isı yalıtım malzemeleri, teknolojinin hızla gelişmesine bağlı olarak enerjinin hayatımızdaki öneminin artması, bununla birlikte doğal kaynakların hızla tükenmesi, ekolojik dengenin bozulmaya başlaması ve çevre kirliliğinin artması gibi durumlara bağlı olarak enerji korunumunun önemli hale gelmesi ile üzerinde titizlikle durulması gereken bir konu olmuştur (Akıncı, 2007). Yapılarda ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmaması durumunda, özellikle ısıtma talepleri ciddi oranlarda artış göstermektedir. Isıtma talebinin karşılanabilmesi için enerji-yakıt tüketimleri artmaktadır. Fazla yakıt kullanımına bağlı olarak da kullanım aşamasında çevreye verdiği zararları daha yüksek olan, maliyeti yüksek yapılar ortaya çıkmaktadır. Isı yalıtım malzemelerinin kullanımı ile yapıların enerji ihtiyacı düşürülerek, enerji tasarrufu sağlayan yapılar üretilebilmektedir (Bayraktar ve Bayraktar, 2016).

Enerji tüketimi küresel ısınma, iklim değişikliği, ozon tabakasının incilmesi, asit yağmurları gibi birçok çevresel soruna neden olmaktadır. Fosil kaynaklardan olan kömür, petrol, doğalgaz gibi yakıtların yanması ile CO₂ oluşmaktadır. Atmosferde CO₂ artışına bağlı olarak sera etkisi oluşmakta ve sıcaklık değerleri artış göstermektedir. Bu durum da küresel ısınmaya neden olmaktadır (Ayçam vd., 2010). Yapılar CO₂ oluşumunda önemli bir paya sahiptir. Yapılarda ısıtma ihtiyacı için kullanılan yakıtların neden olduğu CO₂ emisyonlarının azaltılabilmesi ısı yalıtım uygulamaları ile gerçekleştirilebilmektedir. Yapı kabuğunda ısı yalıtım uygulamaları yapılarak yalıtımsız bir kabuğa göre büyük oranlarda CO₂ emisyonlarının azaltıldığı tespit edilmiştir (Özel, 2018). Aktif ısıtma sistemine ihtiyacı bulunmayan, enerji korunumunun yüksek olduğu yapılarda özellikle yapı kabuğunda yüksek oranlarda ısı yalıtım uygulamaları yapılmaktadır.

Yapılarda tüketilen enerjinin büyük bir kısmı ısı konforun sağlanması amacıyla ısıtma ve soğutma için kullanılmaktadır (Sağdıçoğlu, 2020). En çok enerjinin tüketildiği yerde en çok kazanç sağlanacağı kaçınılmazdır. Bu nedenle yapı kabuğunda ısı yalıtım yapılması büyük önem taşımaktadır. Isı yalıtım malzemeleri tercih edilirken fiziksel, mekanik, kimyasal özellikleri gibi çevresel özelliklerinin de bilinmesi gerekmektedir. Isı yalıtım malzemelerinin seçimi, yapıların ve çevrenin sürdürülebilirliği bağlamında oldukça önemlidir. Isı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü boyunca oluşturdukları çevresel etkilerin bilinmesi ile bilinçli tercihler

yapılabilmekte ve bu sayede de yapıların çevresel etkilerinin düşürülebilmesine ve sürdürülebilirliğin sağlanmasına yardımcı olunabilmektedir.

Isı yalıtım malzemeleri bir taraftan enerji kaynaklarının korunmasını sağlamakta ve bununla bağlantılı olarak da fosil yakıtların yanması ile oluşan hava kirliliğini önlemekte, diğer taraftan üretim aşamasından başlayarak yaşam döngüsü aşamalarında çeşitli çevresel etkilere yol açmaktadır (Çamur, 2010). Isı yalıtım malzemeleri enerji tasarrufu sağlayarak yapıların çevresel etkilerinin düşürülmesini sağlamakta olup bu malzemeleri sadece yapıların kullanım aşamasında sağladıkları faydalarla değerlendirmek yeterli olmamaktadır. Yapının kullanım aşamalarında enerji korunumu ve tasarrufu sağlayarak yapılarda oluşan çevresel etkilerin düşürülmesini ve yenilenemeyen enerji kaynaklarının korunmasını sağlayan ısı yalıtım malzemelerinin hammadde ediniminden itibaren yaşam döngüsü aşamalarının çevresel açıdan ele alınması ve yaşam döngüleri boyunca neden oldukları çevresel etkilerin değerlendirilmesi gerekmektedir (Ceylan, 2012).

Isı yalıtım malzemeleri, yapı kabuğunun enerji, çevresel ve ekonomik performansında tartışılmaz bir öneme sahiptir. Bu nedenle yapılarda kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin çevresel etkilerinin belirlenmesi oldukça önemlidir (Silvestre et al., 2011).

Dünya çapında yürütülen ısı yalıtım malzemelerine ilişkin yaşam döngüsü değerlendirme çalışmalarının sonuçları şunları göstermektedir (Pargana et al., 2014);

- Üretim teknolojisi, enerji kullanımı ve en önemli çevresel etki kategorileri ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir.
- Üretim aşaması ile ilgili olarak, malzeme bileşimine geri dönüştürülmüş malzemelerin dâhil edilmesi ve doğal reçinelerin kullanılması, çevresel performanslarının iyileştirilmesine yardımcı olmaktadır.
- Sahaya nakliye ile ilgili olarak, bir yalıtım malzemesi seçerken hem imalatta kullanılan enerjinin hem de yalıtım üretim yerinin konumunun dikkate alınması önemlidir.

- En iyi çevresel performansa sahip ısı yalıtım malzemesi, her çalışmada seçilen çevresel etki kategorilerine büyük ölçüde bağlıdır.
- Isı yalıtım malzemeleri, hammadde kökenine (mineral, yağ bazlı, organik vb.) bağlı olarak her grup için farklı ana çevresel etki kategorilerinde sonuçlar vermektedir.

Isı yalıtım malzemeleri yaşam döngüleri süresinde çeşitli çevresel etkilere yol açmakta olup bu çevresel etkiler ısı yalıtımından ısı yalıtımına değişiklik göstermektedir. Isı yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri hammadde kaynağına, hammadde çıkarımına, üretim sürecindeki işlemlere, katkı maddelerine ve daha birçok etkene göre değişim göstermektedir. Örneğin XPS, EPS gibi yaygın olarak kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin hammaddeleri olan polistiren, petrol tabanlı bir ürün olup üretim ve imha aşamasındaki bazı sorunlardan kaynaklı olarak çevresel etkileri değişebilmektedir. XPS ve EPS ısı yalıtım malzemelerinin üretiminde genişletme amacıyla kullanılan bazı gazlar atmosfer tabakasına zarar verebilmektedir. Genleştirilmiş perlit gibi üretim aşamasında doğal kaynakların yüksek enerji harcanarak işlenmesiyle üretilen yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri fazla enerji kullanılarak üretilmelerinden dolayı yüksek olabilmektedir. Aerojel gibi üretim evresinde kimyasal tepkimelerin gerçekleştirildiği yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri kimyasal tepkimelere göre değişebilmektedir. Bu bağlamda ısı yalıtımlarının bütünü ısı korunumunu sağlayarak yapıların kullanım aşamalarındaki çevresel etkilerin düşürülmesine katkıda bulunsalar da kendi içlerinde çevresel etkileri değişim göstermektedir. Bu anlamda enerji korunumu yüksek ve çevresel etkileri düşük yapılar üretebilmek amacıyla yalıtımların çevresel etkilerinin incelenmesi ve düşük çevresel etkiye sahip yalıtım malzemelerinin tercih edilmesi oldukça önemlidir.

Isı yalıtım malzemelerinin A1-A3 (beşikten kapıya) aşamalarında meydana gelen çevresel etkilerde, hammaddenin çıkarımı ve işlenmesi (A1) aşamasının payı genleştirilmiş mantar levha gibi doğal hammaddelerden oluşmayan yalıtım malzemelerinde genellikle yüksektir (Pargana et al., 2014). Doğal hammaddelerden üretilen ısı yalıtım malzemelerinin genelinde A1 aşamasının çevresel etkileri düşük olsa da bu durumun tüm doğal hammadde kökenli ısı yalıtımları için geçerli olmadığı söylemek mümkündür.

Kanada’da aynı U değerine sahip olacak şekilde selüloz, camyünü, EPS ve PUR yalıtım malzemelerinin üretim aşamasında kullanılan enerjiye yönelik bir çalışma yapılmıştır. Üretiminde en fazla enerji tüketen yalıtım malzemesinin PUR olduğu ve onu EPS levha ve camyününün takip ettiği görülmüştür. En az enerji tüketen yalıtım malzemesinin ise selüloz olduğu ve EPS ile PUR üretiminin selüloz üretiminden yaklaşık 40 kata kadar daha fazla enerji tükettiği görülmüştür (Harvey, 2007).

Yunanistan’da yapılan bir YDD çalışmasında, yaygın olarak kullanılan yalıtım malzemelerinden olan PUR, XPS, EPS ve mineral yünün aynı U değerinde olacak şekilde üretim, nakliye ve yapım-kurulum (A1-A5) aşamalarından kaynaklanan küresel ısınma potansiyelleri incelenmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre PUR yalıtım malzemesinin küresel ısınma potansiyeli en yüksek iken onu XPS takip etmiştir. EPS ve mineral yünün küresel ısınma potansiyeli ise daha düşüktür (Anastaselos et al., 2009).

Slovenya’da yapılan bir çalışmada, 15 adet ısı yalıtımı malzemesinin aynı U değeri sağlayacak şekilde, işlevsel birim 1m² alınarak, beşikten kapıya (A1-A3) yaşam döngüsü aşamalarının karbon ayak izi hesaplanmıştır. Çalışma için seçilen ısı yalıtım malzemelerinin içerisinde EPS (farklı yoğunluklarda 2 adet), XPS, PUR, camyünü (farklı yoğunluklarda 2 adet), taşıyünü (farklı yoğunluklarda 2 adet), ağaç lifli levha (farklı yoğunluklarda 2 adet), selüloz, genleştirilmiş mantar, cam köpüğü levha, arojel ve vakumlu yalıtım paneli bulunmaktadır. Çalışmanın sonuçlarına göre aynı U değerine sahip ısı yalıtımı malzemelerinden cam köpüğü levha en yüksek karbon ayak izine sahipken onu arojel ve vakumlu yalıtım paneli takip etmektedir. En düşük karbon ayak izine az yoğunluklu ağaç lifli levha sahipken onu selüloz ve az yoğunluklu camyünü takip etmektedir. Camyünü, taşıyünü gibi iki farklı yoğunlukta alınan ısı yalıtımı malzemelerinden ise yoğunluğu az olanların karbon ayak izlerinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Kunič, 2017).

Yapılan bir çalışmada 15 adet ısı yalıtımı malzemesi inorganik-sentetik, organik-sentetik ve organik-doğal olmak üzere 3 gruba ayrılarak beşikten kapıya (A1-A3) yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etkileri belirlenmiştir. Yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılırken U değerleri aynı olacak şekilde ve işlevsel

birimleri 1m² olarak ele alınmıştır. İnorganik sentetikler, camyünü, düşük ve yüksek yoğunluklu taşıyünü ve cam köpüğüdür. Organik-sentetik grubu, düşük ve yüksek yoğunluklu EPS, XPS, PUR, poliizosiyanürat köpük (PIR) ve fenolik köpük levhadan oluşmaktadır. Organik-doğal gruptaki yalıtımlar, düşük ve yüksek yoğunluklu ağaç lifli levha, selüloz ve saman balyalarıdır. Ayrıca vakum yalıtım panelinin de çevresel etkisi belirlenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre vakum yalıtım panelinin hemen hemen tüm kategorilerde en kötü çevresel performansı gösterdiği ve genel olarak doğal ısı yalıtımlarının daha iyi çevresel performans gösterdiği sonucuna ulaşılmıştır. Diğer yalıtımlar için her kategorideki etki çeşitli faktörlerden etkilense de, vakum yalıtım paneli için çevresel etkinin büyük bir kısmı, çekirdek malzeme olan füme silikanın üretimi ile ilgili süreçlerden kaynaklandığı söylenmektedir. Küresel ısınma potansiyeli kategorisinde tüm organik-doğal yalıtım malzemelerinin negatif yönde etki göstererek en düşük çevresel etkiye sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum organik-doğal yalıtım malzemelerinin neden olduğu CO₂ salımından daha fazla CO₂ depolandığını göstermiştir. Küresel ısınma potansiyeli kategorisinde vakumlu yalıtım paneli en yüksek çevresel etkiye sahipken onu cam köpüğü takip etmiştir (Dovjak et al., 2017).

Bu çalışma kapsamında Çizelge 2.3'te verilen ısı yalıtımı malzemelerinin doğal, yapay ve ileri teknoloji malzemeler şeklindeki sınıflandırması dikkate alınmıştır. Bu kategorilerden yaygın kullanılan ısı yalıtımı malzemeleri seçilmiştir. Doğal ısı yalıtım malzemelerinden 3, yapay ısı yalıtım malzemelerinden 5 ve ileri teknoloji ısı yalıtım malzemelerinden 2 olmak üzere toplam 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi seçilmiştir. Doğal ısı yalıtım malzemelerinden geliştirilmiş perlit levha, geliştirilmiş mantar levha ve püskürtme selüloz, yapay ısı yalıtım malzemelerinden taşıyünü levha, XPS, EPS, camyünü levha ve poliüretan köpük, ileri teknoloji ısı yalıtım malzemelerinden arojel levha ve vakumlu yalıtım paneli seçilmiştir.

Doğal ısı yalıtım malzemelerinin ana hammaddeleri; geliştirilmiş perlit levhanın geliştirilmiş perlit, geliştirilmiş mantar levhanın ham mantar ve püskürtme selülozun ise kâğıtlardır. Yapay ısı yalıtım malzemelerinin ana hammaddeleri; taşıyünü levhanın doğal taşlar (genellikle bazalt ve dolomit), XPS ve EPS levhanın genleşebilir polistiren granülleri, camyünü levhanın silis kumu ve geri dönüştürülmüş cam, poliüretan köpüğün ise izosiyanat ve poliollerdir. İleri teknoloji ısı yalıtım

malzemelerinin ana hammaddeleri; aerojel levhanın silika ve elyaf, vakumlu yalıtım panelinin ise genellikle füme silikadır (Pargana et al., 2014; URL 1).

Bu bağlamda tez çalışması kapsamında mevcut konutların Pasif Ev EnerPHit Standardı'na uygun hale getirilmesine yönelik ısı yalıtımı malzemeleri ile iyileştirme önerilerinin oluşturulması ve bu iyileştirme önerilerinde kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yoluyla çevresel etkilerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Çizelge 2.3'te verilen doğal, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden yaygın olarak kullanılan 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi seçilerek, EnerPHit Standardı dış duvar U değerini sağlayacak şekilde aynı U değerinde ve işlevsel birim 1m² alınarak A1-A4 (retim - şantiyeye taşıma) aşamalarının çevresel etki değerlendirmesi yapılmıştır.

BÖLÜM 3

MATERYAL VE METOT

3.1. MATERYAL

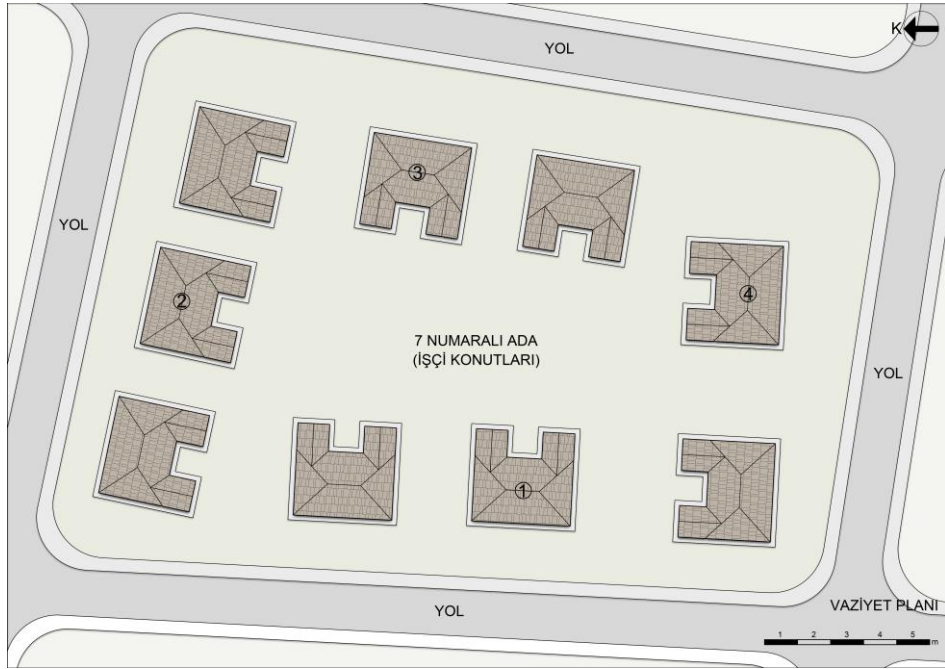
Çalışmanın kapsamı mevcut konutların enerji performansının belirlenmesi, bu konutların Pasif Ev EnerPHit Standardı'na uygun hale getirilmesine yönelik iyileştirme önerilerinin oluşturulması ve bu iyileştirme önerilerinde kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yoluyla çevresel etkilerinin belirlenmesidir. Bu kapsam doğrultusunda çalışma alanı, enerji simülasyon programı ve yaşam döngüsü değerlendirme yazılımı seçimi oldukça önemlidir. Bu bölümde çalışma alanı olarak seçilen Yenişehir Mahallesi 7 numaralı adada bulunan işçi konutları detaylı bir şekilde incelenmiş ve çalışma alanı olarak seçilme nedenlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca DesignBuilder simülasyon programı, One Click LCA yaşam döngüsü değerlendirme yazılımı ve sıcaklık kayıt cihazı sunulmuştur.

3.1.1. Yenişehir İşçi Konutları

Çalışma kapsamında, Karabük'ün Yenişehir Mahallesi 7 numaralı adada bulunan işçi konutları çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yenişehir Mahallesi ve buradaki işçi konutları Karabük için oldukça önemlidir. Demir Çelik Fabrikası'nın açılmasıyla bir sanayi kenti olmaya başlayan Karabük'te, fabrika çalışanlarının barınma sorununu çözmek amacıyla Yenişehir'de modern ve örnek bir mahalle kurulmuştur. Yenişehir Mahallesi'nin planı Fransız mimar ve şehir planı Henri Prost tarafından 1938 yılında hazırlanmıştır. Yenişehir planında Fransızların Cite-Jarden ve Almanların Siedlung modeli olan bahçe-şehir anlayışına uygun bir yaklaşım görülmektedir (Çabuk vd., 2016). Yenişehir planlanırken parselasyondan kaçınılmıştır. Ada bazında tasarımlar yapılarak konutlar için geniş bahçeler oluşturulmuştur (Onur, 2021). Ayrıca Yenişehir Mahallesi 3. Derece doğal sit ve kentsel sit alanı olarak korunmaktadır.

Yenişehir Mahallesi'nin ve buradaki işçi konutlarının Karabük için önemli olması, işçi konutlarının sürdürülebilir olarak enerji performansı bağlamında iyileştirilmeye ihtiyacı olan yapılar olması çalışma alanı olarak seçilmesinin önemli nedenleri arasında sayılabilmektedir.

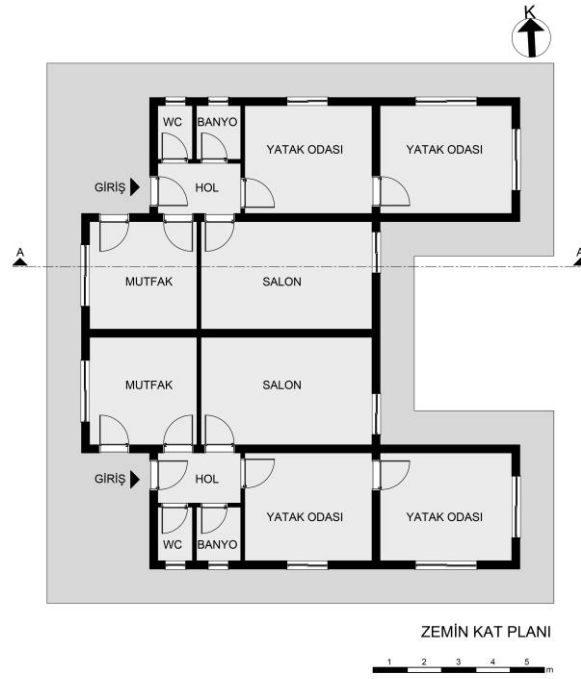
Çalışma kapsamında incelenen Yenişehir Mahallesi'nde bulunan 7 numaralı adada, A1 olarak isimlendirilen tip projeler bulunmaktadır. A1 tipindeki bu konutlar iki bloktan oluşmakta ve bu adada toplam 18 konut yer almaktadır. İşçi konutları ada çeperlerine konumlandırılmıştır. Konutlar ana yönlerden 3°, 9° ve 12°'lik sapmalarla yerleştirilmiştir. 4 konut doğu-batı yönünde, 5 konut ise kuzey-güney yönünde adaya yerleştirilmiştir. 7 numaralı ada vaziyet planı Şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. 7 numaralı ada vaziyet planı (Karabük Belediyesi, 2020)'den alınarak düzenlenmiştir.

İşçi konutları yığma yapı sisteminde inşa edilmiştir. A1 tipindeki bu konutlar iki bloğun yan yana getirilmesi ile oluşturulmuştur. Tek blok için taban alanı yaklaşık 70m² olup, iki blok taban alanı toplamı yaklaşık 140m²'dir. Konutlar 13m x 14m boyutlarında girinti-çıkıntıları olan bir plana sahiptir. İki blok birbirinin tam simetriği olarak tasarlanmıştır. Konutlar tek katlı ve kat yüksekliği 3m olarak inşa edilmiştir. Kıрма çatılı olan bu konutların kıрма çatısı soğuk çatı olarak tasarlanmıştır.

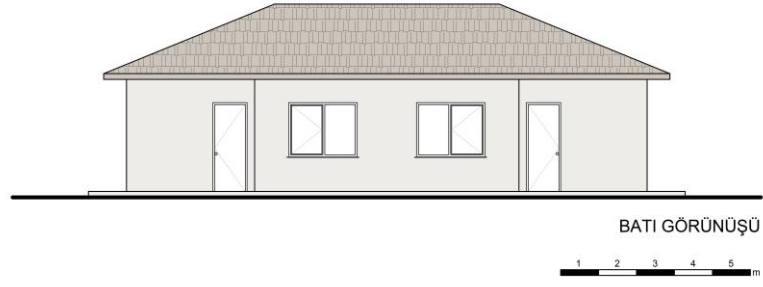
Konutlarda mutfak, salon, 2 adet yatak odası ve ıslak mekânlar bulunmaktadır. Vaziyet planında (Şekil 3.1) 1 numara ile gösterilen doğu-batı yönünde konumlandırılmış konutun plan, kesit ve görünüşü Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4'te verilmiştir. 1 numaralı konutun pencere-duvar açıklık oranları kuzey cephede %9,05, doğu cephede %17,3, güney cephede %9,05 ve batı cephede %11,4 şeklindedir. Adada bulunan tüm konutlar aynı tip olduğu için açıklık oranları da aynı olup sadece açıklık yönleri farklıdır.



Şekil 3.2. 1 numaralı A1 tipi konut planı (Karabük Belediyesi, 2020)'den alınarak düzenlenmiştir.



Şekil 3.3. 1 numaralı A1 tipi konut A-A kesiti (Karabük Belediyesi, 2020)'den alınarak düzenlenmiştir.



Şekil 3.4. 1 numaralı A1 tipi konut batı görünüşü (Karabük Belediyesi, 2020)'den alınarak düzenlenmiştir.

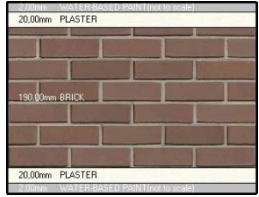






Şekil 3.5. A1 tipi işçi konutlarının giriş cephesi.

7 numaralı adada bulunan işçi konutlarının yapı kabuğu elemanlarında ısı yalıtımı malzemesi kullanılmamış olup yapı kabuğunun oldukça zayıf olduğu söylenebilmektedir. Yapı kabuğunun bu durumuna bağlı olarak kış aylarında yapının ısıtılması ve ısıl konfor koşullarının yakalanması oldukça zorlaşmaktadır. Bu durumdan dolayı da bu konutların bir kısmı kış aylarında kullanılmamaktadır.

İşçi konutlarında duvar dolgu malzemesi olarak tuğla kullanılmıştır. Pencere PVC çerçeveli ve çift camdan oluşmaktadır. Konutlarda kullanılan ayrıntılı malzeme bilgileri Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Yapı bileşenlerinde kullanılan malzeme katmanları.

Yapı Bileşenleri	Malzemeler	Katmanlar
Dış Duvar	Su Bazlı Plastik Boya 2cm Dış Kaba Sıva 19cm Tuğla 2cm İç Kaba Sıva Su Bazlı Plastik Boya	Dış  İç
İç Duvar	Su Bazlı Plastik Boya 1,5cm İç Kaba Sıva 8,5cm Tuğla 1,5cm İç Kaba Sıva Su Bazlı Plastik Boya	İç  İç
Zemin Döşemesi	2cm Ahşap Zemin Kaplama 5cm Tesviye Betonu 10cm Grobeton Döşeme	İç  Dış
Çatı Döşemesi	Su Bazlı Plastik Boya 2cm Tavan Sıvası 10cm Betonarme Döşeme 5cm Tesviye Betonu	İç  Dış
Kırma Çatı	2cm Marsilya Tipi Kiremit 3cm Çatı Kaplama Tahtası	Dış  İç

3.1.2. Program ve Yazılımlar

Çalışmada, konutların mevcut enerji performansları ve EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji performansları DesignBuilder simülasyon programı aracılığıyla belirlenmiştir. İyileştirme önerilerinde kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yoluyla çevresel etkilerini belirlemek için ise Autodesk Revit programı ve eklentisi olan One Click LCA yazılımı kullanılmıştır.

3.1.2.1. DesignBuilder Simülasyon Programı

Çalışmada Yenişehir işçi konutlarının mevcut durumunun ve iyileştirme önerilerinin enerji performansını belirlemede DesignBuilder simülasyon programı kullanılmıştır. DesignBuilder yapıların enerji tüketimi, karbon salımı, aydınlatma ve konfor parametrelerinin ölçümü için geliştirilmiş bir simülasyon programıdır. DesignBuilder, enerji performans verileri oluşturmak için EnergyPlus dinamik simülasyon motorunu kullanmaktadır. EnergyPlus grafik arayüzü kullanıcı dostu olmayan bir simülasyon programıdır. DesignBuilder EnergyPlus simülasyon motoru için grafiksel arayüz geliştirilen ilk, en etkili ve kullanımı kolay bir programdır. EnergyPlus Amerika Enerji Bakanlığı tarafından yapıların ısıtma, soğutma, aydınlatma, havalandırma ve diğer enerji akışlarını modellemek amacıyla oluşturulmuştur. EnergyPlus sürekli geliştirilmekte olan yüksek hesaplama kapasitesine sahip son derece güçlü ve en kapsamlı enerji simülasyon motorudur (DesignBuilder, 2009).

DesignBuilder sürdürülebilir yapı tasarımı ve değerlendirmesi amacıyla yüksek verimli araçlardan oluşan, tamamen modüler sisteme sahip bir programdır. Yapıların detaylı analizi için 3 boyutlu temel bir modelleyici ile diğer modüllerden oluşmaktadır. DesignBuilder; 3 boyutlu modelleyici, görselleştirme, simülasyon, günışığı, HVAC, maliyet, LEED, optimizasyon, komut dosyası oluşturma, CFD ve sertifikasyon olmak üzere toplam 11 modülden oluşmaktadır (URL 2).

DesignBuilder programının genel kullanım amaçlarından bazıları; yapıların ısıtma, soğutma taleplerinin ve birincil enerji taleplerinin belirlenmesi, aydınlatma kontrol

One Click LCA eklentisi dünyanın en büyük çevresel inşaat sektörü veri tabanına sahip olup, veri tabanında mevcut piyasa EPD'leri de dâhil olmak üzere 10.000'den fazla farklı yapı malzemesi ayrıntılı teknik açıklamaları ile birlikte bulunmaktadır. One Click LCA yazılımı yaşam döngüsü değerlendirmeyi uluslararası standartlar olan ISO 14040, 14044 ve EN 15978 standartlarına göre gerçekleştirmektedir. One Click LCA yazılımı Avrupa pazarları için Leiden Üniversitesi tarafından geliştirilen CML-IA 2012 etki değerlendirme metodolojisini ve Kuzey Amerika pazarları için ABD Çevre Koruma Ajansı tarafından geliştirilen TRACI etki değerlendirme metodolojisini kullanmaktadır (One Click LCA, 2021).

One Click LCA yazılımı birçok bilimsel çalışmada yaşam döngüsü değerlendirme amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları; “Önüretimli panel duvar sisteminin çevresel etki ve enerji tüketimi bağlamında yerinde yapım dolgu duvar sistemi ile karşılaştırmalı değerlendirmesi” (Arslan, 2023), “Geleneksel ve çağdaş ahşap yapıların yaşam döngüsü değerlendirmesinin karşılaştırmalı analizi” (Akşar, 2022), “Prefabrikte ve geleneksel ahşap esaslı yapım sistemlerinin karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi” (Önal, 2022), “Çapraz lamine ahşap ve betonarme taşıyıcı sistemli tekil konut yapılarının çevresel etkilerinin karşılaştırmalı değerlendirmesi” (Barutçu, 2020) şeklindedir.

3.1.2.3. Sıcaklık Kayıt Cihazı

Bu çalışmada iç mekân sıcaklık verilerini ölçmek, kaydetmek ve simülasyon programının hesaplamış olduğu çıktıları doğrulamak için Elitech RC-51H cihazı kullanılmıştır. Elitech RC-51H cihazı ile kaydedilen veriler Excel ve PDF dosya formatlarında dışarı aktarılabilir. Elitech RC-51H sıcaklık kayıt cihazı ElitechLogWin yazılımıyla çalışmaktadır. Bu yazılımla kayıt aralığı 10 saniye ile 24 saat arasında belirlenebilmektedir. Sıcaklık ölçüm aralığı -30°C ile 70°C arasındadır. Sıcaklık kayıt cihazı 32.000 veri kayıt hafızasına sahiptir (URL 3).

Elitech RC-51H sıcaklık kayıt cihazı birçok bilimsel çalışmada veri kaydetmek amacıyla kullanılmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları; “Camilerin ısı konfor ve enerji verimliliğine yönelik güçlendirme stratejilerinin belirlenmesi: Yaşamkent cami

örneği” (Dwela, 2022), “Meksika’daki tarihi binaların termal performansı: iklim değişikliğinin etkisi altındaki pasif sistemlerin analizi” (Vazquez-Torres et al., 2023) şeklindedir. Sıcaklık kayıt cihazının fotoğrafı Şekil 3.6’da verilmiştir.



Şekil 3.6. Elitech RC-51H sıcaklık kayıt cihazı (URL 3).

3.2. METOT

Tez kapsamında 7 numaralı adada bulunan Yenişehir işçi konutları Pasif Ev EnerPHit Standardı’na yönelik iyileştirilmiştir. Bu konutların Pasif Ev EnerPHit Standardı’na yönelik iyileştirme önerilerini belirlemeden önce mevcut durum özelliklerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Bu kapsamda ilk olarak yapıların kabuk elemanlarının ısıl geçirgenlik değerleri ve mevcut durum enerji performansları belirlenmiştir. Yapıların mevcut durum enerji performanslarının ve EnerPHit Standardı’na yönelik iyileştirme önerilerinin enerji performanslarının belirlenmesinde kullanılacak simülasyon programının doğrulanması için konutlarda iç mekan sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden elde edilen veriler ile simülasyon sonucu elde edilen veriler karşılaştırılarak simülasyon programı doğrulanması yapılmıştır. İşçi konutlarının mevcut durum özellikleri tespit edildikten sonra EnerPHit Standardı’na yönelik iyileştirme önerileri belirlenmiştir. İyileştirme önerileri konutların mevcut opak yapı kabuğu elemanlarına ek ısı yalıtımı uygulamaları, uygun kapı-pencere seçimi, ısı geri kazanımlı mekanik sistem seçimi ve uygun hava sızdırmazlık değeri şeklinde belirlenerek bu önerilerin simülasyonu yapılmıştır. Yapının opak kabuk elemanlarının iyileştirilmesi için 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi önerisi sunulmuştur. Çevreye duyarlı ve sürdürülebilir bir iyileştirme yapılabilmesi amacıyla iyileştirme önerilerinde sunulan ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel özelliklerine göre optimum ısı yalıtım malzemesinin belirlenmesi oldukça önemlidir. Bu kapsamda bu ısı yalıtımı

malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yolu ile çevresel etkileri belirlenmiştir. Sonrasında ısı yalıtımı malzemelerinin maliyet analizi de yapılmıştır. Bu bölümde yukarıda bahsedilen yöntemler detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

3.2.1. İşçi Konutlarının EnerPHit Kapsamında İyileştirilmesi

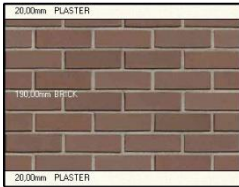


Yenişehir işçi konutları, 1940'lı yıllarda fabrika çalışanları için modern ve planlı olarak tasarlanan bir mahallede inşa edilmeleri, 3. Derece doğal sit ve kentsel sit alanı içerisinde yer almaları gibi etkenlere bağlı olarak korunması gereken yapılardır. Bu yapılar korunurken içerisinde yaşayan insanların konfor koşulları, yapıların enerji tüketimleri gibi unsurların da düşünülmesi gerekmektedir. Konutların yapıldıkları dönem, hizmet ettikleri ömür ve kullanılan yapı malzemeleri itibariyle enerji performansı bağlamında iyileştirilmeye ihtiyaçları olduğu görülmektedir. Bu bölümde konutların mevcut durum özellikleri detaylı olarak incelenmiş ve Pasif Ev EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirme önerileri sunulmuştur. Ayrıca mevcut durum ve iyileştirme önerilerinin enerji simülasyonunda kullanılan programın doğruluk analizi için iç mekândan alınan ölçümlerin detayları ve doğrulama metodu verilmiştir.

3.2.1.1. Mevcut Yapılarda Enerji Tüketimi Tespiti

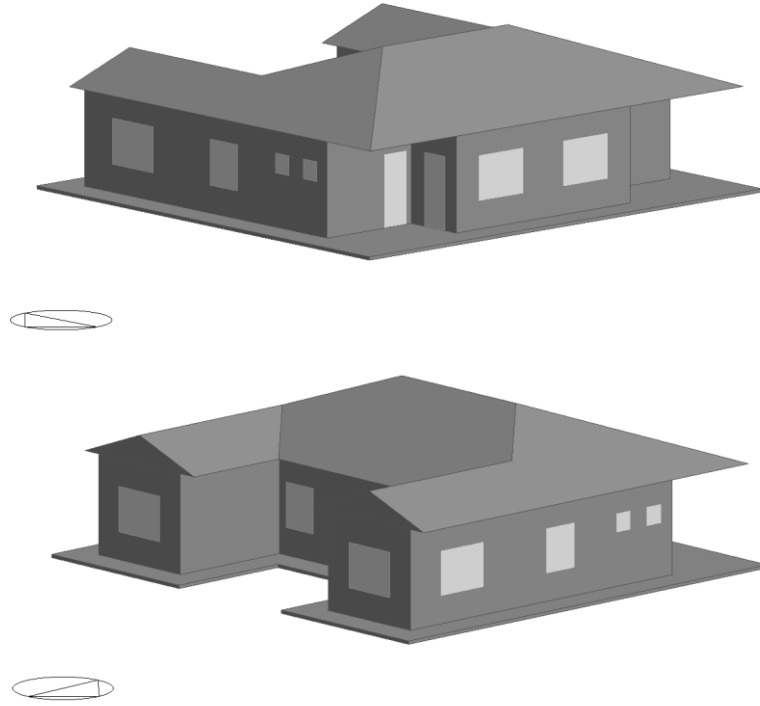
7 numaralı adada bulunan işçi konutlarının enerji performansı bağlamında mevcut durum tespiti için yapıları oluşturan elemanların özellikleri incelenmiş ve yapıların enerji performansları tespit edilmiştir. Mevcutta konutlar adanın 4 çeperine yerleştirilmiş ve her çeperdeki konutlar birbirleri ile aynı yönlenme ve açıda olacak şekilde konumlandırılmıştır. Çeperlerdeki konutların aynı yönlenme ve açığa sahip olmalarından dolayı her çeperden 1 konut seçilerek bu konutların mevcut durumu incelenmiştir. Seçilen konutlar vaziyet planında (Şekil 3.1) 1, 2, 3 ve 4 numaraları ile belirtilmiştir. İlk olarak mevcut yapı kabuğunu oluşturan bileşenlerin malzeme katmanları incelenmiş ve yapı kabuğunun ısı geçirme dirençleri (R) hesaplanmıştır. Sonrasında 1, 2, 3 ve 4 numaralı konutlar DesignBuilder programında modellenmiş, gerekli parametreler girilmiş ve simüle edilerek mevcut durum enerji performansları belirlenmiştir. Yapı kabuğunun ısı geçirme direncini (R) hesaplamak için kullanılan denklemler Eşitlik 2.1, Eşitlik 2.2 ve Eşitlik 2.3'te verilmiştir.

İşçi konutlarının mevcut dış duvar, çatı ve zemin döşemesi bileşenlerini oluşturan malzemelerin kalınlık ve ısı iletkenlik katsayısı değerlerine göre ısı geçirme dirençleri (R) hesaplanmıştır. Çizelge 3.2’de yapı kabuğu bileşenlerinin kalınlık, ısı iletkenlik katsayısı ve ısı geçirme dirençleri verilmiştir. Yapı kabuğu bileşenlerinden olan pencereler, mevcut konutlarda PVC çerçeveli ve çift camlıdır. Cam katmanları 3mm düz cam + 13mm hava boşluğu + 3mm düz cam şeklindedir. PVC çerçevenin ısı geçirme katsayısı 3,48 W/m²K ve camın ısı geçirme katsayısı 2,72 W/m²K şeklindedir.

Çizelge 3.2. Konutların mevcut dış duvar, çatı ve zemin döşemesinin malzeme katmanları ve ısı geçirme dirençleri (R değeri).

Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m ² K/W)
Dış  İç	MEVCUT DIŞ DUVAR KATMANLARI			
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04
	Tuğla	0,19	0,72	0,26
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam			0,51 m²K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam			1,96 W/m²K
İç  Dış	MEVCUT ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{çati\ döşemesi}$ toplam			0,37 m²K/W
	$U_{çati\ döşemesi}$ toplam			2,7 W/m²K
İç  Dış	MEVCUT ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	Grobeton	0,1	1,13	0,09
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam			0,52 m²K/W
	$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam			1,92 W/m²K

Yenişehir işçi konutlarının mevcut durum enerji performanslarını belirlenmek amacıyla konutlar DesignBuilder simülasyon programında modellenmiş, verileri programa aktarılmış ve programdaki varsayımlar tanımlanarak simülasyonlar yapılmıştır. Konutların yönlenme hariç tüm parametreleri aynı olduğundan 1 numaralı konut modellenerek diğer 3 konut için bu modelin yönlenmesi düzenlenmiştir. İki boyutlu çizimlerine göre DesignBuilder programında modeli oluşturulan konutların malzeme katmanları, işlev şablonu, ısıtma-soğutma sistemi bilgileri gibi gerekli tüm parametreler programa tanımlanmıştır. DesignBuilder programında oluşturulan konutun modeli Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. 1 numaralı işçi konutunun DesignBuilder programında oluşturulan modeli.

İşçi konutlarının bulunduğu şehir olan Karabük’ün güncel iklim verileri (2023) NASA tarafından yenilenebilir enerji, yapı enerji verimliliği gibi konulardaki çalışmalarını desteklemek amacıyla geliştirilen ve meteorolojik veri sağlayan NASA POWER veri tabanından epw (EnergyPlus weather data file) dosya formatında alınmıştır. Epw formatında alınan güncel iklim verileri DesignBuilder programına tanımlanmıştır. Programa girilen veriler Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.3. DesignBuilder programına girilen veriler.

Parametreler	Açıklama
Yapı İşlevi, Kullanıcı Sayısı	Konut, 4 Kişi
Isıtma-Soğutma Set Point Aralığı	18°C - 24°C
Isıtma Programlaması	Ocak-Şubat-Mart-Nisan-Mayıs ve Eylül-Ekim-Kasım-Aralık (7gün, 00:00-24:00)
Soğutma Programlaması	Haziran-Temmuz-Ağustos (7gün, 00:00-24:00)
Isıtma ve Soğutma Sistemi	Doğalgazlı Radyatör + Elektrikli Klima
Isıtma-Soğutma Yapılmayan Birimler	Islak Hacimler ve Çatı Arası
Hava Sızdırmazlık Değeri	0,7 ac/h

Yapının ısıtma-soğutma programlamasına karar verilirken ilk olarak tüm aylarda hem ısıtma hem soğutma sisteminin açık olduğu varsayılarak simülasyon yapılmıştır. Bu simülasyonun sonucuna göre bazı aylarda soğutma bazı aylarda ısıtma talebinin hiç olmadığı ya da oldukça az olduğu görülmüştür. Buna göre ısıtma talebinin fazla olduğu aylarda ısıtma, soğutma talebinin fazla çıktığı olduğu soğutma yapılmasına karar verilmiştir.

3.2.1.2. Simülasyon Programının Kalibrasyon ve Doğrulaması

İşçi konutlarının mevcut enerji performanslarının ve iyileştirme önerilerinin enerji performanslarının belirlenmesinde kullanılacak olan simülasyon programının doğruluk analizini gerçekleştirebilmek için iç mekânda sıcaklık ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler yaz ve kış aylarında, vaziyet planında (Şekil 3.1) belirtilen 1 (yaz ölçümü) ve 2 (kış ölçümü) numaralı konutlarda yapılmıştır. Ölçümler yaz döneminde ağustos, kış döneminde ise ocak aylarında yapılmıştır. Simülasyon programının doğrulamasında ölçümlerden elde edilen veriler kullanılmıştır. Ölçüm zamanlarında konutlarda ısıtma-soğutma yapılmamış ve ölçüm hava akımının olmadığı noktalarda gerçekleştirilmiştir.

Doğrulama amacıyla gerçekleştirilen simülasyonlarda da ısıtma-soğutma sistemleri kapatılmış ve konutlarda ölçümün yapıldığı zamanlardaki mevcut koşullar programa işlenerek bütün koşulların aynı olmasına dikkat edilmiştir. Ölçümlerin gerçekleştirildiği yaz ve kış dönemlerine ait güncel iklim verileri NASA POWER veri tabanından epw formatında elde edilmiş ve DesignBuilder programına tanımlanmış. Doğrulama amacıyla gerçekleştirilen simülasyonlar, ölçümlerin alındığı aylara ait bu güncel iklim verileri ile gerçekleştirilmiştir. Yaz ve kış dönemlerindeki ölçümler 5'er gün, 24 saat boyunca ve 15 dakikalık aralıklarla gerçekleştirilmiştir. Simülasyon programı doğrulaması saatlik veriler üzerinden gerçekleştirileceği için 15 dakika aralıklarla alınan her 4 ölçümün ortalaması alınarak saatlik veriler elde edilmiştir. Doğrulama yapılması amacıyla gerçekleştirilen simülasyon sonucu verileri de saatlik olarak alınmıştır. Ölçümler datalogger sıcaklık kayıt cihazı (Bölüm 3.1.3) ile otomatik olarak gerçekleştirilmiş ve cihazın yazılımı aracılığı ile dışarı aktarılmıştır. Ölçümlere ait bilgiler Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Ölçümlere ait bilgiler.

	Yaz Ölçümü	Kış Ölçümü
Ölçümün Başladığı Tarih	27.08.2022	17.01.2023
Ölçümün Bittiği Tarih	31.08.2022	21.01.2023
Ölçüm Süresi	5 Gün	5 Gün
Zaman Aralığı	00:00 - 24:00	00:00 - 24:00
Ölçüm Niteliği	Sıcaklık	Sıcaklık
Ölçüm Sıklığı	15 Dakika	15 Dakika

Simülasyon programı doğrulama analizi için iç mekân ölçümlerinden elde edilen veriler ile simülasyon sonucu elde edilen verilerinin sapma değerleri belirlenmiştir. Sapma değerleri için normleştirilmiş ortalama sapma hatası (NMBE/Normalized Mean Bias Error) ve ortalama karekök hatasının değişim katsayısı (CV(RMSE)/Coefficient of Variation of the Root Mean Square Error) değerleri hesaplanmıştır. Doğrulama analizi için kullanılan normleştirilmiş ortalama sapma hatası (NMBE) ve ortalama karekök hatasının değişim katsayısı (CV(RMSE)) yöntemlerinin denklemleri Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2'de verilmiştir.

$$\text{NMBE} (\%) = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n (m_i - m_s)}{n - p} \times 100 \quad (3.1)$$

$$\text{CV(RMSE)} (\%) = \frac{1}{\bar{m}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - m_s)^2}{n - p}} \times 100 \quad (3.2)$$

Burada;

\bar{m} : ölçüm değerlerinin ortalamasını,

m_i : ölçüm verilerini,

m_s : simülasyon verilerini,

n : ölçüm noktası sayısını,

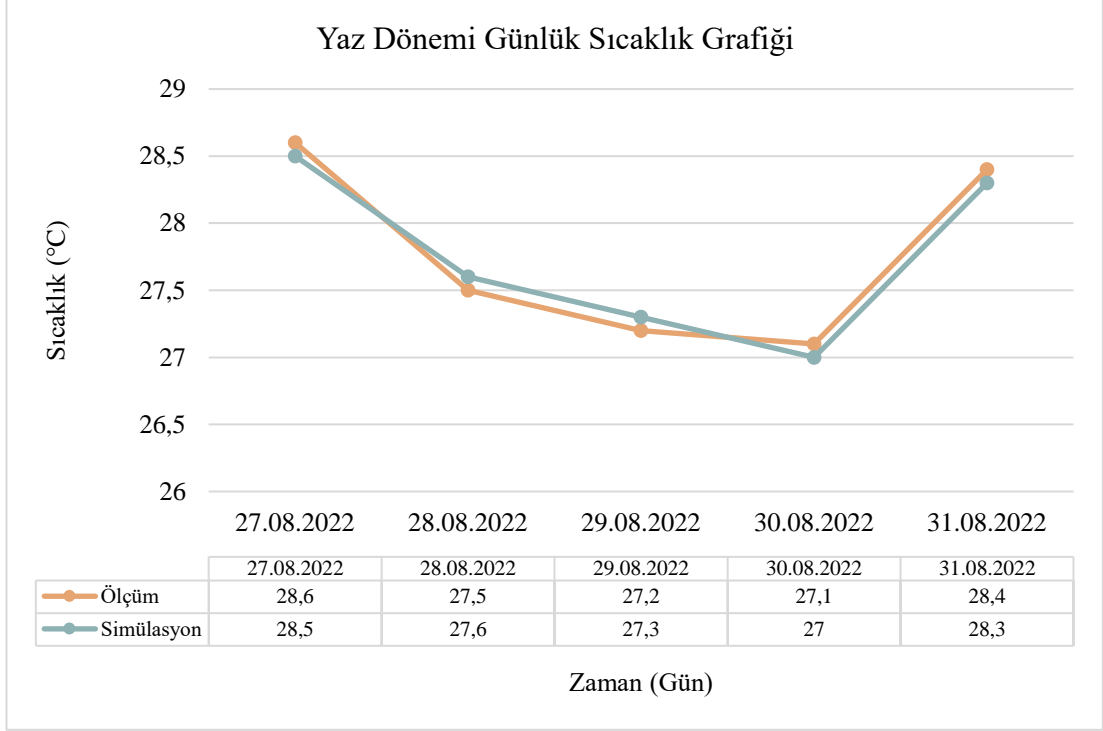
p : ayarlanabilir model parametre sayısını ifade etmektedir.

ASHRAE Guideline 14, Federal Enerji Yönetimi Programı (FEMP) ve Uluslararası Performans Ölçümü ve Doğrulama Protokolü (IPMVP) standartlarında saatlik veri doğrulaması için tanımlanan NMBE ve CV(RMSE) kabul edilebilir değerleri Çizelge 3.5'te verilmiştir.

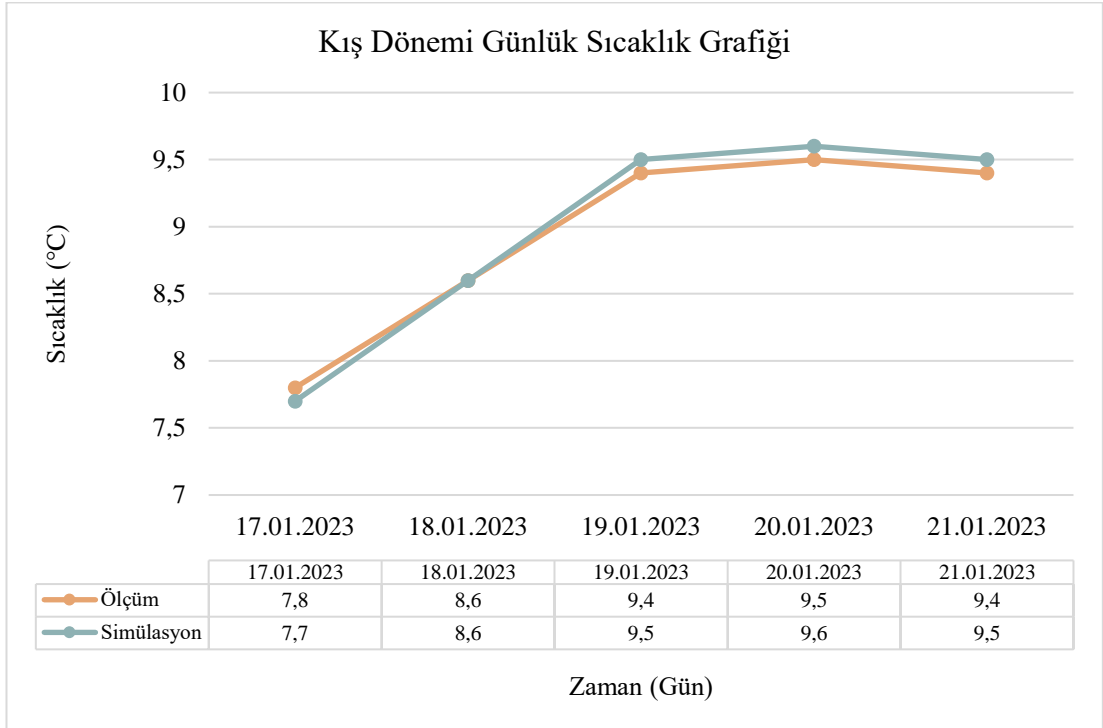
Çizelge 3.5. ASHRAE Guideline 14, FEMP ve IPMVP için doğrulama kriterleri.

	ASHRAE Guideline 14	FEMP	IPMVP
NMBE	± %10	± %10	± %5
CV(RMSE)	%30	%30	%20

İşçi konutlarında gerçekleştirilen yerinde ölçüm sonucu elde edilen ve bu konutların simüle edilmesi sonucu elde edilen iç mekân sıcaklık verilerinin günlük ortalamaları Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da verilmiştir. Bu konutlara ait saatlik ölçüm ve simülasyon verileri ise detaylı olarak Ek Açıklamalar A bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.8. Yaz dönemine ait iç mekân sıcaklık değerlerinin günlük ortalamaları.



Şekil 3.9. Kış dönemine ait iç mekân sıcaklık değerlerinin günlük ortalamaları.

Yaz döneminde 2022 Ağustos ayı içerisindeki birbirini takip eden 5 güne ait günlük ortalama ölçüm ve simülasyon verileri incelendiğinde;

- Ölçüm sonuçlarına göre iç mekân sıcaklıklarının günlük ortalamasının 27,1 °C ile 28,6 °C arasında değiştiğini,
- Simülasyon sonuçlarına göre iç mekân sıcaklıklarının günlük ortalamasının 27 °C ile 28,5 °C arasında değiştiğini söylemek mümkündür.

Kış döneminde 2023 Ocak ayı içerisindeki birbirini takip eden 5 güne ait günlük ortalama ölçüm ve simülasyon verileri incelendiğinde;

- Ölçüm sonuçlarına göre iç mekân sıcaklıklarının günlük ortalamasının 7,8 °C ile 9,5 °C arasında değiştiğini,
- Simülasyon sonuçlarına göre iç mekân sıcaklıklarının günlük ortalamasının 7,7 °C ile 9,6 °C arasında değiştiğini söylemek mümkündür.

Hem yaz hem de kış dönemi ölçüm ve simülasyon verilerinde günlük bazda en fazla 0,1 °C fark olduğunu ve her iki döneme ait günlük ortalama ölçüm ve simülasyon verilerinin birbirine oldukça yakın olduğunu söylemek mümkündür.

Simülasyon programı doğrulaması için yerinde ölçüm ve simülasyon sonucu elde edilen iç mekan sıcaklık verileri birbirleri ile karşılaştırılarak sapma değerleri tespit edilmiştir. Sapmaların tespiti için NMBE ve CV(RMSE) değerleri saatlik iç mekân sıcaklık verilerine göre hesaplanmıştır. Yaz ve kış dönemi için hesaplanan NMBE ve CV(RMSE) değerleri Çizelge 3.6 ve Çizelge 3.7’de verilmiştir.

Çizelge 3.6. Yaz dönemine ait ölçüm ve simülasyon verileriyle belirlenen sapma değerleri.

Saatlik Veri Doğrulaması	Zaman				
	27.08.2022	28.08.2022	29.08.2022	30.08.2022	31.08.2022
NMBE	%0,51	%-0,38	%-0,29	%0,31	%0,37
CV(RMSE)	%1,11	%0,99	%1,34	%1,26	%1,7

Çizelge 3.7. Kış dönemine ait ölçüm ve simülasyon verileriyle belirlenen sapma değerleri.

Saatlik Veri Doğrulaması	Zaman				
	17.01.2023	18.01.2023	19.01.2023	20.01.2023	21.01.2023
NMBE	%0,64	%-0,24	%-0,75	%-0,52	%-0,4
CV(RMSE)	%3,44	%4,34	%2,63	%3,16	%2,65

Yaz ve kış dönemlerine ait saatlik verilerle hesaplanan NMBE ve CV(RMSE) değerleri incelendiğinde bu değerlerin ASHRAE Guideline 14, FEMP ve IPMVP standartlarında saatlik veri doğrulaması için kabul edilen üst sınır değerlerinden çok daha düşük olduğu görülmektedir. ASHRAE Guideline 14, FEMP ve IPMVP standartlarına göre NMBE için kabul edilebilir üst sınır değerleri sırasıyla $\pm\%10$, $\pm\%10$, $\pm\%5$ ve CV(RMSE) için kabul edilebilir üst sınır değerleri sırasıyla $\%30$, $\%30$, $\%20$ 'dir. Hem yaz hem de kış dönemi için hesaplanan NMBE ve CV(RMSE) değerleri bu 3 standardı da sağlamaktadır. Bu durumda DesignBuilder simülasyon programının işçi konutlarının mevcut durum ve EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji performanslarını belirlemede kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir.

3.2.1.3. EnerPHit Standardı Kapsamında İyileştirme Önerilerinin Oluşturulması

Yenişehir işçi konutlarının, Pasif Ev Enstitüsü tarafından mevcut yapılar için geliştirilen EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirilmesi amacıyla öneriler oluşturulmuştur. İşçi konutlarının bulunduğu Karabük ili pasif ev iklim sınıflandırmasına göre soğuk ılıman iklim kuşağında yer almaktadır (iPHA, 2018'den çeviren SEPEV; 2018). Soğuk ılıman iklim kuşağında bulunan bir yapının Pasif Ev EnerPHit Standardı'nı sağlaması için gereken kriterler Çizelge 3.8'de verilmiştir. Bu çizelgeye göre yapıların bileşen yöntemiyle ilgili ya da alternatifi olarak enerji talebi yöntemiyle ilgili EnerPHit kriterlerine uygun olması gerekmektedir. Bu iki yöntemden birinin kriterlerinin yerine getirilmesi yeterli iken buna ek olarak genel EnerPHit kriterlerinin mutlaka sağlanması gerekmektedir. Bu çalışmada hem bileşen yöntemi hem enerji yöntemi hem de genel EnerPHit kriterlerini yerine getirmeye yönelik iyileştirme önerileri oluşturulmuştur.

Çizelge 3.8. Soğuk ılıman iklim kuşağı için EnerPHit kriterleri (Passive House Institute, 2016'dan çeviren SEPEV, 2022)'den alınarak düzenlenmiştir.

Bileşen Yöntemiyle İlgili EnerPHit Kriterleri	
U Değeri (Isı Geçirime Katsayısı)	Opak Yapı Kabuğu $\leq 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ Dış Kapı ve Pencere $\leq 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$
Isı Geri Kazanım Oranı	$\geq \%75$
Enerji Talebi Yöntemiyle İlgili EnerPHit Kriteri	
Isıtma Talebi	$\leq 25 \text{ kWh/m}^2 \text{ yıl}$
Genel EnerPHit Kriterleri	
Hava Sızdırmazlık	$\leq 1,0 \text{ ac/h}$
Birincil Enerji Talebi	$\leq 120 \text{ kWh/m}^2 \text{ yıl}$

Yenişehir işçi konutlarına ait mevcut yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirime dirençleri ve iyileştirilmesi planlanan 1, 2, 3 ve 4 numaralı konutların mevcut enerji performansları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek EnerPHit Standardı soğuk ılıman iklim kuşağı kriterleri ile kıyaslama yapılmıştır. Yapılan kıyaslama sonucu yapının mevcut durumunun EnerPHit Standardı'ndan oldukça uzak olduğu tespit edilmiş ve yapının EnerPHit Standardı'nı sağlamasına yönelik iyileştirme önerileri belirlenmiştir.

İşçi konutlarının EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirilmesi amacıyla oluşturulacak önerilerde; opak yapı kabuğu elemanlarına yüksek düzeyde ısı yalıtımı uygulamaları, ısı yalıtımlı pencere - dış kapı uygulamaları, verimliliği yüksek ısı geri kazanımlı HVAC sistemi seçimi ve hava sızdırmazlığın düşürülmesi parametreleri üzerinde durulması gerekmektedir. Opak yapı kabuğu elemanlarını iyileştirme parametresinde birden fazla ısı yalıtımı malzemesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Isı yalıtımı malzemeleriyle oluşturulan iyileştirme önerilerinde diğer yapı parametrelerinin sabit tutulması gerektiği için ilk olarak ortak iyileştirme önerilerinin belirlenmesine, sonrasında ise ısı yalıtımları ile iyileştirme önerilerinin bunlara eklenmesine karar verilmiştir. Bu bağlamda iyileştirme önerileri ortak ve ısı yalıtımları ile iyileştirme önerileri olmak üzere birbirini takip eden iki adıma ayrılmıştır.

3.2.1.3.a. Ortak İyileştirme Önerilerinin Belirlenmesi

İşçi konutlarının EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilmesi amacıyla ilk olarak bütün ısı yalıtımı önerilerinde ortak kullanılacak olan yüksek düzeyde ısı yalıtımlı pencere - dış kapı seçimi, verimliliği yüksek ısı geri kazanımlı HVAC sistemi seçimi ve hava sızdırmazlık değeri parametreleri belirlenmiştir. EnerPHit Standardı'na göre soğuk ılıman iklim kuşağında pencere ve dış kapı U değerinin 0,85 W/m²K'e eşit ya da daha düşük olması, hava sızdırmazlık değerinin 1,0 ac/h'ye eşit ya da daha düşük olması beklenmektedir. Isı geri kazanımlı havalandırma sistemi kullanılması ve en az ısı geri kazanım oranının ise %75 olması gerekmektedir.

EnerPHit Standardı'nın soğuk ılıman iklim kuşağı kriterlerine uygun olarak simülasyonun yapılacağı DesignBuilder programına; pencerenin, dış kapının, HVAC sisteminin ve hava sızdırmazlık değerinin tanımlanması gerekmektedir. Programda bu parametrelerin tanımlanmasında problem olmamakla birlikte program pencere toplam U değerini vermemektedir. Pencere camının ve çerçevesinin U değerlerini ayrı ayrı vermektedir. Bu nedenle programda seçilen cam ve çerçeveden oluşan pencerenin U değeri Pasif Ev Enstitüsü tarafından pencere U değerini belirlemede kullanılan denklem ile hesaplanmıştır. Bu denklem Eşitlik 3.3'te verilmiştir.

$$U_w = \frac{U_g \cdot A_g + U_f \cdot A_f + l_g \cdot \Psi_g}{A_g + A_f} \quad (3.3)$$

Burada;

U_w : pencerenin ısı geçirme katsayısını,

U_g : camın ısı geçirme katsayısını,

U_f : çerçevenin ısı geçirme katsayısını,

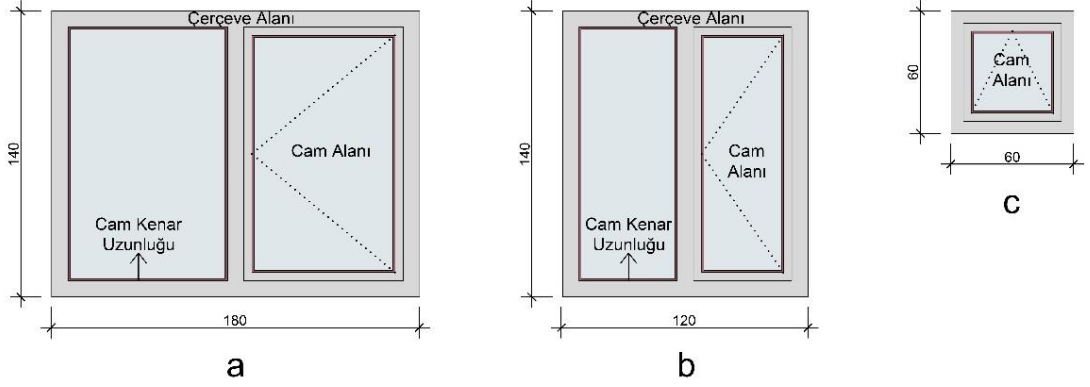
Ψ_g : cam kenarındaki ısı köprüsü katsayısını,

A_g : cam alanını,

A_f : çerçeve alanını,

l_g : cam kenar uzunluğunu ifade etmektedir.

İşçi konutlarında 140cm x 180cm, 140cm x 120cm ve 60cm x 60cm olma üzere 3 farklı boyutta pencere kullanılmıştır. Pencere boyutları farklı olduğu için cam alanı, çerçeve alanı, cam kenar uzunluğu parametreleri dolayısıyla da U değeri farklı olmaktadır. Bundan dolayı her pencere için U değeri hesabı yapılmıştır. Pencere çizimleri Şekil 3.10’da, U değerleri ve diğer bilgileri ise Çizelge 3.9’da verilmiştir.



Şekil 3.10. a) 1 numaralı pencere, b) 2 numaralı pencere, c) 3 numaralı pencere.

Çizelge 3.9. Pencere U değerleri ve diğer bilgileri.

	1 Numaralı Pencere	2 Numaralı Pencere	3 Numaralı Pencere
U_g	0,60 W/m ² K	0,60 W/m ² K	0,60 W/m ² K
A_g	1,78 m ²	1,06 m ²	0,16 m ²
U_f	0,67 W/m ² K	0,67 W/m ² K	0,67 W/m ² K
A_f	0,74 m ²	0,62 m ²	0,2 m ²
l_g	7,8 m	6,6 m	1,6 m
Ψ_g	0,03 W/mK	0,03 W/mK	0,03 W/mK
Pencere U Değerleri			
U_w	0,71 W/m²K	0,74 W/m²K	0,77 W/m²K

Pencere ısı geçirme katsayıları (U değeri) Çizelge 3.9’da verildiği gibi 1 numaralı pencere için 0,71 W/m²K, 2 numaralı pencere için 0,74 W/m²K ve 3 numaralı pencere için 0,77 W/m²K olarak hesaplanmıştır. Soğuk ılıman iklim kuşağı için pencerelerin en fazla U değeri olan 0,85 W/m²K değerinden daha düşük U değerine sahip pencereler

seçilerek bu EnerPHit kriteri sağlanmıştır. Seçilen pencerelerin cam bölümü için DesignBuilder programında 3'lü argon dolgulu Low-e cam (6mm cam + 16mm hava + 6mm cam + 16mm hava + 6mm cam) ve çerçeve bölümü için poliüretan köpük ile yalıtılmış çerçeve seçilmiştir.

Dış kapı olarak poliüretan köpük ile yalıtılmış, U değeri 0,73 W/m²K olan kapı seçilerek soğuk ılıman iklim kuşağında dış kapılar için en fazla U değeri olan 0,85 W/m²K kriteri sağlanmıştır. HVAC sistemi olarak ısı geri kazanımlı VRF (Variable Refrigerant Flow) sistemi seçilmiştir. Bu VRF sisteminin ısı geri kazanım oranı %85 olarak belirlenmiş ve soğuk ılıman iklim kuşağı için en az ısı geri kazanım oranı olan %75 kriteri sağlanmıştır. Hava sızdırmazlık değeri ise 0,6 ac/h olarak belirlenmiş ve soğuk ılıman iklim kuşağı için en fazla hava sızdırmazlık değeri olan 1 ac/h kriteri de sağlanmıştır.

Bu çalışmada ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlıklarının ve buna bağlı olarak opak yapı kabuğu elemanlarının kalınlıklarının fazla artırılmadan EnerPHit Standardı'nın sağlanması amacıyla pencere U değeri, dış kapı U değeri ve hava sızdırmazlık değeri soğuk ılıman iklim kuşağı için sınır kriterlerin altında, ısı geri kazanımlı havalandırmanın ısı geri kazanım oranı ise soğuk ılıman iklim kuşağı için sınır kriterin üstünde olacak şekilde belirlenmiştir.

3.2.1.3.b. Isı Yalıtımları ile İyileştirme Önerilerinin Belirlenmesi

İşçi konutlarını EnerPHit Standardı'na uygun hale getirmeye yönelik ortak iyileştirme önerileri belirlendikten sonra opak yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirme dirençlerini artırmak için ısı yalıtımları ile iyileştirme önerileri oluşturulmuştur. Isı yalıtımları ile iyileştirme EnerPHit Standardı'na uygun olarak, yapıların opak kabuk bileşenleri olan dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesinde yapılması gerekmektedir. EnerPHit Standardı'na göre soğuk ılıman iklim kuşağında opak kabuk bileşenlerinin U değeri (ısı geçirme katsayısı) 0,15 W/m²K'e eşit ya da daha düşük olması beklenmektedir.

Çok katmanlı opak kabuk bileşenlerinde R değeri (ısı geçirme direnci) üzerinden hesaplama yapıldığı için EnerPHit Standardı'nda belirtilen U değerine karşılık gelen

R değeri hesaplanmıştır. Eşitlik 2.2’de de verildiği gibi U değeri R değerinin aritmetik olarak tersi olup hesaplama sonucu R değeri 6,67 m²K/W olarak bulunmuştur. Bu hesaba göre konutların EnerPHit Standardı’nın bileşen yöntemiyle ilgili kriterlerinden olan opak yapı kabuğu kriterini sağlayabilmesi için bileşenlerin R değerinin (ısı geçirme direnci) 6,67 m²K/W’a eşit ya da daha yüksek olması gerekmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirme önerilerinde ilk olarak ısı yalıtımı malzemelerine karar verilmiştir. Sonrasında bu ısı yalıtımı malzemelerinin opak kabuk bileşenlerinde olması gereken kalınlıkları belirlenmiştir. Isı yalıtımı malzemelerinin kalınlıkları belirlenirken ilk olarak yapı kabuğu bileşenlerinde bulunan diğer malzeme katmanlarının R değerleri hesaplanmış ve EnerPHit Standardı’nı sağlaması için gerekli R değeri olan 6,67 m²K/W’dan çıkarılarak aradaki fark bulunmuştur. Sonrasında fark olarak çıkan R değeri ile ısı yalıtımı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları çarpılarak kalınlıkları bulunmuştur. Isı yalıtımı malzemelerinin kalınlıklarını hesaplamada hassasiyet 0,5 cm kabul edilmiştir.

Isı yalıtımı malzemelerine karar verilirken yalıtımların farklı özelliklerine göre çeşitli şekillerde sınıflandırıldığı görülmüştür. Bu çalışma kapsamında ısı yalıtımı malzemelerinin doğal, yapay ve ileri teknoloji kategorilerinde oluşturulan sınıflandırılması ele alınmıştır. Doğal, yapay ve ileri teknoloji kategorilerinden yaygın olan ısı yalıtımı malzemeleri seçilmiştir. Doğal ısı yalıtımı malzemelerinden 3, yapay ısı yalıtımı malzemelerinden 5 ve ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden 2 malzeme seçilerek toplamda 10 ısı yalıtımı malzemesi seçilmiştir.

Doğal ısı yalıtımı malzemelerinden geliştirilmiş perlit levha, geliştirilmiş mantar levha ve püskürtme selüloz, yapay ısı yalıtımı malzemelerinden taşıyünü levha, XPS, EPS, camyünü levha ve PUR, ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden ise arojel levha ve VIP seçilmiştir. Seçilen ısı yalıtımı malzemeleri ile bu yalıtım malzemelerinin sahip olduğu ısı iletkenlik katsayısı ve birim hacim kütle özellikleri Çizelge 3.10’da verilmiştir.

Çizelge 3.10. Seçilen ısı yalıtım malzemeleri ve özellikleri.

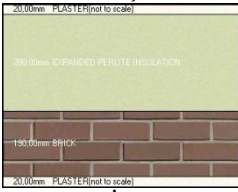
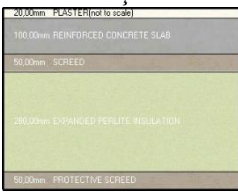

Isı Yalıtım Malzemeleri	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Birim Hacim Kütle (kg/m ³)
Doğal Isı Yalıtım Malzemeleri		
Genleştirilmiş Perlit Levha	0,045 W/mK	105 kg/m ³
Genleştirilmiş Mantar Levha	0,04 W/mK	115 kg/m ³
Püskürtme Selüloz Yalıtım	0,039 W/mK	50 kg/m ³
Yapay Isı Yalıtım Malzemeleri		
Taşyünü Levha	0,035 W/mK	50 kg/m ³
XPS (Ekstrüde Polistiren)	0,035 W/mK	35 kg/m ³
EPS (Ekspande Polistiren)	0,034 W/mK	25 kg/m ³
Camyünü Levha	0,032 W/mK	40 kg/m ³
PUR (Poliüretan Köpük)	0,025 W/mK	40 kg/m ³
İleri Teknoloji Isı Yalıtım Malzemeleri		
Aerojel Levha	0,015 W/mK	200 kg/m ³
VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli)	0,005 W/mK	180 kg/m ³

Bir tür ısı yalıtım malzemesinin (örneğin XPS) tek bir ısı iletkenlik katsayısı ya da yoğunluğu olmayıp bu gibi parametreler aynı türdeki ısı yalıtım malzemeleri arasında değişkenlik göstermektedir. Bu sebeple ısı yalıtım malzemelerinin seçimi yapılırken çalışmanın tüm aşamalarında aynı özelliklere sahip olmalarına dikkat edilmiştir.

İlk olarak One Click LCA yazılımında çevresel ürün beyanı (EPD) dosyaları bulunan ısı yalıtım malzemeleri ile A4 aşaması için mesafe hesabı yapılması ve maliyet hesabı için fiyat alınması planlanan tedarikçilerde bulunan aynı özelliklere sahip ısı yalıtım malzemeleri seçilmiştir. Sonrasında bu ısı yalıtımlarının ısı iletkenlik katsayıları, yoğunlukları gibi özellikleri simülasyonun yapılacağı DesignBuilder programına tanımlanmıştır. Bu şekilde enerji simülasyonları, çevresel etki değerlendirmesi ve maliyet analizinde aynı özelliklere sahip ısı yalıtım malzemeleri kullanılmıştır.

Doğal ısı yalıtım malzemesi kategorisinden geliştirilmiş perlit levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 28 cm, 28 cm ve 27,5 cm olarak hesaplanmıştır. Geliştirilmiş perlit levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.11’de verilmiştir.

Çizelge 3.11. Geliştirilmiş perlit levha önerisinin malzeme katmanları.

GENLEŞTİRİLMİŞ PERLİT LEVHA ÖNERİSİ				
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)
<p style="text-align: center;">Dış</p>  <p style="text-align: center;">İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI			
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04
	G. PERLİT LEVHA	0,28	0,045	6,22
	Tuğla	0,19	0,72	0,26
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam			6,73 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam			0,148 W/m^2K
<p style="text-align: center;">İç</p>  <p style="text-align: center;">Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	G. PERLİT LEVHA	0,28	0,045	6,22
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{çatı\ döşemesi}$ toplam			6,71 m^2K/W
$U_{çatı\ döşemesi}$ toplam			0,149 W/m^2K	
<p style="text-align: center;">İç</p>  <p style="text-align: center;">Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	G. PERLİT LEVHA	0,275	0,045	6,11
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	Grobeton	0,1	1,13	0,09
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam			6,75 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam			0,148 W/m^2K	

Doğal ısı yalıtım malzemesi kategorisinden genişletilmiş mantar levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 25 cm, 25 cm ve 24,5 cm olarak hesaplanmıştır. Genleştirilmiş mantar levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.12’de verilmiştir.

Çizelge 3.12. Genleştirilmiş mantar levha önerisinin malzeme katmanları.

GENLEŞTİRİLMİŞ MANTAR LEVHA ÖNERİSİ				
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)
<p>Dış</p> <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI			
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04
	G. MANTAR LEVHA	0,25	0,04	6,25
	Tuğla	0,19	0,72	0,26
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam			6,76 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam			0,147 W/m^2K
<p>İç</p> <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	G. MANTAR LEVHA	0,25	0,04	6,25
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{çati\ döşemesi}$ toplam			6,74 m^2K/W
$U_{çati\ döşemesi}$ toplam			0,148 W/m^2K	
<p>İç</p> <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	G. MANTAR LEVHA	0,245	0,04	6,13
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	Grobeton	0,1	1,13	0,09
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam			6,77 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam			0,147 W/m^2K	

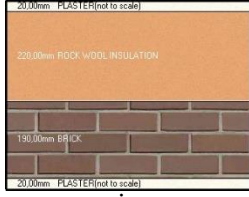
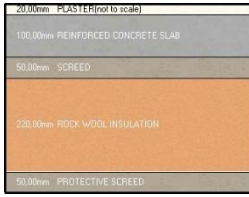

Doğal ısı yalıtım malzemesi kategorisinden püskürtme selüloz kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 24,5 cm, 24,5 cm ve 23,5 cm olarak hesaplanmıştır. Püskürtme selüloz ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.13'te verilmiştir.

Çizelge 3.13. Püskürtme selüloz önerisinin malzeme katmanları.

PÜSKÜRTME SELÜLOZ ÖNERİSİ					
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)	
<p>Dış</p> <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI				
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04	
	SELÜLOZ	0,245	0,039	6,28	
	Tuğla	0,19	0,72	0,26	
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam				6,79 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam				0,147 W/m²K
<p>İç</p> <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04	
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	SELÜLOZ	0,245	0,039	6,28	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{çati\ döşemesi}$ toplam				6,77 m^2K/W
$U_{çati\ döşemesi}$ toplam				0,147 W/m²K	
<p>İç</p> <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	SELÜLOZ	0,235	0,039	6,03	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	Grobeton	0,1	1,13	0,09	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam				6,67 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam				0,149 W/m²K	

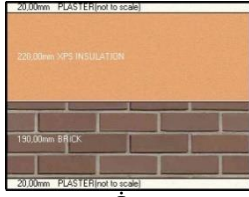
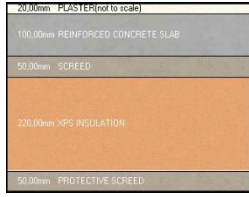

Yapay ısı yalıtım malzemesi kategorisinden taşıyıcı levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 22 cm, 22 cm ve 21,5 cm olarak hesaplanmıştır. Taşıyıcı levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.14'te verilmiştir.

Çizelge 3.14. Taşıyıcı levha önerisinin malzeme katmanları.

TAŞYÜNÜ LEVHA ÖNERİSİ				
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirime Direnci (R) (m^2K/W)
<p>Dış</p>  <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI			
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04
	TAŞYÜNÜ LEVHA	0,22	0,035	6,29
	Tuğla	0,19	0,72	0,26
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam			6,8 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam			0,147 W/m^2K
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	TAŞYÜNÜ LEVHA	0,22	0,035	6,29
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{çatı\ döşemesi}$ toplam			6,78 m^2K/W
$U_{çatı\ döşemesi}$ toplam			0,147 W/m^2K	
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	TAŞYÜNÜ LEVHA	0,215	0,035	6,14
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	Grobeton	0,1	1,13	0,09
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam			6,78 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam			0,147 W/m^2K	

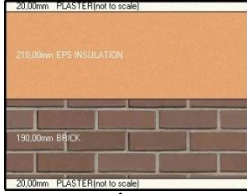


Yapay ısı yalıtım malzemesi kategorisinden XPS (ekstrüde polistiren) levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 22 cm, 22 cm ve 21,5 cm olarak hesaplanmıştır. XPS levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.15’te verilmiştir.

Çizelge 3.15. XPS (ekstrüde polistiren) önerisinin malzeme katmanları.

XPS (EKSTRÜDE POLİSTİREN) ÖNERİSİ				
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)
<p style="text-align: center;">Dış</p>  <p style="text-align: center;">İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI			
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04
	XPS	0,22	0,035	6,29
	Tuğla	0,19	0,72	0,26
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam			6,8 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam			0,147 W/m^2K
<p style="text-align: center;">İç</p>  <p style="text-align: center;">Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	XPS	0,22	0,035	6,29
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{çati\ döşemesi}$ toplam			6,78 m^2K/W
$U_{çati\ döşemesi}$ toplam			0,147 W/m^2K	
<p style="text-align: center;">İç</p>  <p style="text-align: center;">Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12
	XPS	0,215	0,035	6,14
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12
	Grobeton	0,1	1,13	0,09
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam			6,78 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam			0,147 W/m^2K	

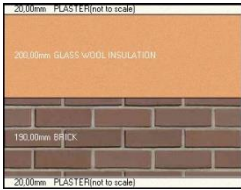


Yapay ısı yalıtım malzemesi kategorisinden EPS (ekspande polistiren) levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 21 cm, 21 cm ve 20,5 cm olarak hesaplanmıştır. EPS levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.16’da verilmiştir.

Çizelge 3.16. EPS (ekspande polistiren) önerisinin malzeme katmanları.

EPS (EKSPANDE POLİSTİREN) ÖNERİSİ					
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)	
<p>Dış</p>  <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI				
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04	
	EPS	0,21	0,034	6,18	
	Tuğla	0,19	0,72	0,26	
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam				6,69 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam				0,149 W/m^2K
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04	
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	EPS	0,21	0,034	6,18	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{çati\ döşemesi}$ toplam				6,67 m^2K/W
$U_{çati\ döşemesi}$ toplam				0,149 W/m^2K	
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	EPS	0,205	0,034	6,03	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	Grobeton	0,1	1,13	0,09	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam				6,67 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam				0,149 W/m^2K	

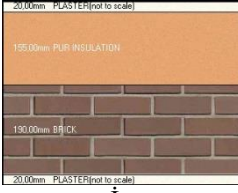
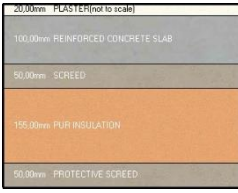

Yapay ısı yalıtım malzemesi kategorisinden camyünü levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları sırasıyla 20 cm, 20 cm ve 19,5 cm olarak hesaplanmıştır. Camyünü levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.17’de verilmiştir.

Çizelge 3.17. Camyünü levha önerisinin malzeme katmanları.

CAMYÜNÜ LEVHA ÖNERİSİ					
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m ² K/W)	
<p>Dış</p>  <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI				
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04	
	CAMYÜNÜ LEVHA	0,2	0,032	6,25	
	Tuğla	0,19	0,72	0,26	
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam				6,76 m²K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam				0,147 W/m²K
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04	
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	CAMYÜNÜ LEVHA	0,2	0,032	6,25	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{çatı\ döşemesi}$ toplam				6,74 m²K/W
$U_{çatı\ döşemesi}$ toplam				0,148 W/m²K	
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	CAMYÜNÜ LEVHA	0,195	0,032	6,09	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	Grobeton	0,1	1,13	0,09	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam				6,73 m²K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam				0,148 W/m²K	

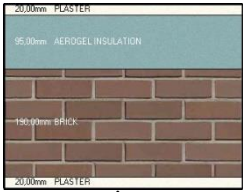

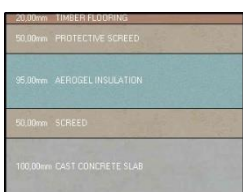
Yapay ısı yalıtım malzemesi kategorisinden püskürtme PUR (poliüretan köpük) kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları üç bileşen için de 15,5 cm olarak hesaplanmıştır. PUR ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.18’de verilmiştir.

Çizelge 3.18. PUR (poliüretan köpük) önerisinin malzeme katmanları.

PUR (POLİÜRETAN KÖPÜK) ÖNERİSİ				
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)
<p>Dış</p>  <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI			
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04
	PUR	0,155	0,025	6,2
	Tuğla	0,19	0,72	0,26
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam			6,71 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam			0,149 W/m^2K
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04
	Tesviye Beton	0,05	0,41	0,12
	PUR	0,155	0,025	6,2
	Koruma Beton	0,05	0,41	0,12
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{çatı\ döşemesi}$ toplam			6,69 m^2K/W
$U_{çatı\ döşemesi}$ toplam			0,149 W/m^2K	
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI			
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14
	Koruma Beton	0,05	0,41	0,12
	PUR	0,155	0,025	6,2
	Tesviye Beton	0,05	0,41	0,12
	Grobeton	0,1	1,13	0,09
	$R_{dış} + R_{iç}$			0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam			6,84 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam			0,146 W/m^2K	

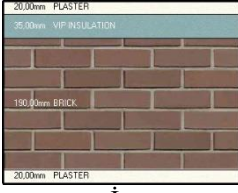


İleri teknoloji ısı yalıtım malzemesi kategorisinden arojel levha kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları üç bileşen için de 9,5 cm olarak hesaplanmıştır. Aerojel levha ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.19’da verilmiştir.

Çizelge 3.19. Aerojel levha önerisinin malzeme katmanları.

AEROJEL LEVHA ÖNERİSİ					
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)	
<p>Dış</p>  <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI				
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04	
	AEROJEL LEVHA	0,095	0,015	6,33	
	Tuğla	0,19	0,72	0,26	
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam				6,84 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam				0,146 W/m^2K
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04	
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	AEROJEL LEVHA	0,095	0,015	6,33	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{çatı\ döşemesi}$ toplam				6,82 m^2K/W
$U_{çatı\ döşemesi}$ toplam				0,146 W/m^2K	
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14	
	Koruma Betonu	0,05	0,41	0,12	
	AEROJEL LEVHA	0,095	0,015	6,33	
	Tesviye Betonu	0,05	0,41	0,12	
	Grobeton	0,1	1,13	0,09	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam				6,97 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam				0,143 W/m^2K	

İleri teknoloji ısı yalıtım malzemesi kategorisinden VIP (vakumlu yalıtım paneli) kullanılarak oluşturulan iyileştirme önerisinde dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli olan yalıtım kalınlıkları üç bileşen için de 3,5 cm olarak hesaplanmıştır. VIP ile iyileştirme önerisinin malzeme katmanları ve diğer detayları Çizelge 3.20’de verilmiştir.

Çizelge 3.20. VIP (vakumlu yalıtım paneli) önerisinin malzeme katmanları.

VIP (VAKUMLU YALITIM PANELİ) ÖNERİSİ					
Yapı Kabuğu	Malzeme	Kalınlık (m)	Isı İletkenlik Katsayısı (λ) (W/mK)	Isı Geçirme Direnci (R) (m^2K/W)	
<p>Dış</p>  <p>İç</p>	DIŞ DUVAR KATMANLARI				
	Dış Sıva	0,02	0,5	0,04	
	VIP	0,035	0,005	7	
	Tuğla	0,19	0,72	0,26	
	İç Sıva	0,02	0,5	0,04	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{dış\ duvar}$ toplam				7,51 m^2K/W
	$U_{dış\ duvar}$ toplam				0,133 W/m^2K
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ÇATI DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Tavan Sıvası	0,02	0,5	0,04	
	Betonarme Döşeme	0,1	2,30	0,04	
	Tesviye Beton	0,05	0,41	0,12	
	VIP	0,035	0,005	7	
	Koruma Beton	0,05	0,41	0,12	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{çatı\ döşemesi}$ toplam				7,49 m^2K/W
$U_{çatı\ döşemesi}$ toplam				0,133 W/m^2K	
<p>İç</p>  <p>Dış</p>	ZEMİN DÖŞEMESİ KATMANLARI				
	Ahşap Zemin K.	0,02	0,14	0,14	
	Koruma Beton	0,05	0,41	0,12	
	VIP	0,035	0,005	7	
	Tesviye Beton	0,05	0,41	0,12	
	Grobeton	0,1	1,13	0,09	
	$R_{dış} + R_{iç}$				0,04+0,13
	$R_{zemin\ döşemesi}$ toplam				7,64 m^2K/W
$U_{zemin\ döşemesi}$ toplam				0,13 W/m^2K	

3.2.2. Çevresel Etki Değerlendirmesi

Yenişehir işçi konutları için EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirme önerileri oluşturulduktan sonra bu iyileştirme önerilerinin çevresel etki değerlendirmesi yapılmıştır. EnerPHit Standardı'na yönelik oluşturulan iyileştirme önerileriyle mevcut konutlar konforlu ve enerji verimliliği yüksek hale getirilirken, bu iyileştirme önerilerinde kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin çevresel etki değerlerinin belirlenmesiyle de konutların çevreye duyarlı ve bütünleşik olarak iyileştirilmesi sağlanmaktadır. Bu sayede işçi konutları daha sürdürülebilir hale getirilmektedir. Bu bölümde yaşam döngüsü değerlendirme amaç kapsam tanımları yapılarak sistem sınırları belirlenmiştir. Çevresel etki değerlendirmesi yapılan ısı yalıtım malzemelerinin bileşenleri ve üretim süreçleri verilmiştir. Ayrıca bu ısı yalıtım malzemelerinin tedarikçileri ve fabrikadan şantiyeye olan mesafeler verilmiştir.

Çalışmada EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan ısı yalıtımlarıyla iyileştirme önerilerinin çevresel etkileri belirlenmiştir. Çevresel etkileri belirlemede yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kullanılmıştır. Isı yalıtımlarıyla iyileştirme önerilerinden dış duvar bazında yapılan iyileştirmeler ele alınmıştır. Doğal, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtım kategorilerinden 10 farklı ısı yalıtım malzemesinin kullanılması ile oluşmuş olan dış duvarlar incelenmiştir. Dış duvarların karşılaştırılması için işlevsel birim "1m² duvar" olarak tanımlanmıştır. Dış duvarda kullanılan yapı malzemelerinin hizmet ömrü "50 yıl" olarak belirlenmiştir. Hizmet ömrüne One Click LCA yazılımında seçilen malzemelerin çevresel ürün beyanı (EPD) dosyaları incelenerek karar verilmiştir. Dış duvar katmanlarının yaşam döngüsü değerlendirmesinde hammaddenin çıkarılması, üretim sahasına taşınması ve üretim aşamasını kapsayan A1-A3 aşamaları ile şantiyeye taşınmasını kapsayan A4 aşaması ele alınmıştır.

Dış duvarları oluşturan malzemeler, bu malzemelerin kalınlıkları, fabrikadan şantiyeye olan mesafeler, taşımada kullanılan yöntemler gibi parametreler One Click LCA yazılımına tanımlanmış ve sonrasında sonuçlar alınmıştır. Dış duvarlarda kullanılan ısı yalıtım dışındaki diğer malzemeler duvarların tümünde sabit olduğu için bu malzemeler tüm iyileştirme önerilerinin çevresel etki değerlerine aynı değerde katkı

yapmaktadır. Bu durumda da elde edilen sonuçlarda ısı yalıtımlarının çevresel etki kıyaslaması yapılabilmektedir. Çevresel etki değerlendirme için One Click LCA yazılımına tanımlanan veriler Çizelge 3.21’de verilmiştir.

Çizelge 3.21. One Click LCA yazılımına tanımlanan veriler.

İşlevsel Birim	Hizmet Ömrü	Sistem Sınırları	Değerlendirme Metodu
1m ² duvar	50 yıl	A1-A4	EN-15978

3.2.2.1. A1-A3 Aşaması Verileri

Yaşam döngüsü değerlendirmede A1-A3 aşamaları; hammaddenin çıkarılması, üretim sahasına taşınması ve üretim sürecini kapsamaktadır. Bu bölümde doğal, yapay ve ileri teknoloji kategorilerinden seçilen ısı yalıtımı malzemelerini oluşturan bileşenler, bu bileşenlerin oranları ve üretim süreçleri detaylı olarak verilmiştir. Bu bölümde verilen ısı yalıtımı malzemelerine ait veriler, One Click LCA yazılımında seçilen ısı yalıtımlarının çevresel ürün beyanı (EPD) dosyalarından edinilmiştir. Isı yalıtımı malzemelerinin çevresel ürün beyanları URL 4’teki bağlantıda toplu olarak verilmiştir.

3.2.2.1.a. Genleştirilmiş Perlit Levha

Genleştirilmiş perlit levha malzemesi, genleştirilmiş perlit, mineral yapıştırıcı, kıvam arttırıcı ve su itici maddeden üretilmektedir. Perlit volkanik camlar grubuna aittir. Kimyasal bileşimi bakımından %70’ den fazla SiO₂ (silisyum dioksit) ve yaklaşık %25 su oranına sahiptir. Ham perlitin ısıtılmasıyla içerisindeki su genişerek perlitin hacmi artmaktadır. Kırılan, elenen ve ön kurutma işlemine tabi tutulan ham perlit, fırında yaklaşık 1000°C sıcaklıkta genleştirilmektedir. Perlit içerisindeki su, ham perlitin eşit şekilde genişmesini ve sonuç ürünün düşük toz içeriğine sahip olmasını sağlamaktadır. Ham perlitin genleştirilmesi sonucu, çeşitli uygulamalarda kullanılabilen gözenekli, düşük yoğunluklu ve oldukça hafif bir granül elde edilmektedir.

Genleştirilmiş perlit levha üretim sürecinde ise ilk olarak mineral yapıştırıcı ve kıvam arttırıcı ile bağlayıcı jel hazırlanmaktadır. Hazırlanan bağlayıcı jel ana bileşen olan perlit ile karıştırılmaktadır. Bu karışım pres makinesine taşınarak büyük boyutlu ana levhalar halinde preslenmektedir. Preslenen ana levhalara kurutma işlemi yapılmakta ve sonrasında oluşturulan bu ana levhalar daha küçük boyutlarda kesilerek son şekli verilmektedir. Son şekli verilen levhalar PE (polietilen) film ile sarılarak paketlenmektedir. Genleştirilmiş perlit levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.22’de verilmiştir.

Çizelge 3.22. Genleştirilmiş perlit levhanın bileşenleri.

Genleştirilmiş Perlit Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Genleştirilmiş Perlit	~ 80
Mineral Yapıştırıcı	~ 12
Kıvam Arttırıcı (Nişasta)	~ 8
Su İtici Madde	< 1

3.2.2.1.b. Genleştirilmiş Mantar Levha

Genleştirilmiş mantar levha, sadece mantardan üretilen, ısı, akustik ve titreşim önleme performansı yüksek doğal bir yalıtım malzemesidir. Genleştirilmiş mantar granülleri yalnızca mantarın içerdiği doğal reçinelerin etkisiyle bağlandığı için tamamen doğal bir malzemedir. Üretim sürecinde ilk olarak, mantar meşesinden mantar çıkarılmaktadır. Bu işlem manuel olarak veya elektrikli ekipmanla gerçekleştirilebilmektedir. Fabrikada mantar, uygun boyutlu granüller halinde öğütülerek bu granüller bir otoklav cihazına yerleştirilmektedir. Burada basınç ve aşırı ısıtılmış buharın etkisi altında granüller genişmekte ve topaklanarak mantar bloklarını oluşturmaktadır. Bu işlem sadece hammaddenin doğal reçinesi (suberin) ile gerçekleşmekte, yani ekstra herhangi bir yapıştırıcı kullanımını gerektirmemektedir. Mantar bloklar oluşturulduktan sonra, soğutma aşamasına yönlendirilmekte ve ardından bloklar uygun boyutlarda kesilerek paketlenmektedir. Genleştirilmiş mantar levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.23’te verilmiştir.

Çizelge 3.23. Genleştirilmiş mantar levhanın bileşenleri.

Genleştirilmiş Mantar Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Mantar (Suberin, Lignin ve Selüloz)	100

3.2.2.1.c. Selüloz

Selüloz, atık kâğıt ve inorganik alev geciktirici minerallerden üretilen, ısı ve ses yalıtımında kullanılan doğal bir yalıtım malzemesidir. Gevşek dolgu selüloz olarak veya ıslak püskürtme selüloz olarak uygulanabilmektedir. Islak püskürtme işleminde su ve tutkal eklenmektedir. Üretim sürecinde ilk olarak atık kâğıtlar, selüloz yalıtımın üretim tesisine taşınmaktadır. Safsızlıklar ayrılarak kâğıtlar parçalanmaktadır. Hala çok az miktarda safsızlık içeren kâğıtlar, işleme tekrar dâhil edilmektedir. Parçalanmış kâğıtlar öğütülürken alev geciktirici eklenmektedir. Oluşan sonuç ürün paketlenmekte ve şantiyeye taşınmaktadır. Selüloz yalıtım yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.24’te verilmiştir.

Çizelge 3.24. Selüloz yalıtım bileşenleri.

Selüloz Yalıtım	
Bileşenler	Oranlar (%)
Atık Kâğıt	~ 85 - 95
İnorganik Alev Geciktirici	~ 5 - 15

3.2.2.1.d. Taşyünü Levha

Taşyünü levha malzemesi, geleneksel olarak volkanik kayalar (bazalt ve dolomit), geri dönüştürülmüş malzeme ve reçine bağlayıcıdan üretilmektedir. Üretim sürecinde ilk olarak kayalar ve ikincil hammaddeler eritmek üzere kupol fırınına yönlendirilmektedir. Fırında yaklaşık 1500°C’de eritilmektedir. Fırından çıkan erimiş kütle daha sonra elyaf oluşturmak için bir eğirme makinesinden geçirilmektedir. Bu aşamada ayrıca bağlayıcı (reçine) ile yağlar eklenmekte ve lifler oluşmaktadır. Bu bağlayıcısı kurumamış nemli taş yünü yığını bağlayıcının polimerize edildiği kütle fırınına gönderilmektedir. Fırından çıkarıldıktan sonra soğutulmuş uygun boyutlarda

kesilmekte ve sonrasında PE (polietilen) film ile sarılarak paketlenmektedir. Taşyünü levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.25'te verilmiştir.

Çizelge 3.25. Taşyünü levha bileşenleri.

Taşyünü Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Doğal Taş (Bazalt ve Dolomit) ve İkincil Hammaddeler (Geri Dönüştürülmüş)	~ 97
Bağlayıcı (Reçine)	~ 3
Yağlar	< 0,2

3.2.2.1.e. XPS (Ekstrüde Polistiren) Levha

XPS levha malzemesi, ana bileşen olarak polistiren ve genişletici gazlardan üretilmektedir. Genleştirici gazlar CO₂ ve halojen içermeyen yardımcı gazlardan oluşmaktadır. Polistiren ve genişletici gazlar, petrol ve gazlardan yapılmaktadır. XPS levha, ana güç kaynağı olarak elektrik kullanılan sürekli bir ekstrüzyon işlemiyle üretilmektedir. Üretim sürecinde ilk olarak polistiren granülleri yardımcı malzemelerle birlikte bir ekstrüzyon makinesinde yüksek basınç altında eritilmektedir. Genleştirici gazlar eriyiğe ilave edilmekte ve içinde çözülmemektedir. Eriyik çıkış kalıbından boşaltılırken buradaki basınç düşüşü nedeniyle, genişletici gazlar eriyiği genişleterek, soğutmakta ve polistiren katılaşmaktadır. Homojen ve kapalı hücre yapısına sahip bir levha haline gelmesi sağlanmaktadır. Sonrasında levhalar iyice soğutulmakta ve uygun boyutlarda kesilmektedir. Son şekli verilen levhalar PE (polietilen) film ile sarılarak paketlenmektedir. XPS levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.26'da verilmiştir.

Çizelge 3.26. XPS (ekstrüde polistiren) levha bileşenleri.

XPS (Ekstrüde Polistiren) Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Polistiren	~ 90 - 95
Genleştirici Gazlar (CO ₂ ve diğer gazlar)	~ 5 - 8 (%40-80 CO ₂ , %20 - 60 diğerleri)
Alev Geciktirici	~ 0,5 - 3
Katkı Maddeleri (örn. boyalar)	< 1

3.2.2.1.f. EPS (Ekspande Polistiren) Levha

EPS levha malzemesi, polistiren ve genleştirici gaz olarak da pentan kullanılması ile üretilmektedir. Üretim sırasında ve üretimden kısa bir süre sonra pentan gazı salımı gerçekleşmektedir. EPS üretim aşamaları ön genleştirme, şartlandırma, kalıplama, şekillendirme ve paketlemeden oluşmaktadır. İlk olarak ön genleştirme aşamasında polistiren granülleri buharla ısıtılarak pentan gazı eklenmekte ve granüllerin genişmesi sağlanmaktadır. Şartlandırma aşamasında genişlen granüller soğurken pentan gazı yerine hava dolmaya başlamaktadır. Sonrasında kalıplama işlemi yapılmakta ve bu aşamada genişmeyi devam ettirmek ve granüllerin birbirine yapışmasını sağlamak için yine buharla ısıtılmaktadır. Kalıplamadan sonra uygun levha boyutlarını elde etmek için EPS blokları kesilerek son şekli verilmektedir. Oluşturulan EPS levhalar PE (polietilen) film ile sarılarak paketlenmektedir. EPS levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.27’de verilmiştir.

Çizelge 3.27. EPS (ekspande polistiren) levha bileşenleri.

EPS (Ekspande Polistiren) Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Polistiren	~ 94
Genleştirici Gaz (Pentan)	~ 6
Polimerik Alev Geciktirici	~ 0,7

3.2.2.1.g. Camyünü Levha

Camyünü levha malzemesinin ana bileşenleri geri dönüştürülmüş cam, kum ve dolomittir. Camyünü üretiminde ilk olarak hammaddeler belirli oranlarda karıştırılmaktadır. Sonrasında bir eritme fırınına verilmekte ve 1000°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda eritilerek sıvı kütle elde edilmektedir. Sıvı kütle, metal zemine akıtılarak yüksek hızda santrifüjleme ve hızlı soğutma işlemiyle değişken uzunluk ve çaplarda lifler elde edilmektedir. Bu aşamada bitkisel kökenli doğal bağlayıcı püskürtme yöntemiyle üretim sürecine dâhil edilmektedir. Lifler ve bağlayıcıdan camyünü yığını elde edilmektedir. Bu camyünü yığını pişirim fırınına aktarılmaktadır. Pişirim fırınında sıkıştırılarak uygun kalınlık verilmekte ve burada doğal bağlayıcı polimerize

edilmektedir. Sonrasında kesme aşamasına geçilerek levhalar uygun boyutlarda kesilmekte ve PE (polietilen) film ile sarılarak paketlenmektedir. Camyünü levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.28’de verilmiştir.

Çizelge 3.28. Camyünü levha bileşenleri.

Camyünü Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Geri Dönüştürülmüş Cam	~ 74
Kum ve Dolomit	~ 18,5
Bitkisel Kökenli Bağlayıcı	~ 7,5

3.2.2.1.h. PUR (Poliüretan Köpük)

PUR malzemesinin, ana bileşenleri poliöl ve izosiyanattır. Poliöl, genleştirici gazlar, katalizör, alev geciktirici ve katkı maddeleri önceden karıştırılarak bir bileşen oluşturulmaktadır. Bu poliöllü bileşen ve izosiyanatın belirli oranlarda uygun sıcaklık ve yüksek basınç altında bir araya getirilmesiyle poliüretan köpük oluşmaktadır. Bileşenler bir araya getirilirken aralarında gerçekleşen reaksiyon sonucu köpükleşme gerçekleşmektedir. Bu bileşenler püskürtme sırasında karıştırılmakta ve uygulandığı alanda köpükleşmektedir. Püskürtülen alandaki köpük çok kısa sürede sertleşmektedir. Poliöllü bileşen üretimi için farklı poliöl sınıfları, genleştirici gazlar, katalizör, alev geciktirici ve katkı maddeleri bir reaktöre dâhil edilmektedir. Sonrasında karışım homojenize edilmektedir. İşlem bittiğinde oluşan poliöllü bileşen 200 litrelik varillerde paketlenmektedir. Poliüretan yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.29’da verilmiştir.

Çizelge 3.29. PUR (poliüretan köpük) bileşenleri.

PUR (Poliüretan Köpük)	
Bileşenler	Oranlar (%)
İzosiyanat	~ 50
Piöl	~ 34
Katkı Maddeleri	~ 13
Genleştirici Gazlar	~ 5

3.2.2.1.i. Aerojel Levha

Aerojel levha geleneksel yalıtım malzemelerine göre çok daha iyi termal performans sağlayan, nano gözenekli, ultra yüksek performanslı bir yalıtım malzemesidir. Aerojel levha yalıtım malzemesi, silika, elyaf ve katkı maddelerinden üretilmektedir. Üretim süreci ön karışım, birleştirme, jelleşme, olgunlaşma, kurutma ve paketleme aşamalarından oluşmaktadır. Aerojel levha üretim sürecinde ilk olarak silika ve katkı maddeleri karıştırılarak ön karışım hazırlanmaktadır. Sonrasında bu karışım elyaf liflerinin üzerine dökülmekte ve jelleşme gerçekleşene kadar ısıtılmaktadır. Jelin sertleşip güçlendiği olgunlaşma süreci devam ederken levha sıvı ile dolu bir hazneye yerleştirilerek kimyasal reaksiyonlarla hidrofobik hale getirilmektedir. Sonrasında süperkritik kurutucuda içerisindeki sıvı hassas ve kontrollü bir şekilde çıkarılarak kurutma işlemi yapılmaktadır. Kurutma sonrası ise paketleme işlemi yapılmaktadır. Aerojel levha yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.30'da verilmiştir.

Çizelge 3.30. Aerojel levha bileşenleri.

Aerojel Levha	
Bileşenler	Oranlar (%)
Silika	~ 40 - 55
PET (Polietilen tereftalat) Elyafı / Cam Elyafı	~ 20 - 45
Katkı Maddeleri	~ 0 - 15

3.2.2.1.i. VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli)

VIP, oldukça verimli ve geleneksel yalıtım malzemelerinin termal verimliliğinden çok daha iyi performans gösteren bir ısı yalıtım malzemesidir. Vakum yalıtım paneli bir çekirdek ve onun etrafında bir zarftan oluşmaktadır. Çekirdek kısmı lifler ve opaklaştırıcı ile karıştırılmış, yanıcı olmayan füme silikadan yapılan gözenekli bir levhadan oluşmaktadır. Sert çekirdek levhasının havası boşaltılarak metalize çok katmanlı bir film olan gaz ve su geçirmez bir zarf ile kapatılmaktadır. Üretim sürecinde hammaddeler olan füme silika, silisyum karbür ve selüloz lifleri uygun bileşimde karıştırılmakta ve hidrolik preste bir tabaka halinde preslenmektedir. Bu şekilde üretilen çekirdek levhası daha sonra testereleler aracılığıyla uygun boyutlarda

kesilmektedir. Çekirdek levhaları daha sonra belli bir sıcaklıkta kurutulmaktadır. Kurutma işleminden sonra çekirdek levhanın etrafı önce koruyucu örtü ile sarılmakta ve ardından metalize plastik kompozit film sarılarak bir tarafı açık bırakılmaktadır. Sonrasında vakum odasında, bir tarafı hala açık olan metalize plastik kompozit film kabuk aracılığıyla iç kısım vakumlanarak ilgili basınç aralığına ulaşıldığında zarf kapatılmaktadır. Vakumlu yalıtım paneli yapımında kullanılan bileşenler ve oranları Çizelge 3.31’de verilmiştir.

Çizelge 3.31. VIP (vakumlu yalıtım paneli) bileşenleri.

VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli)	
Bileşenler	Oranlar (%)
Füme Silika	~ 45 - 90
Silisyum Karbür	~ 1 - 18
Selüloz Lifleri	~ 0 - 10
Zarf Malzemeleri	~ 10

3.2.2.2. A4 Aşaması Verileri

Malzemelerin şantiye sahasına taşınmasını kapsayan A4 aşamasının çevresel etkilerini belirlemek için Yenişehir işçi konutlarının bulunduğu alana fabrikadan malzemelerin ne kadar mesafeden, hangi ulaşım yoluyla ve ne tür araçla getirildiği belirlenmiş olup One Click LCA yazılımına bu ulaşım verileri aktarılmıştır. Tüm malzemelerin karayolu üzerinden ve aynı özelliklere sahip araçlarla getirildiği varsayılmıştır. Aerojel ve vakumlu yalıtım panelinin fabrikaları yurtdışında olduğu için ilk olarak Türkiye’de bulunan distribütörlerine getirilmektedir. Sonrasında bu distribütörlerden alınarak şantiye sahasına taşınmaktadır. Bu iki yalıtım malzemesi için ulaşım mesafesi bu durum göz önünde bulundurularak hesaplanmıştır. Isı yalıtım malzemelerinin tedarikçileri ve diğer bilgiler Çizelge 3.32’de verilmiştir. Isı yalıtım malzemelerinin tedarik edildiği firmaların fabrikaları ile konutların bulunduğu konum arasındaki mesafelere göre yakından uzağa sıralaması; EPS, taşyünü levha, XPS, PUR, genişletilmiş mantar levha, püskürtme selüloz, camyünü levha, genişletilmiş perlit levha, aerojel levha ve VIP şeklindedir.

Çizelge 3.32. Yalıtım malzemelerinin temin edileceği firmalar ve mesafeler.

MALZEME	FİRMA	ADRES	MESAFE
Genleştirilmiş Perlit Levha	PERSTONE Yalıtım Malzemeleri	3. Organize Sanayi Bölgesi, 83303. Cadde, No:34, Başpınar, Şhitkamil / GAZİANTEP	860 km
Genleştirilmiş Mantar Levha	DUPLAS Mantar Şilte ve Mantar Levha	Oto Sanayi Sitesi, Dalgıç Sokak, No:33, 4.Levent / İSTANBUL	397 km
Püskürtme Selüloz	CELLUBOR Isı ve Ses Yalıtımı	Fevzi Çakmak Mahallesi, 10615. Sokak, No:7, Karatay / KONYA	474 km
Taşyünü Levha	ÖZPOR Taşyünü	1.Ankara Organize Sanayi Bölgesi, Türkmenistan Caddesi, No:4, Sincan / ANKARA	200 km
XPS (Ekstrüde Polistiren)	İZOCAM Gebkim Foamboard, İzopor ve Tekiz Panel	Çerkeşli Köyü Yolu Üzeri Kocabayır Tepe Mevkii, Kiplasma Caddesi, No:1, Demirciler Organize Sanayi Bölgesi, Dilovası / KOCAELİ	346 km
EPS (Ekspande Polistiren)	AUSTROTHERM Yalıtım Malzemeleri	1. Organize Sanayi Bölgesi, Nahevan Caddesi, No:6, Sincan / ANKARA	195 km
Camyünü Levha	İZOCAM Camyünü ve Foamboard	Tarsus – Adana Karayolu üzeri, 6. km., Yunusoğlu, Tarsus / MERSİN	675 km
PUR (Poliüretan Köpük)	KİMPUR Kimteks Poliüretan	Gebze Plastikçiler Organize Sanayi Bölgesi, İnönü Mahallesi, Cumhuriyet Caddesi, No: 43, Gebze / KOCAELİ	351 km
Aerojel Levha	AMA AEROGEL	Atalar Kordonboyu Mahallesi, Olgun Sokak, No:4, Kartal, İstanbul / TÜRKİYE (Distribütör) Donja Luka, Ilijaš 71380, BOSNA HERSEK (Fabrika)	1220 km + 376 km Toplam 1596 km
VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli)	KINGSPAN Insulated Panels	Yıldız, Çırağan Caddesi, No:97, Beşiktaş, İstanbul / TÜRKİYE (Distribütör) Újhartyán, Horka dűlő 1, 2367, MACARISTAN (Fabrika)	1298 km + 394 km Toplam 1692 km

3.2.3. Maliyet Analizi

EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirme önerileri ile işçi konularının enerji verimliliği artırılırken, çevresel etki değerlendirme ile çevreye olan zararı en az şekilde iyileştirilebilmesi ve maliyet analizi ile de uygun fiyatlı olarak iyileştirilebilmesi mümkün olabilmektedir. Bu durum konutların bütünleşik olarak iyileştirilebilmesini sağlamaktadır. Isı yalıtımı malzemelerinin seçiminde çevreye verdiği zararlar gibi maliyetleri de tercih konusunda önemli bir kriterdir.

Çalışmada ısı yalıtımları ile iyileştirme senaryolarının maliyet analizi yapılmıştır. Maliyet analizi dış duvarda kullanılan “1m² ısı yalıtımı” bazında yapılmıştır. 1m² dış duvarda kullanılan ısı yalıtımlarının, iyileştirme önerilerindeki hesaplanan kalınlıklarına göre maliyetleri belirlenmiştir. Isı yalıtımı malzemelerinin fiyatları “1m² x 1cm kalınlık” boyutlarına göre A4 aşamasında belirtilen tedarikçi firmalardan edinilmiştir. Isı yalıtımı malzemelerinin “1m² x 1cm kalınlık” birimindeki fiyat bilgileri Çizelge 3.33’te verilmiştir. Edinilen fiyatlar sadece malzeme fiyatı olup nakliye, işçilik gibi maliyetler dâhil değildir. Isı yalıtımlarının fiyatları 2023’ün Mayıs ayında edinilmiştir.

Çizelge 3.33. Isı yalıtımı malzemelerinin “1m² x 1cm kalınlık” için fiyat bilgileri.

YALITIM MALZEMELERİ	FİYAT (1m² x 1cm)
Genleştirilmiş Perlit Levha	0,6 Euro + %18 KDV
Genleştirilmiş Mantar Levha	1,5 Euro + %18 KDV
Püskürtme Selüloz	0,5 Euro + %18 KDV
Taşyünü Levha	0,6 Euro + %18 KDV
XPS (Ekstrüde Polistiren) Levha	0,85 Euro + %18 KDV
EPS (Ekspande Polistiren) Levha	0,75 Euro + %18 KDV
Camyünü Levha	0,65 Euro + %18 KDV
PUR (Poliüretan Köpük)	1,8 Euro + %18 KDV
Aerojel Levha	45 Euro + %18 KDV
VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli)	105 Euro + %18 KDV

Isı yalıtımı malzemelerinin fiyatları “1m² x 1cm kalınlık” için incelendiğinde;

- Doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozun 0,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı ısı yalıtımı malzemesi olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımlarından olan vakumlu yalıtım panelinin 105 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı ısı yalıtımı malzemesi olduğu,
- En düşük fiyatlı ve en yüksek fiyatlı bu iki ısı yalıtımı malzemesinin fiyatları arasında yaklaşık 210 kat fark bulunduğu,
- Doğal ısı yalıtımları içerisinde püskürtme selülozun 0,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı yalıtım malzemesi, geliştirilmiş mantar levhanın ise 1,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu,
- Yapay ısı yalıtımları içerisinde taşıyıcı levhanın 0,6 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı yalıtım malzemesi, poliüretan köpüğün ise 1,8 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımları içerisinde arojel levhanın 45 Euro + %18 KDV fiyatı ile düşük fiyatlı yalıtım malzemesi, vakumlu yalıtım panelinin ise 105 Euro + %18 KDV fiyatı ile yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 4

BULGULAR VE TARTIŞMA

Bulgular bölümü Yenişehir işçi konutlarının mevcut durum enerji performans sonuçlarını, mevcut konutların iç mekanında gerçekleştirilen ölçümlerde ve simülasyonlar sonucunda elde edilen iç mekan sıcaklık değerlerini ve bunlara bağlı olarak simülasyon doğrulaması sonuçlarını içermektedir. İşçi konutları için EnerPHit Standardı kapsamında oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji performans sonuçlarını, dış duvar bazında oluşturulan ısı yalıtımları ile iyileştirme önerilerinin çevresel etki değerlendirmesi sonuçlarını ve ısı yalıtımlarının maliyet analizi sonuçlarını içermektedir.

4.1. İŞÇİ KONUTLARININ ENERPHIT STANDARDI KAPSAMINDA İYİLEŞTİRİLMESİ SONUÇLARI

Bu bölümde vaziyet planında (Şekil 3.1) 1, 2, 3 ve 4 numaraları ile belirtilen konutların mevcut durum simülasyonlarının yapılmasıyla elde edilen enerji performansı sonuçları verilmiştir. 1 ve 2 numaralı konutlarda ölçümler sonucu elde edilen iç mekân sıcaklık değerleri ile bu konutların simüle edilmesi sonucu elde edilen iç mekân sıcaklık değerleri verilmiştir. Bu iki yöntemden elde edilen verilerle hesaplanan simülasyon programı doğrulaması sonuçları verilmiştir. İşçi konutlarının EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilmesi amacıyla belirlenen önerilerin simülasyonlarının yapılmasıyla elde edilen enerji performansı sonuçları verilmiştir.

4.1.1. Mevcut Durum Enerji Tüketimi

7 numaralı adada mevcut durum tespiti için seçilmiş olan 1, 2, 3 ve 4 numaralı işçi konutlarının DesignBuilder programında modellenmesi ve gerekli parametrelerin tanımlanması ile enerji simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

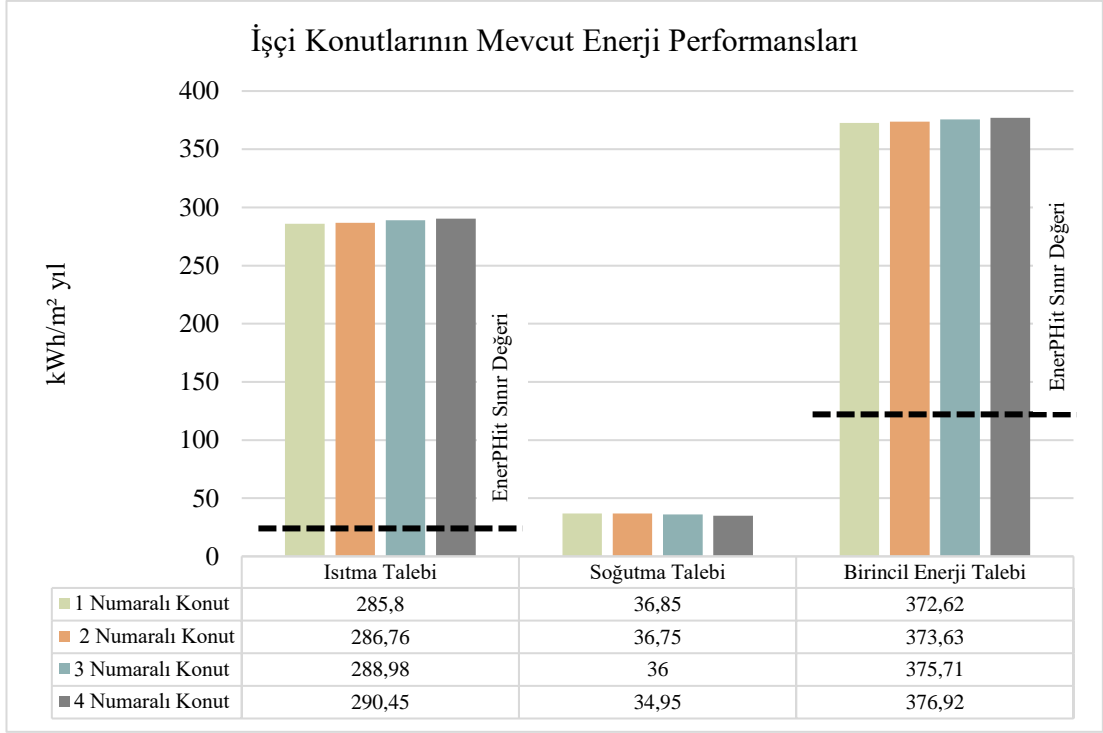
Simülasyonlar sonucu konutların mevcut ısıtma, soğutma ve birincil enerji talepleri elde edilmiştir. 1, 2, 3 ve 4 numaralı işçi konutlarının mevcut ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerine yönelik bulgular Çizelge 4.1 ve Şekil 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Konutların mevcut durum enerji performansı sonuçları.

	Isıtma Talebi (kWh/m ² yıl)	Soğutma Talebi (kWh/m ² yıl)	Birincil Enerji Talebi (kWh/m ² yıl)
1 Numaralı Konut	285,80	36,85	372,62
2 Numaralı Konut	286,76	36,75	373,63
3 Numaralı Konut	288,98	36,00	375,71
4 Numaralı Konut	290,45	34,95	376,92

1, 2, 3 ve 4 numaralı konutların simülasyonları sonucu elde edilen bulgular incelendiğinde;

- 1 numaralı konutun ısıtma talebinin 285,80 kWh/m², soğutma talebinin 36,85 kWh/m² ve birincil enerji talebinin 372,62 kWh/m² olduğu,
- 2 numaralı konutun ısıtma talebinin 286,76 kWh/m², soğutma talebinin 36,75 kWh/m² ve birincil enerji talebinin 373,63 kWh/m² olduğu,
- 3 numaralı konutun ısıtma talebinin 288,98 kWh/m², soğutma talebinin 36 kWh/m² ve birincil enerji talebinin 375,71 kWh/m² olduğu,
- 4 numaralı konutun ısıtma talebinin 290,45 kWh/m², soğutma talebinin 34,95 kWh/m² ve birincil enerji talebinin 376,92 kWh/m² olduğu görülmektedir.
- Isıtma talebinin en yüksek 4 numaralı konutta, en düşük ise 1 numaralı konutta ortaya çıktığı,
- Soğutma talebinin en yüksek 1 numaralı konutta, en düşük ise 4 numaralı konutta ortaya çıktığı,
- Birincil enerji talebinin ise en yüksek 4 numaralı konutta, en düşük ise 1 numaralı konutta ortaya çıktığı,
- En yüksek ve en düşük ısıtma talepleri arasında yaklaşık %1 fark olduğu, soğutma talepleri arasında yaklaşık %5 fark olduğu, birincil enerji talepleri arasında ise yaklaşık %1 fark olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. 1, 2, 3 ve 4 numaralı işçi konutlarının mevcut enerji performansları.

Mevcut durum enerji simülasyonları sonucu elde edilen bulgulara göre 4 konutun da ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum konutların yönelme dışındaki yapı kabuğu bileşenleri, HVAC sistemi, ısıtma-soğutma zamanlaması ve set pointleri gibi diğer parametrelerinin aynı olması ile açıklanabilmektedir. Buna ek olarak bu konutların 4 cephesindeki açıklık oranları arasında çok fark olmadığı için bu 4 konutun yönelmelerinin farklı olmasının da çok etkili olmadığını söylemek mümkündür.

Enerji performansları tespit edilen bu işçi konutlarının ısıtma taleplerinin oldukça fazla olduğu ve birincil enerji taleplerinin büyük çoğunluğunu ısıtma taleplerinin oluşturduğu söylenebilmektedir. Konutların mevcut durum enerji performansı sonuçları bu konutların soğuk ılıman iklim kuşağı EnerPHit Standardı kriterlerinden (Çizelge 3.8) oldukça uzak olduğunu göstermektedir.

4.1.2. EnerPHit Standardı Kapsamında İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi

Mevcut durum enerji performansları incelenen 1, 2, 3 ve 4 numaralı konutların EnerPHit Standardı'na yönelik oluşturulan iyileştirme önerileri DesignBuilder programında modellenerek gerekli parametreler tanımlanmış ve enerji simülasyonları gerçekleştirilmiştir. İyileştirme önerilerinde ilk adım olarak pencere, dış kapı, HVAC sistemi ve hava sızdırmazlık değeri parametreleri belirlenmiş ve programa tanımlanmıştır. Sonrasında bu önerilere yapı kabuğunun 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi ile iyileştirilmesi adımı eklenerek toplamda 10 farklı iyileştirme önerisi oluşturulmuştur. Bu durumda da bütün ısı yalıtımları ile iyileştirme önerilerinde pencere, kapı, HVAC sistemi, hava sızdırmazlık değeri ve diğer tüm yapı parametreleri aynı olup sadece yapı kabuğu bileşenlerinde kullanılan ısı yalıtımları farklı olmuştur. 1, 2, 3 ve 4 numaralı konutların iyileştirme parametrelerine göre oluşturulan modellerinin enerji simülasyonları gerçekleştirilerek ısıtma, soğutma ve birincil enerji talepleri elde edilmiştir.

Konutların simülasyonları sonucu elde edilen talepler incelendiğinde, her konut için 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi ile oluşturulan iyileştirme önerilerinde ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin birbirine çok yakın olduğu fakat az da olsa farklılık gösterdikleri görülmektedir. Bu durum yapı kabuğu elemanlarında kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlıklarını hesaplarken kalınlık hassasiyetinin 0,5cm olarak kabul edilmesi ile açıklanabilmektedir. Yapıların EnerPHit Standardı soğuk ılıman iklim kuşağı kriterlerine uygun olabilmeleri için belirtilen yapı kabuğu ısı geçirme dirençlerini (R değeri) ve ısı geçirme katsayılarını (U değeri) sağlayabilmeleri için yalıtım kalınlıkları hesaplanırken kalınlık hassasiyeti 0,5cm olarak kabul edilmiştir. Bu duruma bağlı olarak da 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi ile iyileştirme önerilerinde R ve U değerleri birbirine olabildiğince yakın tutulmuş olsa da eşit değildir.

1, 2, 3 ve 4 numaralı konutların mevcut durum simülasyon sonuçlarında olduğu gibi iyileştirme önerilerinin simülasyon sonuçlarında da bu konutların ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin birbirine oldukça yakın olduğu görülmektedir. Bu durum bu 4 konutun mevcut durumunda da olduğu gibi yönlenme dışındaki tüm parametrelerinin aynı olması ile açıklanabilmektedir.

4.1.2.1. 1 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi

1 numaralı konutun iyileştirme önerilerinin simülasyonları sonucu elde edilen ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerine yönelik bulgular Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 1 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları.

1 NUMARALI KONUT			
	Isıtma Talebi (kWh/m ² yıl)	Soğutma Talebi (kWh/m ² yıl)	Birincil Enerji Talebi (kWh/m ² yıl)
G. Perlit Levha Önerisi	23,060	19,878	114,41
G. Mantar Levha Önerisi	22,690	19,663	113,78
Püskürtme Selüloz Önerisi	22,660	19,612	113,69
Taşıyünü Levha Önerisi	22,382	19,439	113,19
XPS Levha Önerisi	22,380	19,442	113,19
EPS Levha Önerisi	22,422	19,356	113,13
Camyünü Levha Önerisi	22,233	19,294	112,86
PUR Önerisi	21,830	19,015	112,13
Aerojel Levha Önerisi	21,112	18,663	111,00
VIP Önerisi	19,876	18,376	109,38

1 numaralı konut için 10 farklı yalıtım malzemesi ile oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji simülasyonu sonucu elde edilen bulgular incelendiğinde;

- Isıtma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 23,060 kWh/m² ile en düşük talep olan 19,876 kWh/m² arasında değiştiği,
- Soğutma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 19,878 kWh/m² ile en düşük talep olan 19,015 kWh/m² arasında değiştiği,
- Birincil enerji talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 114,41 kWh/m² ile en düşük talep olan 109,38 kWh/m² arasında değiştiği,
- İyileştirme önerileri içerisinde ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin en yüksek genişletilmiş perlit levha önerisinde, en düşük ise vakumlu yalıtım paneli önerisinde ortaya çıktığı,

- Taleplerin en yüksek olduğu geliştirilmiş perlit levha önerisi ile en düşük olduğu vakumlu yalıtım paneli önerisinin ısıtma talepleri arasında yaklaşık %13 fark olduğu, soğutma talepleri arasında yaklaşık %7 fark olduğu ve birincil enerji talepleri arasında yaklaşık %4 fark olduğu,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerinde; ısıtma talebinin yaklaşık %91 ile %93 arasında düşüş gösterdiği, soğutma talebinin yaklaşık %46 ile %50 arasında düşüş gösterdiği ve birincil enerji talebini ise yaklaşık %69 ile %71 arasında düşüş gösterdiği,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerindeki en fazla düşüşün sırasıyla ısıtma ve birincil enerji talebinde, en az düşüşün ise soğutma talebinde olduğu,
- 10 iyileştirme önerisinin de EnerPHit Standardı en fazla ısıtma talebi olan 25 kWh/m² ve en fazla birincil enerji talebi olan 120 kWh/m² kriterlerini sağladığı görülmektedir.

4.1.2.2. 2 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi

2 numaralı konutun iyileştirme önerilerinin simülasyonları sonucu elde edilen ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerine yönelik bulgular Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3. 2 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları.

2 NUMARALI KONUT			
	Isıtma Talebi (kWh/m ² yıl)	Soğutma Talebi (kWh/m ² yıl)	Birincil Enerji Talebi (kWh/m ² yıl)
G. Perlit Levha Önerisi	23,176	19,483	113,95
G. Mantar Levha Önerisi	22,784	19,302	113,34
Püskürtme Selüloz Önerisi	22,776	19,231	113,25
Taşyünü Levha Önerisi	22,499	19,067	112,76
XPS Levha Önerisi	22,497	19,069	112,76
EPS Levha Önerisi	22,535	18,989	112,71
Camyünü Levha Önerisi	22,349	18,929	112,45
PUR Önerisi	21,922	18,681	111,73
Aerojel Levha Önerisi	21,202	18,340	110,61
VIP Önerisi	19,970	18,052	109,00

2 numaralı konut için 10 farklı yalıtım malzemesi ile oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji simülasyonu sonucu elde edilen bulgular incelendiğinde;

- Isıtma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 23,176 kWh/m² ile en düşük talep olan 19,970 kWh/m² arasında değiştiği,
- Soğutma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 19,483 kWh/m² ile en düşük talep olan 18,052 kWh/m² arasında değiştiği,
- Birincil enerji talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 113,95 kWh/m² ile en düşük talep olan 109,00 kWh/m² arasında değiştiği,
- İyileştirme önerileri içerisinde ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin en yüksek geliştirilmiş perlit levha önerisinde, en düşük ise vakumlu yalıtım paneli önerisinde ortaya çıktığı,
- Taleplerin en yüksek olduğu geliştirilmiş perlit levha önerisi ile en düşük olduğu vakumlu yalıtım paneli önerisinin ısıtma talepleri arasında yaklaşık %13 fark olduğu, soğutma talepleri arasında yaklaşık %7 fark olduğu ve birincil enerji talepleri arasında yaklaşık %4 fark olduğu,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerinde; ısıtma talebinin yaklaşık %91 ile %93 arasında düşüş gösterdiği, soğutma talebinin yaklaşık %47 ile %51 arasında düşüş gösterdiği ve birincil enerji talebini ise yaklaşık %69 ile %71 arasında düşüş gösterdiği,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerindeki en fazla düşüşün sırasıyla ısıtma ve birincil enerji talebinde, en az düşüşün ise soğutma talebinde olduğu,
- 10 iyileştirme önerisinin de EnerPHit Standardı en fazla ısıtma talebi olan 25 kWh/m² ve en fazla birincil enerji talebi olan 120 kWh/m² kriterlerini sağladığı görülmektedir.

4.1.2.3. 3 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi

3 numaralı konutun iyileştirme önerilerinin simülasyonları sonucu elde edilen ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerine yönelik bulgular Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. 3 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları.

3 NUMARALI KONUT			
	Isıtma Talebi (kWh/m ² yıl)	Soğutma Talebi (kWh/m ² yıl)	Birincil Enerji Talebi (kWh/m ² yıl)
G. Perlit Levha Önerisi	23,353	19,564	114,38
G. Mantar Levha Önerisi	22,959	19,373	113,75
Püskürtme Selüloz Önerisi	22,928	19,320	113,65
Taşıyünü Levha Önerisi	22,644	19,154	113,15
XPS Levha Önerisi	22,642	19,166	113,18
EPS Levha Önerisi	22,687	19,071	113,10
Camyünü Levha Önerisi	22,493	19,013	112,83
PUR Önerisi	22,080	18,742	112,10
Aerojel Levha Önerisi	21,326	18,420	110,97
VIP Önerisi	20,072	18,138	109,33

3 numaralı konut için 10 farklı yalıtım malzemesi ile oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji simülasyonu sonucu elde edilen bulgular incelendiğinde;

- Isıtma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 23,353 kWh/m² ile en düşük talep olan 20,072 kWh/m² arasında değiştiği,
- Soğutma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 19,564 kWh/m² ile en düşük talep olan 18,138 kWh/m² arasında değiştiği,
- Birincil enerji talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 114,38 kWh/m² ile en düşük talep olan 109,33 kWh/m² arasında değiştiği,
- Isıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin en yüksek geliştirilmiş perlit levha önerisinde, en düşük ise vakumlu yalıtım paneli önerisinde ortaya çıktığı,
- Taleplerin en yüksek olduğu geliştirilmiş perlit levha önerisi ile en düşük olduğu vakumlu yalıtım paneli önerisinin ısıtma talepleri arasında yaklaşık %14 fark olduğu, soğutma talepleri arasında yaklaşık %7 fark olduğu ve birincil enerji talepleri arasında yaklaşık %4 fark olduğu,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerinde; ısıtma talebinin yaklaşık %91 ile %93 arasında düşüş gösterdiği, soğutma talebinin yaklaşık %45 ile %49 arasında

düşüş gösterdiği ve birincil enerji talebini ise yaklaşık %69 ile %71 arasında düşüş gösterdiği,

- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerindeki en fazla düşüşün sırasıyla ısıtma ve birincil enerji talebinde, en az düşüşün ise soğutma talebinde olduğu,
- 10 iyileştirme önerisinin de EnerPHit Standardı en fazla ısıtma talebi olan 25 kWh/m² ve en fazla birincil enerji talebi olan 120 kWh/m² kriterlerini sağladığı görülmektedir.

4.1.2.4. 4 Numaralı Konut İçin İyileştirme Önerilerinin Enerji Tüketimi

4 numaralı konutun iyileştirme önerilerinin simülasyonları sonucu elde edilen ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerine yönelik bulgular Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. 4 numaralı işçi konutunun iyileştirme önerilerinin enerji performansları.

4 NUMARALI KONUT			
	Isıtma Talebi (kWh/m ² yıl)	Soğutma Talebi (kWh/m ² yıl)	Birincil Enerji Talebi (kWh/m ² yıl)
G. Perlit Levha Önerisi	23,436	19,144	113,95
G. Mantar Levha Önerisi	22,993	19,009	113,33
Püskürtme Selüloz Önerisi	23,021	18,898	113,24
Taşıyünü Levha Önerisi	22,677	18,795	112,74
XPS Levha Önerisi	22,676	18,797	112,74
EPS Levha Önerisi	22,777	18,657	112,69
Camyünü Levha Önerisi	22,525	18,657	112,42
PUR Önerisi	22,108	18,397	111,70
Aerojel Levha Önerisi	21,355	18,085	110,58
VIP Önerisi	20,096	17,807	108,95

4 numaralı konut için 10 farklı yalıtım malzemesi ile oluşturulan iyileştirme önerilerinin enerji simülasyonu sonucu elde edilen bulgular incelendiğinde;

- Isıtma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 23,436 kWh/m² ile en düşük talep olan 20,096 kWh/m² arasında değiştiği,

- Soğutma talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 19,144 kWh/m² ile en düşük talep olan 17,807 kWh/m² arasında değiştiği,
- Birincil enerji talebinin iyileştirme önerilerinde en yüksek talep olan 113,95 kWh/m² ile en düşük talep olan 108,95 kWh/m² arasında değiştiği,
- Isıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin en yüksek geliştirilmiş perlit levha önerisinde, en düşük ise vakumlu yalıtım paneli önerisinde ortaya çıktığı,
- Taleplerin en yüksek olduğu geliştirilmiş perlit levha önerisi ile en düşük olduğu vakumlu yalıtım paneli önerisinin ısıtma talepleri arasında yaklaşık %14 fark olduğu, soğutma talepleri arasında yaklaşık %7 fark olduğu ve birincil enerji talepleri arasında yaklaşık %4 fark olduğu,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerinde; ısıtma talebinin yaklaşık %91 ile %93 arasında düşüş gösterdiği, soğutma talebinin yaklaşık %45 ile %49 arasında düşüş gösterdiği ve birincil enerji talebini ise yaklaşık %69 ile %71 arasında düşüş gösterdiği,
- Mevcut duruma göre iyileştirme önerilerindeki en fazla düşüşün sırasıyla ısıtma ve birincil enerji talebinde, en az düşüşün ise soğutma talebinde olduğu,
- 10 iyileştirme önerisinin de EnerPHit Standardı en fazla ısıtma talebi olan 25 kWh/m² ve en fazla birincil enerji talebi olan 120 kWh/m² kriterlerini sağladığı görülmektedir.

4.2. İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİNİN ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLENDİRMESİ

Çalışmada çevresel etki değerlendirmesi ısı yalıtımları ile iyileştirme önerilerinden dış duvar bazında yapılmıştır. 10 farklı ısı yalıtım malzemesinin dış duvarda kullanılması ile oluşan 10 farklı dış duvarın çevresel etkisi değerlendirilmiştir. Duvarların çevresel etkisi 1m² işlevsel birim ve A1-A4 (üretim - şantiyeye taşıma) aşamaları bazında ele alınmıştır. One Click LCA yazılımında dış duvarı oluşturan sabit malzeme katmanları ve ısı yalıtımları seçilerek bu malzemelere ait kalınlık, hizmet ömrü, fabrikadan şantiyeye taşıma mesafeleri gibi gerekli parametreler tanımlanmış ve çevresel etki değerleri elde edilmiştir. Çevresel etki değerlendirmesinde etki değerlendirme metodu olarak EN-15978 Standardı kullanılmıştır.

4.2.1. Küresel Isınma Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) ve şantiyeye taşıma (A4) aşamalarında ortaya çıkan küresel ısınma potansiyeli değerleri Çizelge 4.6 ve Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.6. Küresel ısınma potansiyeli değerleri.

KÜRESEL ISINMA POTANSİYELİ (kg CO ₂ eq/m ²)			
YALITIM MALZEMELERİ	A1-A3 (Üretim)	A4 (Taşıma)	TOPLAM
G. Perlit Levha (860 km)	1,54E+02	2,08E+00	1,56E+02
G. Mantar Levha (397 km)	9,82E+01	1,62E+00	9,98E+01
Püskürtme Selüloz (474 km)	7,47E+01	1,42E+00	7,61E+01
Taşıyünü Levha (200 km)	9,44E+01	1,27E+00	9,57E+01
XPS Levha (346 km)	1,01E+02	1,28E+00	1,02E+02
EPS Levha (195 km)	9,62E+01	1,22E+00	9,74E+01
Camyünü Levha (675 km)	8,95E+01	1,38E+00	9,09E+01
PUR (351 km)	1,23E+02	1,26E+00	1,24E+02
Aerojel Levha (1596 km)	1,56E+02	2,34E+00	1,58E+02
VIP (1692 km)	1,48E+02	1,60E+00	1,49E+02

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının küresel ısınma potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden olan aerojel levhanın 1,56E+02 kg CO₂ eq/m² ile en yüksek küresel ısınma potansiyeline, doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selülozun ise 7,47E+01 kg CO₂ eq/m² ile en düşük küresel ısınma potansiyeline sahip olduğu,
- En yüksek ve en düşük küresel ısınma potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %52 olduğu,
- Aerojel levhadan sonra en yüksek küresel ısınma potansiyeline sırasıyla 1,54E+02 kg CO₂ eq/m² ile geliştirilmiş perlit levhanın ve 1,48E+02 kg CO₂ eq/m² ile vakumlu yalıtım panelinin sahip olduğu,
- Püskürtme selülozdan sonra en düşük küresel ısınma potansiyeline sırasıyla 8,95E+01 kg CO₂ eq/m² ile camyünü levhanın ve 9,44E+01 kg CO₂ eq/m² ile taşıyünü levhanın sahip olduğu,

- Doğal ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde geliştirilmiş perlit levhanın en yüksek, püskürtme selülozun en düşük küresel ısınma potansiyeline sahip olduğu,
- Yapay ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde poliüretan köpüğün en yüksek, camyünü levhanın en düşük küresel ısınma potansiyeline sahip olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde arojel levhanın vakumlu yalıtım panelinden daha yüksek küresel ısınma potansiyeline sahip olduğu,
- Genleştirilmiş perlit levhanın doğal kökenli bir ısı yalıtımı olmasına karşın küresel ısınma potansiyelinin yapay ısı yalıtımı malzemelerinin hepsinden ve ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden olan vakumlu yalıtım panelinden daha fazla olduğu, görülmektedir.

Arojel levhanın küresel ısınma potansiyelinin yüksek olmasının; hem arojel levhanın üretimi için hem de hammaddesi olan silikanın üretimi için yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak yoğun enerji gerektirmesi, bu enerjinin de fosil yakıtların yakılarak elde edilmesiyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Fosil yakıtların yanması ile atmosferde CO₂ oranı artmakta ve bu durum küresel ısınmaya neden olabilmektedir. Ayrıca arojel levha üretiminde çeşitli kimyasal işlemler gerekmektedir. Bu işlemler sırasında küresel ısınma potansiyelini artıracak yan ürünlerin ortaya çıkarak atmosfere salımının gerçekleşebileceği düşünülmektedir.

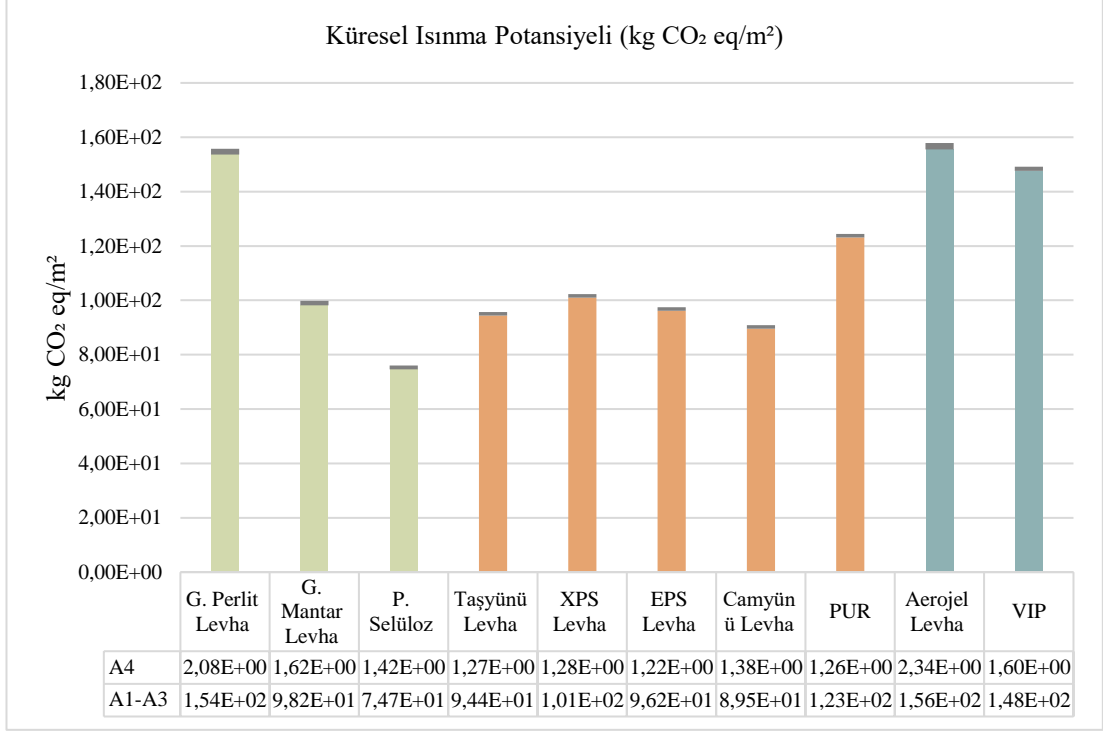
Genleştirilmiş perlit levhanın küresel ısınma potansiyelinin yüksek olmasının; hammaddesi olan perlitin geliştirilmesi aşaması ve bağlayıcı maddenin imalatı ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Perlitin geliştirilmesi doğalgaz ve elektrik kullanılarak yüksek sıcaklıklarda yapılmaktadır. Perlitin hammaddesi olan volkanik kayaların çıkarılması ve işlenmesi aşamalarında da enerji kullanılmaktadır. Genleştirme aşaması ve bahsedilen diğer aşamalar için gerekli olan enerjinin fosil yakıtların yanması sonucu elde edilmesinin küresel ısınma potansiyelini artırdığı düşünülmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A4 aşamasının küresel ısınma potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- 1596 km mesafeden getirilen arojel levhanın taşınmasında 2,34E+00 kg CO₂ eq/m² ile en yüksek küresel ısınma potansiyelinin, 195 km mesafeden getirilen EPS levhanın taşınmasında 1,22E+00 kg CO₂ eq/m² ile en düşük küresel ısınma potansiyelinin ortaya çıktığı,
- Arojel levhadan sonra en yüksek küresel ısınma potansiyelinin sırasıyla 2,08E+00 kg CO₂ eq/m² ile 860 km mesafeden getirilen genişletilmiş perlit levhanın taşınmasında ve 1,62E+00 kg CO₂ eq/m² ile 397 km mesafeden getirilen genişletilmiş mantar levhanın taşınmasında ortaya çıktığı,
- EPS levhadan sonra en düşük küresel ısınma potansiyelinin sırasıyla 1,26E+00 kg CO₂ eq/m² ile 351 km mesafeden getirilen poliüretan köpüğün taşınmasında ve 1,27E+00 kg CO₂ eq/m² ile 200 km mesafeden getirilen taşıyıcı levhanın taşınmasında ortaya çıktığı,
- 195 km ile en yakın mesafeden EPS levhanın getirilmekte olduğu ve EPS levhanın taşınmasında en düşük küresel ısınma potansiyelinin ortaya çıktığı,
- 1692 km ile en uzak mesafeden vakumlu yalıtım panelinin getirilmekte olduğu ve vakumlu yalıtım panelinin taşınmasında ortaya çıkan küresel ısınma potansiyelinin daha yakın mesafelerden getirilen arojel levha, genişletilmiş perlit levha ve genişletilmiş mantar levhadan daha düşük olduğu görülmektedir.

Bir ısı yalıtımı malzemesi, başka bir ısı yalıtımı malzemesinden daha uzak bir mesafeden getirildiği halde, uzaktan getirilen malzemenin taşınmasında ortaya çıkan küresel ısınma potansiyelinin daha düşük, yakından getirilen malzemenin taşınmasında ortaya çıkan küresel ısınma potansiyelinin daha yüksek olabildiği görülmektedir. Bu durumun ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlık, hacim ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olarak ulaşım için gerektirdikleri yakıt miktarı ve araç sayısı gibi parametrelerinin birbirinden farklı olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Bütün ısı yalıtımları için işlevsel birim 1m² olsa da malzemelerin kalınlık ve yoğunluk gibi özellikleri birbirinden farklıdır.

Isı yalıtımları için A1-A4 aşamaları toplam küresel ısınma potansiyelinin yaklaşık %98'inin A1-A3 üretim aşamalarında ortaya çıktığı, yaklaşık %2'sinin ise A4 taşıma aşamasında ortaya çıktığı ve taşıma aşamasında ortaya çıkan küresel ısınma potansiyelinin üretim aşamalarına göre oldukça düşük olduğu görülmektedir.



Şekil 4.2. Küresel ısınma potansiyeli değerleri.

4.2.2. Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) ve şantiyeye taşıma (A4) aşamalarında ortaya çıkan ozon tabakasının incelmesi potansiyeli değerleri Çizelge 4.7 ve Şekil 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.7. Ozon tabakasının incelmesi potansiyeli değerleri.

OZON TABAKASININ İNCELMESİ POTANSİYELİ (kg CFC-11 eq/m²)			
YALITIM MALZEMELERİ	A1-A3 (Üretim)	A4 (Taşıma)	TOPLAM
G. Perlit Levha (860 km)	5,60E-06	4,10E-07	6,01E-06
G. Mantar Levha (397 km)	5,20E-06	3,20E-07	5,52E-06
Püskürtme Selüloz (474 km)	5,00E-06	2,80E-07	5,28E-06
Taşyünü Levha (200 km)	5,20E-06	2,50E-07	5,45E-06
XPS Levha (346 km)	5,10E-06	2,50E-07	5,35E-06
EPS Levha (195 km)	5,10E-06	2,40E-07	5,34E-06
Camyünü Levha (675 km)	5,10E-06	2,70E-07	5,37E-06
PUR (351 km)	1,30E-05	2,50E-07	1,33E-05
Aerojel Levha (1596 km)	2,20E-05	4,60E-07	2,25E-05
VIP (1692 km)	1,60E-04	3,20E-07	1,60E-04

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının ozon tabakasının incelenmesi potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden olan vakumlu yalıtım panelinin $1,60E-04$ kg CFC-11 eq/m² ile en yüksek ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline, doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selülozun ise $5,00E-06$ kg CFC-11 eq/m² ile en düşük ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sahip olduğu,
- En yüksek ve en düşük ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %96 olduğu,
- Vakumlu yalıtım panelinden sonra en yüksek ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sırasıyla $2,20E-05$ kg CFC-11 eq/m² ile aerjel levhanın ve $1,30E-05$ kg CFC-11 eq/m² ile poliüretan köpüğün sahip olduğu,
- Aerjel levha ve poliüretan köpük malzemelerinin vakumlu yalıtım panelinden sonra en yüksek ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sahip olmalarına rağmen vakumlu yalıtım paneli ile etki değerleri arasındaki farkın sırasıyla yaklaşık %86 ve %91 olduğu,
- Püskürtme selülozdan sonra en düşük ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline $5,10E-06$ kg CFC-11 eq/m² ile XPS levhanın, EPS levhanın ve camyünü levhanın sahip olduğu,
- Doğal ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde genleştirilmiş perlit levhanın en yüksek, püskürtme selülozun en düşük ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sahip olduğu,
- Yapay ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde poliüretan köpüğün en yüksek, XPS levha, EPS levha ve camyünü levhanın en düşük ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sahip oldukları,
- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde vakumlu yalıtım panelinin aerjel levhadan çok daha yüksek ozon tabakasının incelenmesi potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

Vakumlu yalıtım paneline ait ozon tabakasının incelenmesi potansiyelinin yüksek olmasının; hammaddesi olan füme silika üretimi ve zarf malzemesi olarak kullanılan çok katmanlı metalize plastik kompozit filmin üretimi ile bağlantılı olduğu

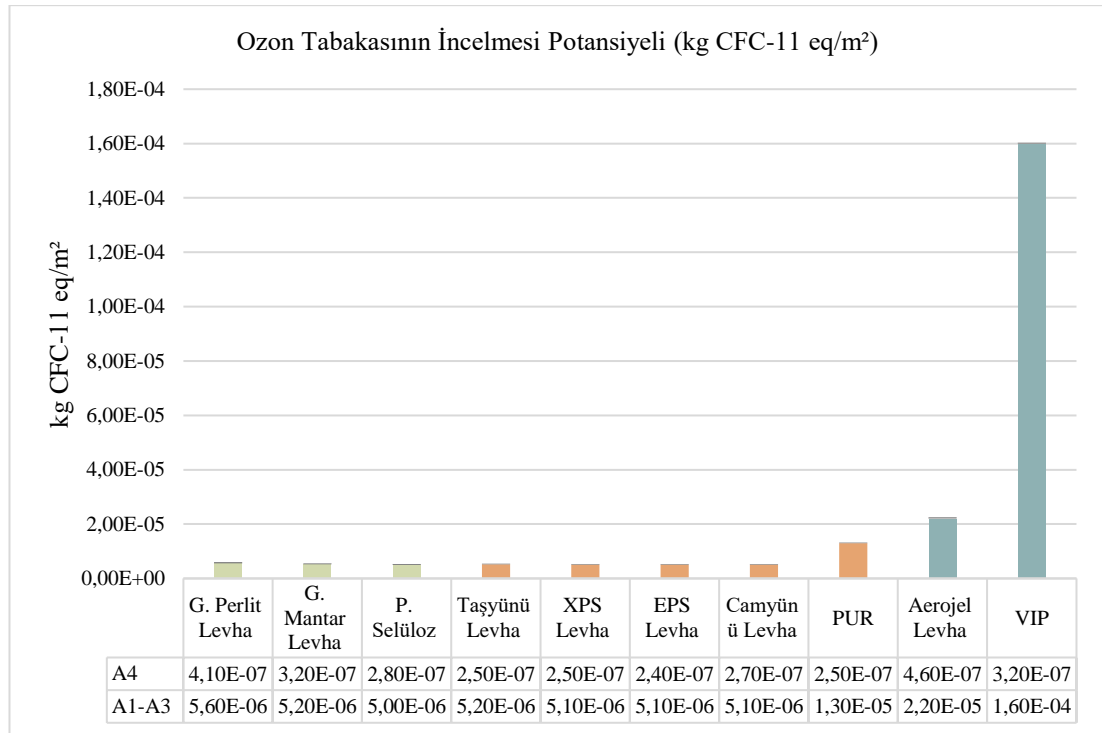
düşünülmektedir. Füme silika üretiminde silika mineralinin yüksek sıcaklıkta eritilmesiyle gazlar açığa çıkmaktadır. Bu gazların ozon tabakasına zarar vererek ozon tabakasının incelmesi potansiyelini artırabileceği düşünülmektedir. Metalize plastik kompozit film üretiminde yüksek sıcaklık ve kimyasal maddelerin kullanılması gerekmektedir. Kullanılan kimyasallar ve yapıştırıcılar ozon tabakası için zararlı gazları içerebilmektedir. Ayrıca metalize plastik kompozit filmlerin üretiminde genellikle alüminyum veya diğer metalik kaplamalar kullanılmaktadır. Bu kaplamaların üretiminde de ozon tabakasına zarar veren gazların açığa çıkabileceği düşünülmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A4 aşamasının ozon tabakasının incelmesi potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- 1596 km mesafeden getirilen aerjel levhanın taşınmasında $4,60E-07$ kg CFC-11 eq/m^2 ile en yüksek ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin, 195 km mesafeden getirilen EPS levhanın taşınmasında $2,40E-07$ kg CFC-11 eq/m^2 ile en düşük ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin ortaya çıktığı,
- Aerjel levhadan sonra en yüksek ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin sırasıyla $4,10E-07$ kg CFC-11 eq/m^2 ile 860 km mesafeden getirilen genişletilmiş perlit levhanın taşınmasında ve $3,20E-07$ kg CFC-11 eq/m^2 ile 397 km mesafeden getirilen genişletilmiş mantar levhanın ve 1692 km mesafeden getirilen vakumlu yalıtım panelinin taşınmasında ortaya çıktığı,
- Genleştirilmiş mantar levha ve vakumlu yalıtım panelinin farklı mesafelerden getirilmelerine rağmen bu malzemelerin taşınmasında oluşan ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin aynı olduğu,
- EPS levhadan sonra en düşük ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin $2,50E-07$ kg CFC-11 eq/m^2 ile 200 km mesafeden getirilen taşıyıcı levhanın, 346 km mesafeden getirilen XPS levhanın ve 351 km mesafeden getirilen poliüretan köpüğün taşınmasında ortaya çıktığı,
- Taşıyıcı levha, XPS levha ve poliüretan köpüğün farklı mesafelerden getirilmelerine rağmen bu malzemelerin taşınmasında oluşan ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin aynı olduğu,

- 195 km ile en yakın mesafeden EPS levhanın getirilmekte olduğu ve EPS levhanın taşınmasında en düşük ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin ortaya çıktığı,
- 1692 km ile en uzak mesafeden vakumlu yalıtım panelinin getirilmekte olduğu ve vakumlu yalıtım panelinin taşınmasında ortaya çıkan ozon tabakasının incelmesi potansiyelinin daha yakın mesafelerden getirilen arojel levha ve genişletilmiş perlit levhadan daha düşük olduğu görülmektedir.

Farklı mesafelerden getirilen ısı yalıtımı malzemelerin taşınmasında oluşan ozon tabakasının incelmesi potansiyelleri aynı olabilmektedir. Uzak mesafeden getirilen bir yalıtım malzemesinin taşınmasında oluşan ozon tabakasının incelmesi potansiyeli yakın mesafelerden getirilen bir yalıtım malzemesinden fazla olabilmektedir. Bu durumların daha önce de açıklandığı gibi ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlık, hacim ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olarak ulaşım için gerektirdikleri yakıt miktarı ve araç sayısı gibi parametrelerinin birbirinden farklı olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.3. Ozon tabakasının incelmesi potansiyeli değerleri.

4.2.3. Asidifikasyon Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) ve şantiyeye taşıma (A4) aşamalarında ortaya çıkan asidifikasyon potansiyeli değerleri Çizelge 4.8 ve Şekil 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.8. Asidifikasyon potansiyeli değerleri.

ASİDİFİKASYON POTANSİYELİ (kg SO ₂ eq/m ²)			
YALITIM MALZEMELERİ	A1-A3 (Üretim)	A4 (Taşıma)	TOPLAM
G. Perlit Levha (860 km)	1,34E+00	9,60E-03	1,35E+00
G. Mantar Levha (397 km)	1,06E+00	7,50E-03	1,07E+00
Püskürtme Selüloz (474 km)	9,20E-01	6,50E-03	9,27E-01
Taşyünü Levha (200 km)	1,16E+00	5,80E-03	1,17E+00
XPS Levha (346 km)	1,11E+00	5,90E-03	1,12E+00
EPS Levha (195 km)	1,10E+00	5,60E-03	1,11E+00
Camyünü Levha (675 km)	1,13E+00	6,30E-03	1,14E+00
PUR (351 km)	1,28E+00	5,80E-03	1,29E+00
Aerojel Levha (1596 km)	1,44E+00	1,10E-02	1,45E+00
VIP (1692 km)	1,40E+00	7,40E-03	1,41E+00

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının asidifikasyon potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden olan aerojel levhanın 1,44E+00 kg SO₂ eq/m² ile en yüksek asidifikasyon potansiyeline, doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selülozun ise 9,20E-01 kg SO₂ eq/m² ile en düşük asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- En yüksek ve en düşük asidifikasyon potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %36 olduğu,
- Aerojel levhadan sonra en yüksek asidifikasyon potansiyeline sırasıyla 1,40E+00 kg SO₂ eq/m² ile vakumlu yalıtım panelinin ve 1,34E+00 kg SO₂ eq/m² ile geliştirilmiş perlit levhanın sahip olduğu,
- Püskürtme selülozdan sonra en düşük asidifikasyon potansiyeline sırasıyla 1,06E+00 kg SO₂ eq/m² ile geliştirilmiş mantar levhanın ve 1,10E+00 kg SO₂ eq/m² ile EPS levhanın sahip olduğu,

- Doğal ısı yalıtımları içerisinde geliştirilmiş perlit levhanın en yüksek, püskürtme selülozun en düşük asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- Yapay ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde poliüretan köpüğün en yüksek, EPS levhanın en düşük asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde arojel levhanın vakumlu yalıtım panelinden daha yüksek asidifikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- Genleştirilmiş perlit levhanın doğal kökenli bir ısı yalıtımı olmasına karşın asidifikasyon potansiyelinin yapay ısı yalıtımı malzemelerinin hepsinden fazla olduğu görülmektedir.

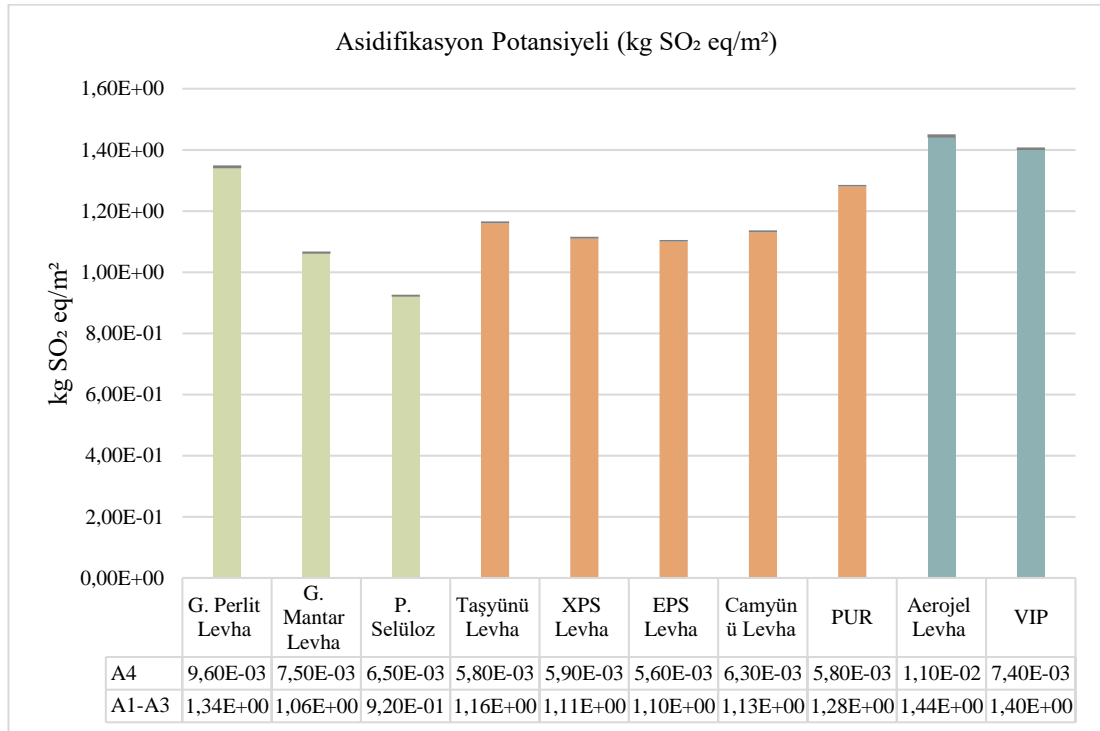
Arojel levhanın asidifikasyon potansiyelinin yüksek olmasının; üretim sürecinde yüksek sıcaklık ve buna bağlı olarak yoğun enerji gerektirmesiyle ve üretim sürecindeki kimyasal işlemlerle bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Yoğun enerji ihtiyacı için fosil yakıtların kullanılması sonucu kükürt dioksit (SO₂) gibi asidik gazlar ortaya çıkabilmektedir. Bu gazlar da asit yağmurları olarak suya ve toprağa karışıp asidifikasyona neden olabilmektedir. Ayrıca arojel levhanın üretim aşamasında jelleşme sırasında gerçekleşen reaksiyonlar sonucu ortamın asidik hale gelmesi, jelleşmeden sonra arojel levhanın asidik bir çözeltiyle yıkanması ve jel yapısının sertleşmesi için gerçekleştirilen reaksiyonlarda asidik katalizörlerin kullanılması ile de bağlantılı olabileceği düşünülmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A4 aşamasının asidifikasyon potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- 1596 km mesafeden getirilen arojel levhanın taşınmasında 1,10E-02 kg SO₂ eq/m² ile en yüksek asidifikasyon potansiyelinin, 195 km mesafeden getirilen EPS levhanın taşınmasında 5,60E-03 kg SO₂ eq/m² ile en düşük asidifikasyon potansiyelinin ortaya çıktığı,
- Arojel levhadan sonra en yüksek asidifikasyon potansiyelinin sırasıyla 9,60E-03 kg SO₂ eq/m² ile 860 km mesafeden getirilen geliştirilmiş perlit levhanın taşınmasında ve 7,50E-03 kg SO₂ eq/m² ile 397 km mesafeden getirilen geliştirilmiş mantar levhanın taşınmasında ortaya çıktığı,

- EPS levhadan sonra en düşük asidifikasyon potansiyelinin $5,80E-03$ kg SO₂ eq/m² ile 200 km mesafeden getirilen taşıyünü levhanın ve 351 km mesafeden getirilen poliüretan köpüğün taşınmasında ortaya çıktığı,
- Taşıyünü levha ve poliüretan köpüğün farklı mesafelerden getirilmelerine rağmen taşınmalarında oluşan asidifikasyon potansiyelinin aynı olduğu,
- 1692 km ile en uzak mesafeden vakumlu yalıtım panelinin getirilmekte olduğu ve bu malzemenin taşınmasında ortaya çıkan asidifikasyon potansiyelinin daha yakın mesafelerden getirilen aerjel levha, genişleştirilmiş perlit levha ve genişleştirilmiş mantar levhadan daha düşük olduğu görülmektedir.

Farklı mesafelerden getirilen ısı yalıtımı malzemelerin taşınmasında oluşan asidifikasyon potansiyelleri aynı olabilmektedir. Uzak mesafeden getirilen bir yalıtım malzemesinin taşınmasında oluşan asidifikasyon potansiyeli yakın mesafelerden getirilen bir yalıtım malzemesinden fazla olabilmektedir. Bu durumların daha önce de açıklandığı gibi ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlık, hacim ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olarak ulaşım için gerektirdikleri yakıt miktarı ve araç sayısı gibi parametrelerinin birbirinden farklı olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.4. Asidifikasyon potansiyeli değerleri.

4.2.4. Ötrofikasyon Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) ve şantiyeye taşıma (A4) aşamalarında ortaya çıkan ötrofikasyon potansiyeli değerleri Çizelge 4.9 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.9. Ötrofikasyon potansiyeli değerleri.

ÖTROFİKASYON POTANSİYELİ (kg PO ₄ eq/m ²)			
YALITIM MALZEMELERİ	A1-A3 (Üretim)	A4 (Taşıma)	TOPLAM
G. Perlit Levha (860 km)	7,10E-02	2,10E-03	7,31E-02
G. Mantar Levha (397 km)	4,70E-02	1,60E-03	4,86E-02
Püskürtme Selüloz (474 km)	4,60E-02	1,40E-03	4,74E-02
Taşıyünü Levha (200 km)	5,70E-02	1,30E-03	5,83E-02
XPS Levha (346 km)	5,10E-02	1,30E-03	5,23E-02
EPS Levha (195 km)	5,20E-02	1,20E-03	5,32E-02
Camyünü Levha (675 km)	5,90E-02	1,40E-03	6,04E-02
PUR (351 km)	8,40E-02	1,30E-03	8,53E-02
Aerojel Levha (1596 km)	8,10E-02	2,30E-03	8,33E-02
VIP (1692 km)	7,90E-02	1,60E-03	8,06E-02

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının ötrofikasyon potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- Yapay ısı yalıtımı malzemelerinden olan poliüretan köpüğün 8,40E-02 kg PO₄ eq/m² ile en yüksek ötrofikasyon potansiyeline, doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selülozun ise 4,60E-02 kg PO₄ eq/m² ile en düşük ötrofikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- En yüksek ve en düşük ötrofikasyon potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %45 olduğu,
- Poliüretan köpükten sonra en yüksek ötrofikasyon potansiyeline sırasıyla 8,10E-02 kg PO₄ eq/m² ile aerojel levhanın ve 7,90E-02 kg PO₄ eq/m² ile vakumlu yalıtım panelinin sahip olduğu,
- Püskürtme selülozdan sonra en düşük ötrofikasyon potansiyeline sırasıyla 4,70E-02 kg PO₄ eq/m² ile genişletilmiş mantar levhanın ve 5,10E-02 kg PO₄ eq/m² ile XPS levhanın sahip olduğu,

- Doğal ısı yalıtımları içerisinde genişletilmiş perlit levhanın en yüksek, püskürtme selülozun en düşük ötrofikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- Yapay ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde poliüretan köpüğün en yüksek, XPS levhanın en düşük ötrofikasyon potansiyeline sahip olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde arojel levhanın vakumlu yalıtım panelinden daha yüksek ötrofikasyon potansiyeline sahip olduğu görülmektedir.

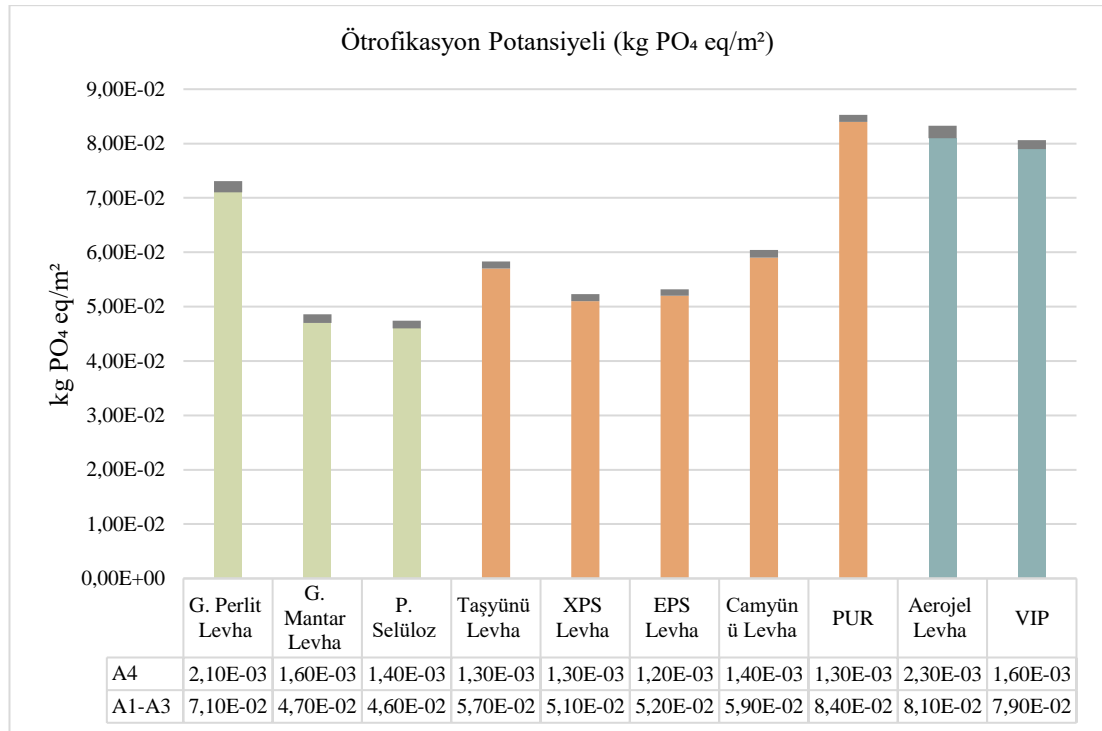
Poliüretan köpüğün ötrofikasyon potansiyelinin yüksek olmasının; üretiminde kullanılan izosiyanatlar gibi bazı kimyasal maddelerin su ekosistemlerine zarar veren toksik maddeler olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Bu kimyasal maddelerin sulara karışması, su ekosistemlerinde besin maddesi birikimine neden olabilmektedir. Bu durum da ötrofikasyona neden olabilmektedir. Üretim sırasında ortaya çıkan atık suların ve diğer maddelerin kontrolsüz bir şekilde doğaya salını sonucu su ekosistemlerine karışmasının ötrofikasyon potansiyelini artırabileceği düşünülmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A4 aşamasının ötrofikasyon potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- 1596 km mesafeden getirilen arojel levhanın taşınmasında $2,30E-03$ kg PO_4 eq/m² ile en yüksek ötrofikasyon potansiyelinin, 195 km mesafeden getirilen EPS levhanın taşınmasında $1,20E-03$ kg PO_4 eq/m² ile en düşük ötrofikasyon potansiyelinin ortaya çıktığı,
- Arojel levhadan sonra en yüksek ötrofikasyon potansiyelinin sırasıyla $2,10E-03$ kg PO_4 eq/m² ile 860 km mesafeden getirilen genişletilmiş perlit levhanın taşınmasında ve $1,60E-03$ kg PO_4 eq/m² ile 397 km mesafeden getirilen genişletilmiş mantar levhanın ve 1692 km mesafeden getirilen vakumlu yalıtım panelinin taşınmasında ortaya çıktığı,
- Genleştirilmiş mantar levha ve vakumlu yalıtım panelinin farklı mesafelerden getirilmelerine rağmen bu malzemelerin taşınmasında oluşan ötrofikasyon potansiyelinin aynı olduğu,

- EPS levhadan sonra en düşük ötrofikasyon potansiyelinin $1,30E-03$ kg PO_4 eq/ m^2 ile 200 km mesafeden getirilen taşıyünü levhanın, 346 km mesafeden getirilen XPS levhanın ve 351 km mesafeden getirilen poliüretan köpüğün taşınmasında ortaya çıktığı,
- 1692 km ile en uzak mesafeden getirilen vakumlu yalıtım panelinin taşınmasında ortaya çıkan ötrofikasyon potansiyelinin daha yakın mesafelerden getirilen arojel levha, genişleştirilmiş perlit levhadan daha düşük olduğu ve genişleştirilmiş mantar levha ile aynı olduğu görülmektedir.

Farklı mesafelerden getirilen ısı yalıtımı malzemelerin taşınmasında oluşan ötrofikasyon potansiyelleri aynı olabilmektedir. Uzak mesafeden getirilen bir yalıtım malzemesinin taşınmasında oluşan ötrofikasyon potansiyeli yakın mesafelerden getirilen bir yalıtım malzemesinden fazla olabilmektedir. Bu durumların daha önce de açıklandığı gibi ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlık, hacim ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olarak ulaşım için gerektirdikleri yakıt miktarı ve araç sayısı gibi parametrelerinin birbirinden farklı olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.5. Ötrofikasyon potansiyeli değerleri.

4.2.5. Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) ve şantiyeye taşıma (A4) aşamalarında ortaya çıkan fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri Çizelge 4.10 ve Şekil 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri.

FOTOKİMYASAL OZON OLUŞUMU POTANSİYELİ (kg Ethene eq/m ²)			
YALITIM MALZEMELERİ	A1-A3 (Üretim)	A4 (Taşıma)	TOPLAM
G. Perlit Levha (860 km)	6,60E-02	1,20E-04	6,61E-02
G. Mantar Levha (397 km)	5,20E-02	9,10E-05	5,21E-02
Püskürtme Selüloz (474 km)	4,50E-02	8,00E-05	4,51E-02
Taşıyünü Levha (200 km)	5,80E-02	7,10E-05	5,81E-02
XPS Levha (346 km)	1,10E-01	7,20E-05	1,10E-01
EPS Levha (195 km)	1,30E-01	6,90E-05	1,30E-01
Camyünü Levha (675 km)	5,70E-02	7,80E-05	5,71E-02
PUR (351 km)	7,60E-02	7,10E-05	7,61E-02
Aerojel Levha (1596 km)	7,50E-02	1,30E-04	7,51E-02
VIP (1692 km)	1,60E-01	9,00E-05	1,60E-01

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden olan vakumlu yalıtım panelinin 1,60E-01 kg Ethene eq/m² ile en yüksek fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline, doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selülozun ise 4,50E-02 kg Ethene eq/m² ile en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sahip olduğu,
- En yüksek ve en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %71 olduğu,
- Vakumlu yalıtım panelinden sonra en yüksek fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sırasıyla 1,30E-01 kg Ethene eq/m² ile EPS levhanın ve 1,10E-01 kg Ethene eq/m² ile XPS levhanın sahip olduğu,

- Püskürtme selülozdan sonra en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sırasıyla 5,20E-02 kg Ethene eq/m² ile geliştirilmiş mantar levhanın ve 5,70E-02 kg Ethene eq/m² ile camyünü levhanın sahip olduğu,
- Doğal ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde geliştirilmiş perlit levhanın en yüksek, püskürtme selülözün en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sahip olduğu,
- Yapay ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde EPS levhanın en yüksek, camyünü levhanın en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sahip olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde vakumlu yalıtım panelinin aerojel levhadan çok daha yüksek fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeline sahip olduğu,
- EPS levha ve XPS levhanın yapay ısı yalıtımı malzemelerinden olmalarına karşın fotokimyasal ozon oluşumu potansiyellerinin ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinden olan aerojel levhadan fazla olduğu görülmektedir.

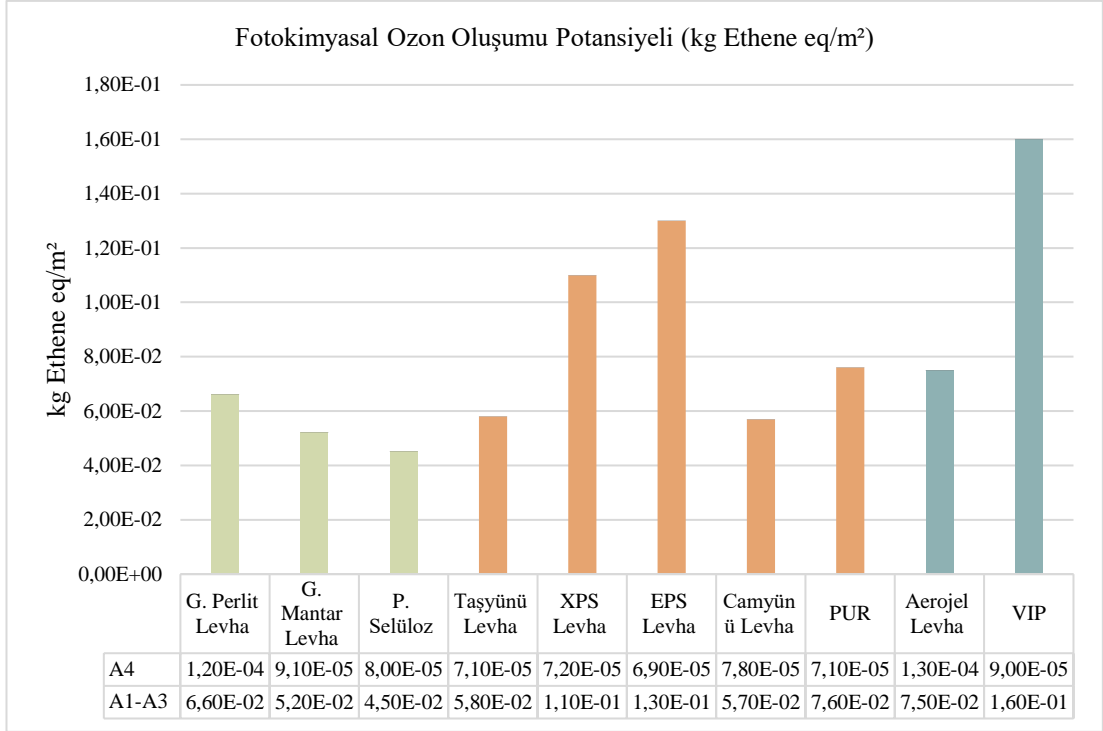
Vakumlu yalıtım panelinin fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin yüksek olmasının; hammaddelerinden olan füme silika üretimi ve zarf malzemesinin üretimiyle bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Füme silika üretiminde yüksek sıcaklıklara ihtiyaç duyulmakta olup bu sıcaklıklar için gerekli enerjinin fosil kaynaklardan karşılanmasıyla atmosfere zararlı gazların salımı gerçekleşmektedir. Bu zararlı gazların fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelini artırabileceği düşünülmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklıkta silika mineralinin eritilmesi sırasında fotokimyasal sis oluşturabilecek gazların salımının gerçekleşebileceği düşünülmektedir. Zarf malzemesi olan metalize plastik kompozit filmlerin üretimi sırasında kullanılan yapıştırıcılar ve kimyasallardan kaynaklanan uçucu organik bileşiklerin de fotokimyasal ozon oluşumuna neden olabileceği düşünülmektedir.

EPS ve XPS levhanın fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin yüksek olmasının; bu iki yalıtım malzemesinin hammaddesi olan polistirenin üretim süreciyle ve levhaların üretim sürecinde polistirenin geliştirilmesi için kullanılan gazlarla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Genleştirme işleminde kullanılan pentan gazı ve diğer genleştirici gazların atmosfere salımı sonucu fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelini artırabileceği düşünülmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A4 aşamasının fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- 1596 km mesafeden getirilen aerojel levhanın taşınmasında $1,30E-04$ kg Ethene eq/m^2 ile en yüksek fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin, 195 km mesafeden getirilen EPS levhanın taşınmasında $6,90E-05$ kg Ethene eq/m^2 ile en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin ortaya çıktığı,
- Aerojel levhadan sonra en yüksek fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin sırasıyla $1,20E-04$ kg Ethene eq/m^2 ile 860 km mesafeden getirilen genişletilmiş perlit levhanın taşınmasında ve $9,10E-05$ kg Ethene eq/m^2 ile 397 km mesafeden getirilen genişletilmiş mantar levhanın taşınmasında ortaya çıktığı,
- EPS levhadan sonra en düşük fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin $7,10E-05$ kg Ethene eq/m^2 ile 200 km mesafeden getirilen taşıyıcı levhanın ve 351 km mesafeden getirilen poliüretan köpüğün taşınmasında ortaya çıktığı,
- Taşıyıcı levha ve poliüretan köpüğün farklı mesafelerden getirilmelerine rağmen bu malzemelerin taşınmasında oluşan fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin aynı olduğu,
- 1692 km ile en uzak mesafeden vakumlu yalıtım panelinin getirilmekte olduğu ve vakumlu yalıtım panelinin taşınmasında ortaya çıkan fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelinin daha yakın mesafelerden getirilen aerojel levha, genişletilmiş perlit levha ve genişletilmiş mantar levhadan daha düşük olduğu görülmektedir.

Farklı mesafelerden getirilen ısı yalıtımı malzemelerin taşınmasında oluşan fotokimyasal ozon oluşumu potansiyelleri aynı olabilmektedir. Uzak mesafeden getirilen bir yalıtım malzemesinin taşınmasında oluşan fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli yakın mesafelerden getirilen bir yalıtım malzemesinden fazla olabilmektedir. Bu durumların daha önce de açıklandığı gibi ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlık, hacim ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olarak ulaşım için gerektirdikleri yakıt miktarı ve araç sayısı gibi parametrelerinin birbirinden farklı olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 4.6. Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli değerleri.

4.2.6. Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) ve şantiyeye taşıma (A4) aşamalarında ortaya çıkan fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri Çizelge 4.11 ve Şekil 4.7’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri.

FOSİL KAYNAKLAR İÇİN ABİYOTİK TÜKENME POTANSİYELİ (MJ/m²)			
YALITIM MALZEMELERİ	A1-A3 (Üretim)	A4 (Taşıma)	TOPLAM
G. Perlit Levha (860 km)	1,90E+03	5,94E+01	1,96E+03
G. Mantar Levha (397 km)	7,86E+02	4,62E+01	8,32E+02
Püskürtme Selüloz (474 km)	7,77E+02	4,04E+01	8,18E+02
Taşyünü Levha (200 km)	9,57E+02	3,61E+01	9,93E+02
XPS Levha (346 km)	1,40E+03	3,66E+01	1,43E+03
EPS Levha (195 km)	1,23E+03	3,48E+01	1,26E+03
Camyünü Levha (675 km)	9,54E+02	3,93E+01	9,94E+02
PUR (351 km)	1,51E+03	3,61E+01	1,55E+03
Aerojel Levha (1596 km)	1,38E+03	6,68E+01	1,44E+03
VIP (1692 km)	1,73E+03	4,57E+01	1,77E+03

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- Doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan geliştirilmiş perlit levhanın $1,90E+03$ MJ/m² ile en yüksek fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline, yine doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selülozun ise $7,77E+02$ MJ/m² ile en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sahip olduğu,
- En yüksek ve en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %59 olduğu,
- Geliştirilmiş perlit levhadan sonra en yüksek fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sırasıyla $1,73E+03$ MJ/m² ile vakumlu yalıtım panelinin ve $1,51E+03$ MJ/m² ile poliüretan köpüğün sahip olduğu,
- Püskürtme selülozdan sonra en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sırasıyla $7,86E+02$ MJ/m² ile geliştirilmiş mantar levhanın ve $9,54E+02$ MJ/m² ile camyünü levhanın sahip olduğu,
- Doğal ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde geliştirilmiş perlit levhanın en yüksek, püskürtme selülozun en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sahip olduğu,
- Yapay ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde poliüretan köpüğün en yüksek, camyünü levhanın en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sahip olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemeleri içerisinde vakumlu yalıtım panelinin arojel levhadan daha yüksek fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeline sahip olduğu,
- Geliştirilmiş perlit levhanın doğal kökenli bir ısı yalıtımı olmasına karşın fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin diğer bütün ısı yalıtımı malzemelerinden fazla olduğu görülmektedir.

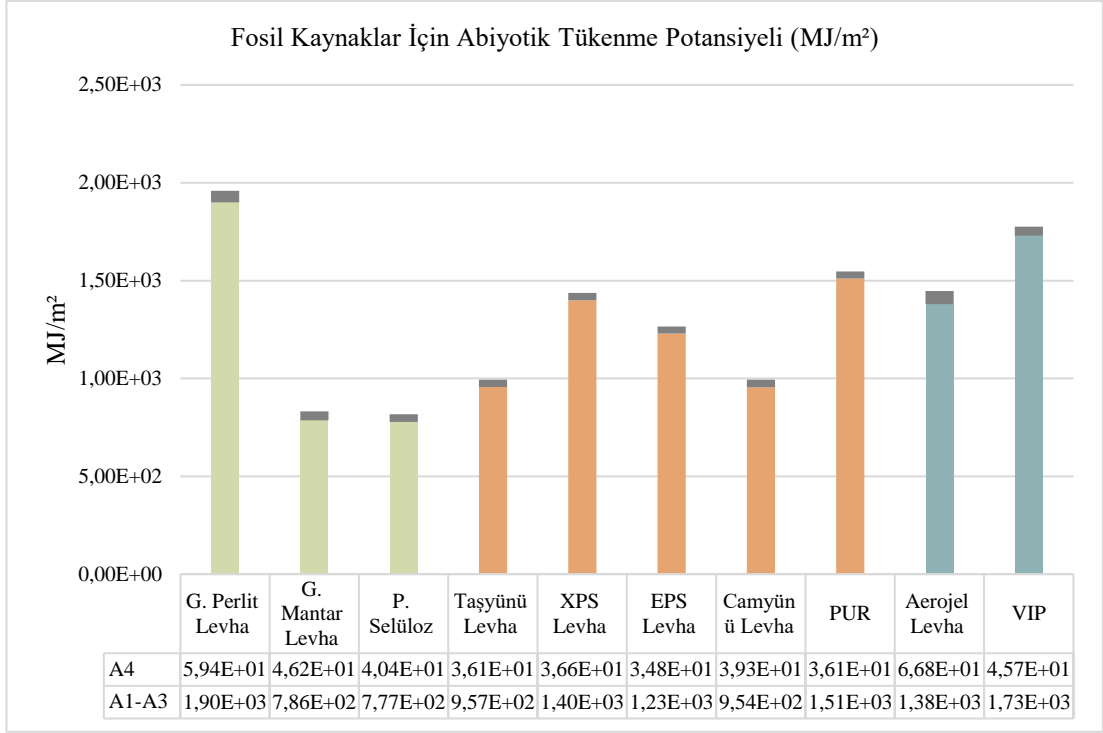
Genleştirilmiş perlit levhanın fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin yüksek olmasının; üretim sürecinde ham perlitin geliştirilmesi aşamasıyla bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Ham perlitin geliştirilmesi için fazla enerji gerektiren fırın

sistemlerine ve yüksek sıcaklıklara dolayısıyla da enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Bu enerji ihtiyacının doğalgaz gibi fosil yakıtların yakılması sonucu karşılanmasının fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelini artırabileceği düşünülmektedir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A4 aşamasının fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- 1596 km mesafeden getirilen arojel levhanın taşınmasında $6,68E+01$ MJ/m² ile en yüksek fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin, 195 km mesafeden getirilen EPS levhanın taşınmasında $3,48E+01$ MJ/m² ile en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin ortaya çıktığı,
- Arojel levhadan sonra en yüksek fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin sırasıyla $5,94E+01$ MJ/m² ile 860 km mesafeden getirilen geliştirilmiş perlit levhanın taşınmasında ve $4,62E+01$ MJ/m² ile 397 km mesafeden getirilen geliştirilmiş mantar levhanın taşınmasında ortaya çıktığı,
- EPS levhadan sonra en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin $3,61E+01$ MJ/m² ile 200 km mesafeden getirilen taşıyıcı levhanın ve 351 km mesafeden getirilen poliüretan köpüğün taşınmasında ortaya çıktığı,
- Taşıyıcı levha ve poliüretan köpüğün farklı mesafelerden getirilmelerine rağmen bu malzemelerin taşınmasında oluşan fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin aynı olduğu,
- 195 km ile en yakın mesafeden EPS levhanın getirilmekte olduğu ve EPS levhanın taşınmasında en düşük fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelinin ortaya çıktığı görülmektedir.

Farklı mesafelerden getirilen ısı yalıtımı malzemelerin taşınmasında oluşan fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyelleri aynı olabilmektedir. Uzak mesafeden getirilen bir yalıtım malzemesinin taşınmasında oluşan fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli yakın mesafelerden getirilen bir yalıtım malzemesinden fazla olabilmektedir. Bu durumların daha önce de açıklandığı gibi ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlık, hacim ve yoğunluk gibi özelliklerine bağlı olarak ulaşım için gerektirdikleri yakıt miktarı ve araç sayısı gibi parametrelerinin birbirinden farklı olması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.



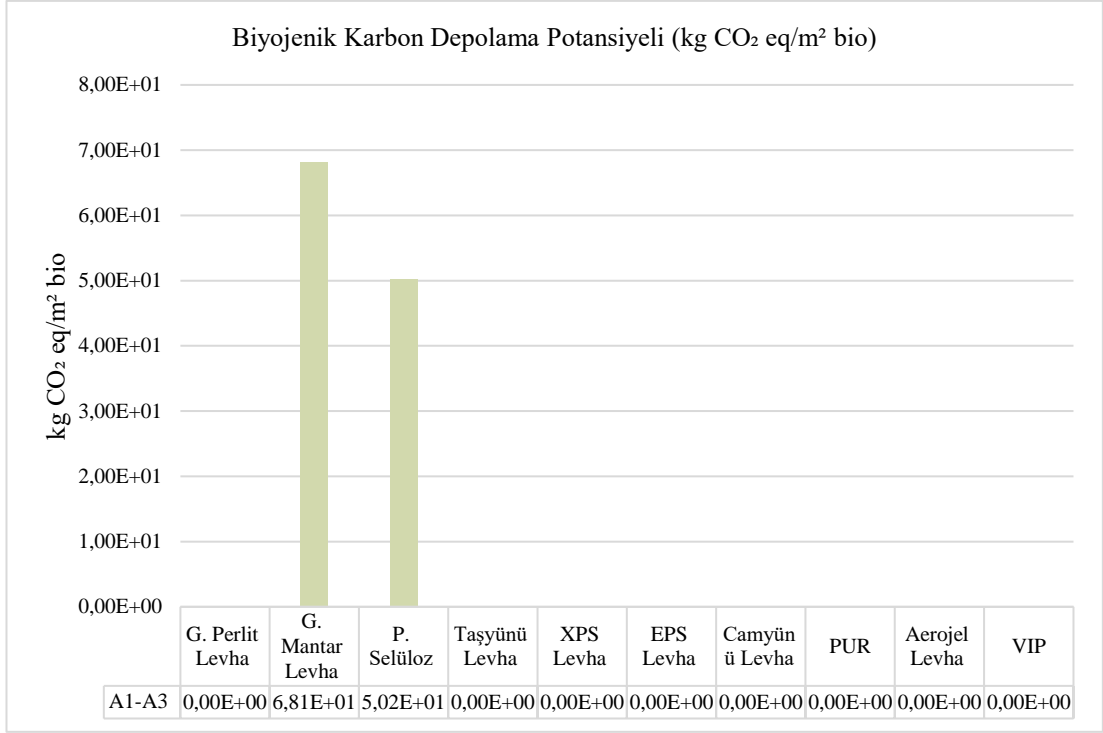
Şekil 4.7. Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli değerleri.

4.2.7. Biyojenik Karbon Depolama Potansiyeli Değerleri

Isı yalıtımları ile EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilen dış duvarların üretim (A1-A3) aşamalarında ortaya çıkan biyojenik karbon depolama potansiyeli değerleri Şekil 4.8’de verilmiştir.

Isı yalıtımları ile iyileştirilen dış duvarların A1-A3 aşamalarının biyojenik karbon depolama potansiyeli değerleri incelendiğinde;

- Doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan geliştirilmiş mantar levha ve püskürtme selülozun biyojenik karbon depolama potansiyeline sahip olduğu,
- Bu iki doğal ısı yalıtımı malzemesinden geliştirilmiş mantar levhanın $6,81E+01$ kg CO₂ eq/m² bio ile $5,02E+01$ kg CO₂ eq/m² bio etki değerine sahip püskürtme selülozdan daha yüksek biyojenik karbon depolama potansiyeline sahip olduğu,
- Biyojenik karbon depolama potansiyeline sahip bu iki ısı yalıtımı malzemesinin etki değerleri arasındaki farkın yaklaşık %26 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.8. Biyojenik karbon depolama potansiyeli değerleri.

Ahşap ürünler biyojenik karbon depolama potansiyeline sahiptir. Genleştirilmiş mantar levhanın hammaddesinin mantar meşesi ağacı ve püskürtme selülozu oluşturan atık kâğıtların hammaddesinin de ağaçlar olması nedeniyle bu ısı yalıtımlarının karbon depoladıkları görülmektedir. Bu malzemelerin üretimi ve taşınması sırasında CO₂ salımları olsa da biyojenik karbon depolama özellikleri sayesinde Şekil 4.8’de belirtilen miktarlarda CO₂’yi depolamaktadırlar. Küresel ısınma potansiyeli başlığı altında verilen değerler bu malzemelerin üretim ve taşıma aşamalarında oluşan CO₂ emisyonları olup biyojenik depolama özellikleri hariçtir.

Genleştirilmiş mantar levha ve püskürtme selülozun üretim aşamasına ait küresel ısınma potansiyelleri Çizelge 4.6’da verilmiştir. Bu değerlere biyojenik karbon depolama özellikleri dâhil edildiğinde küresel ısınma potansiyelleri sırasıyla; 3,01E+01 kg CO₂ eq/m² ve 2,45E+01 kg CO₂ eq/m²’ye düşmektedir. Biyojenik karbon depolama özellikleri göz ardı edildiğinde püskürtme selüloz en düşük, genleştirilmiş mantar levha ise beşinci en düşük küresel ısınma potansiyeline sahiptir. Biyojenik karbon depolama özelliği dâhil edildiğinde ise püskürtme selüloz en düşük, genleştirilmiş mantar levha ise ikinci en düşük küresel ısınma potansiyeline sahiptir.

Çizelge 4.12. A1- A4 aşamalarının toplam çevresel etki değerleri.

A1-A4 AŞAMALARI TOPLAM ÇEVRESEL ETKİ DEĞERLERİ							
	Küresel Isınma Potansiyeli	Ozon Tabakasının İncelmesi Potansiyeli	Asidifikasyon Potansiyeli	Ötrofikasyon Potansiyeli	Fotokimyasal Ozon Oluşumu Potansiyeli	Fosil Kaynaklar İçin Abiyotik Tükenme Potansiyeli	Biyojenik Karbon Depolama Potansiyeli
	kg CO ₂ eq/m ²	kg CFC-11 eq/m ²	kg SO ₂ eq/m ²	kg PO ₄ eq/m ²	kg Ethene eq/m ²	MJ/m ²	kg CO ₂ eq/m ² bio
G. Perlit Levha	1,56E+02	6,01E-06	1,35E+00	7,31E-02	6,61E-02	1,96E+03	0,00E+00
G. Mantar Levha	9,98E+01	5,52E-06	1,07E+00	4,86E-02	5,21E-02	8,32E+02	6,81E+01
Püskürtme Selüloz	7,61E+01	5,28E-06	9,27E-01	4,74E-02	4,51E-02	8,18E+02	5,02E+01
Taşyünü Levha	9,57E+01	5,45E-06	1,17E+00	5,83E-02	5,81E-02	9,93E+02	0,00E+00
XPS Levha	1,02E+02	5,35E-06	1,12E+00	5,23E-02	1,10E-01	1,43E+03	0,00E+00
EPS Levha	9,74E+01	5,34E-06	1,11E+00	5,32E-02	1,30E-01	1,26E+03	0,00E+00
Camyünü Levha	9,09E+01	5,37E-06	1,14E+00	6,04E-02	5,71E-02	9,94E+02	0,00E+00
PUR	1,24E+02	1,33E-05	1,29E+00	8,53E-02	7,61E-02	1,55E+03	0,00E+00
Aerojel Levha	1,58E+02	2,25E-05	1,45E+00	8,33E-02	7,51E-02	1,44E+03	0,00E+00
VIP	1,49E+02	1,60E-04	1,41E+00	8,06E-02	1,60E-01	1,77E+03	0,00E+00

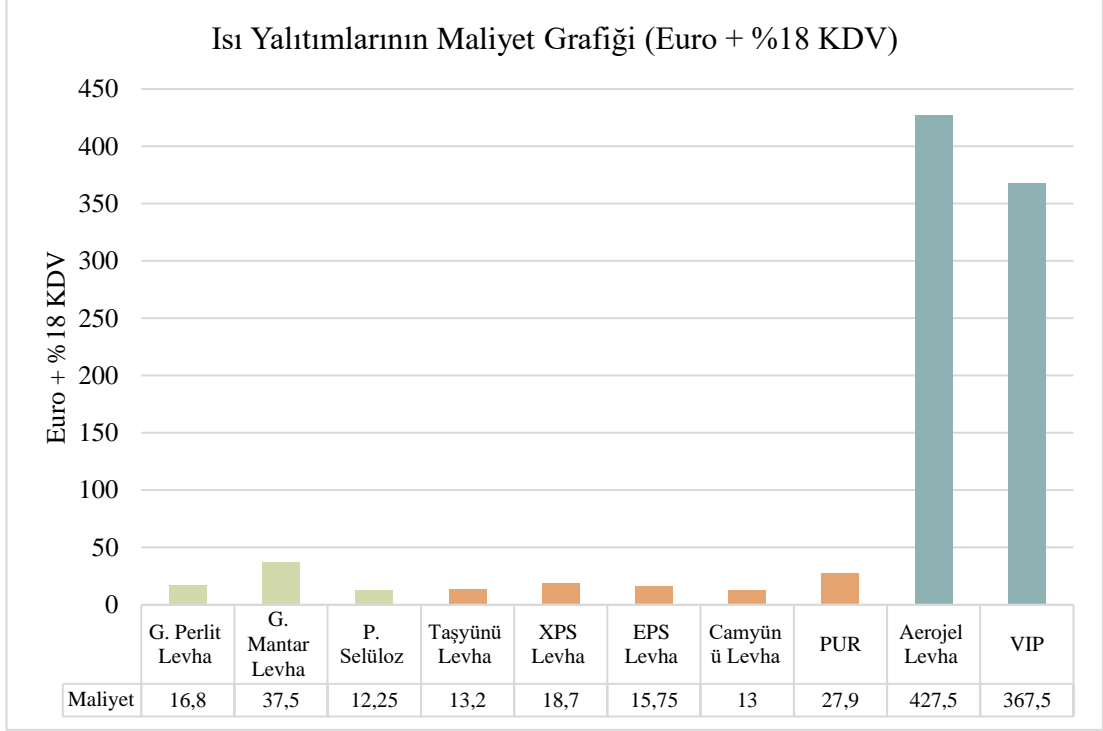
4.3. İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİNİN MALİYET ANALİZİ

EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirme önerilerinden yapı kabuğunda kullanılan ısı yalıtımı malzemelerinin maliyet analizi yapılmıştır. Çevresel etki değerlendirmesinde olduğu gibi maliyet analizinde de yapı kabuğu elemanlarından dış duvar seçilmiştir. Dış duvarda yer alan ısı yalıtımlarının maliyetleri, iyileştirme önerilerinde R değerine göre hesaplanan gerekli kalınlıkları bazında ele alınmıştır. Ayrıca bütün ısı yalıtımları için aynı kalınlık bazında da maliyete bakılmıştır.

Isı yalıtımı malzemelerinin maliyet analizinde birim “1m² ısı yalıtımı” olarak belirlenmiştir. Bütün ısı yalıtımı malzemelerinin fiyat bilgileri “1m² x 1cm kalınlık” boyutlarına göre firmalardan edinilmiştir (Çizelge 3.33). Sonrasında bu fiyatlara göre iyileştirme önerilerinde belirlenen gerekli kalınlıklar (1m² x gerekli kalınlık) için fiyatlar hesaplanmıştır. Fiyat bilgileri ısı yalıtımı malzemelerinin alınması planlanan A4 aşamasında da belirtilen (Çizelge 3.32) tedarikçi firmalardan edinilmiştir. Fiyatlara sadece ısı yalıtımı malzemeleri dâhil olup fiyatlar 2023 Mayıs ayına aittir. Isı yalıtımı malzemelerinin “1m² x gerekli kalınlık” birimlerindeki fiyat bilgileri Çizelge 4.13 ve Şekil 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.13. Isı yalıtımı malzemelerinin “1m² x gerekli kalınlık” için fiyat bilgileri.

YALITIM MALZEMELERİ	FİYAT (1m ² x gerekli kalınlık)
Genleştirilmiş Perlit Levha (28 cm)	16,8 Euro + % 18 KDV
Genleştirilmiş Mantar Levha (25 cm)	37,5 Euro + % 18 KDV
Püskürtme Selüloz (24,5 cm)	12,25 Euro + % 18 KDV
Taşyünü Levha (22 cm)	13,2 Euro + % 18 KDV
XPS (Ekstrüde Polistiren) Levha (22 cm)	18,7 Euro + % 18 KDV
EPS (Ekspande Polistiren) Levha (21 cm)	15,75 Euro + % 18 KDV
Camyünü Levha (20 cm)	13 Euro + % 18 KDV
PUR (Poliüretan Köpük) (15,5 cm)	27,9 Euro + % 18 KDV
Aerojel Levha (9,5 cm)	427,5 Euro + % 18 KDV
VIP (Vakumlu Yalıtım Paneli) (3,5 cm)	367,5 Euro + % 18 KDV



Şekil 4.9. “1m² x gerekli kalınlık” birimi için ısı yalıtımlarının maliyetleri.

Isı yalıtımı malzemelerinin fiyatları “1m² x gerekli kalınlık” bazında incelendiğinde;

- Doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozun 12,25 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı ısı yalıtımı malzemesi olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımlarından olan aerojel levhanın 427,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı ısı yalıtımı malzemesi olduğu,
- En düşük fiyatlı ve en yüksek fiyatlı bu iki ısı yalıtımı malzemesinin fiyatları arasında yaklaşık 35 kat fark bulunduğu,
- Doğal ısı yalıtımları içerisinde püskürtme selülozun 12,25 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı, genişletilmiş mantar levhanın ise 37,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu,
- Yapay ısı yalıtımları içerisinde camyünü levhanın 13 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı, poliüretan köpüğün ise 27,9 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu,
- İleri teknoloji ısı yalıtımları içerisinde vakumlu yalıtım panelinin 367,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile düşük fiyatlı, aerojel levhanın ise 427,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu görülmektedir.

Hem “1m² x 1cm kalınlık” (Çizelge 3.33) hem de “1m² x gerekli kalınlık” (Çizelge 4.13) birimleri için doğal ve yapay ısı yalıtımı malzemeleri fiyatlarının birbirine yakın olduğu fakat ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinin fiyatlarının doğal ve yapay ısı yalıtımlarına göre oldukça yüksek olduğu söylenebilmektedir. En düşük fiyatlı yalıtım malzemesi her iki birim için de aynı iken en yüksek fiyatlı yalıtım malzemeleri değişiklik göstermektedir. Her iki birim için de doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selüloz en düşük fiyatlı yalıtım malzemesidir. “1m² x 1cm kalınlık” birimi için ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan vakumlu yalıtım paneli en yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi iken “1m² x gerekli kalınlık” birimi için ise yine ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan arojel levhanın en yüksek fiyatlı yalıtım malzemesi olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 5

SONUÇ VE ÖNERİLER

Tez çalışmasında 1940'lı yıllarda inşa edilen, Yenişehir Mahallesi 7 numaralı adada bulunan işçi konutlarına ait yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirgenlik değerleri ve enerji performansları incelenmiş, yapılan hesaplamalar ve simülasyonlar sonucu yapı kabuğu elemanlarının ve enerji performanslarının iyileştirilmesi gerektiğine karar verilmiştir. İyileştirme önerileri mevcut yapıların ısı verimliliğini artırmak ve enerji tüketimini büyük ölçüde azaltmak için geliştirilen EnerPHit Standardı'na yönelik olarak belirlenmiştir. İyileştirme önerilerinde yapı kabuğu elemanlarının farklı ısı yalıtımı malzemeleri ile güçlendirilmesi parametresi üzerinde durulmuştur. Yapıların enerji performansları iyileştirilirken sürdürülebilir mimarlık kapsamında bütünlük olarak ele alınması ve çevresel etkilerinin de iyileştirilmesi oldukça önemlidir. Bu bağlamda konutların çevreye en az zararı olacak şekilde iyileştirilebilmesi ve bu sayede daha sürdürülebilir hale getirilebilmesi amacıyla, farklı ısı yalıtım malzemeleri ile oluşturulan iyileştirme önerilerinin çevresel etki değerlendirmesi yapılmıştır.

Çevresel etki değerlendirmesi için iyileştirme önerilerinden yapı kabuğu elemanlarının farklı ısı yalıtımı malzemeleri ile güçlendirilmesi parametresi ele alınarak farklı ısı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etki değerleri belirlenmiştir. Son olarak konutların ekonomik açıdan da en uygun şekilde iyileştirilebilmesi amacıyla bu ısı yalıtım malzemelerinin maliyet analizi yapılmıştır. Sonuç olarak konutların EnerPHit Standardı kapsamında sürdürülebilir mimarlık bağlamında bütünlük olarak iyileştirilebilmesine yönelik optimum iyileştirme önerisi belirlenmiştir.

Çalışmada ilk olarak işçi konutlarının yapı kabuğunu oluşturan dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesinin ısı geçirme dirençleri (R değeri) hesaplanmıştır. Isı geçirme dirençleri dış duvar için 0,51 m²K/W, çatı döşemesi için 0,37 m²K/W ve

zemin döşemesi için 0,52 m²K/W olarak bulunmuştur. Ardından ada bazında değerlendirme için seçilen, vaziyet planında 1, 2, 3 ve 4 olarak numaralandırılan farklı yönlenmelere sahip konutların enerji simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre bu konutların ısıtma talepleri 285,80 kWh/m² ile 290,45 kWh/m² arasında, soğutma talepleri 34,95 kWh/m² ile 36,85 kWh/m² arasında ve birincil enerji talepleri 372,62 kWh/m² ile 376,92 kWh/m² arasında değişmektedir. 4 konutun ısıtma, soğutma ve birincil enerji talepleri birbirine oldukça yakındır. Bu durum konutların yönlenme dışındaki tüm parametrelerinin aynı olması ve konutların 4 cephesindeki açıklık oranları arasında çok fark bulunmaması nedeniyle yönlenmenin de çok etkili olmamasından kaynaklanmaktadır. Yapılan hesaplar ve simülasyon sonuçlarına göre işçi konutlarının yapı kabuğu elemanlarının ısı geçirme dirençlerinin oldukça düşük, enerji taleplerinin oldukça yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

İşçi konutlarının yapı kabuğu elemanlarının ve enerji performanslarının iyileştirilebilmesi amacıyla EnerPHit Standardı kapsamında öneriler oluşturulmuştur. İyileştirme önerilerinde yapı kabuğu elemanlarının farklı ısı yalıtımı malzemeleri ile güçlendirilmesi, enerji verimliliği yüksek pencere ve dış kapıların kullanımı, ısı geri kazanımlı mekanik sistem kullanımı gibi parametreler ele alınmıştır. Yapı kabuğu elemanlarının farklı ısı yalıtımı malzemeleri ile güçlendirilmesi parametresi için doğal, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımı kategorilerinden 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi seçilmiştir. EnerPHit Standardı'nda soğuk ılıman iklim kuşağındaki yapı kabuğu elemanları için belirtilen ısı geçirme direncine (6,67 m²K/W) göre dış duvar, çatı döşemesi ve zemin döşemesi için gerekli yalıtım kalınlıkları hesaplanmıştır.

Seçilen ısı yalıtımı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları düştükçe gerekli kalınlıkları azalmıştır. Doğal yalıtım malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları yapay ve ileri teknoloji kategorilerindeki yalıtımlara göre yüksek olduğu için kalınlıkları daha fazladır. İleri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinin ısı iletkenlik katsayıları oldukça düşük olduğu için gerekli kalınlıkları azdır. Dış duvar elemanlarında 28 cm ile en fazla kalınlığa genleştirilmiş perlit levha sahipken 3,5 cm ile en az kalınlığa vakumlu yalıtım paneli sahiptir ve bu iki yalıtım malzemesinin kalınlıkları arasında 8 kat fark bulunmaktadır.

İşçi konutlarının EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirilmesi amacıyla oluşturulan öneriler ısı yalıtımları ile iyileştirme ve ortak iyileştirme önerileri olarak 2 adıma ayrılmıştır. Ortak iyileştirme önerileri enerji verimliliği yüksek pencere ve dış kapıların kullanımı, ısı geri kazanımlı mekanik sistem kullanımı gibi ısı yalıtımı önerilerinin tümünde ortak olan parametreleri içermektedir. Bu ortak parametrelere yapı kabuğunun iyileştirilmesi için seçilen 10 farklı ısı yalıtımı malzemesi entegre edilerek 10 farklı iyileştirme önerisi oluşturulmuştur. Bu iyileştirme önerileri DesignBuilder programına tanımlanarak, mevcut durum enerji performansları incelenen 1, 2, 3 ve 4 numaralı konutların, simülasyonları gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon sonuçlarına göre;

- 1 numaralı konutun 10 farklı önerideki ısıtma talepleri 23,060 kWh/m² ile 19,876 kWh/m² arasında, soğutma talepleri 19,878 kWh/m² ile 19,015 kWh/m² arasında ve birincil enerji talepleri 114,41 kWh/m² ile 109,38 kWh/m² arasında değişmektedir.
- 2 numaralı konutun 10 farklı önerideki ısıtma talepleri 23,176 kWh/m² ile 19,970 kWh/m² arasında, soğutma talepleri 19,483 kWh/m² ile 18,052 kWh/m² arasında ve birincil enerji talepleri 113,95 kWh/m² ile 109,00 kWh/m² arasında değişmektedir.
- 3 numaralı konutun 10 farklı önerideki ısıtma talepleri 23,353 kWh/m² ile 20,072 kWh/m² arasında, soğutma talepleri 19,564 kWh/m² ile 18,138 kWh/m² arasında ve birincil enerji talepleri 114,38 kWh/m² ile 109,33 kWh/m² arasında değişmektedir.
- 4 numaralı konutun 10 farklı önerideki ısıtma talepleri 23,436 kWh/m² ile 20,096 kWh/m² arasında, soğutma talepleri 19,144 kWh/m² ile 17,807 kWh/m² arasında ve birincil enerji talepleri 113,95 kWh/m² ile 108,95 kWh/m² arasında değişmektedir.

Konutların tümünde mevcut durum enerji performanslarına göre iyileştirme önerilerinde; ısıtma talebi yaklaşık %90, soğutma talebi yaklaşık %45 ve birincil enerji talebini ise yaklaşık %70 düşmüş ve en fazla düşüş ısıtma talebinde, sonra birincil enerji talebinde ve en az düşüş ise soğutma talebinde olmuştur. Bütün konutlar için

ısıtma, soğutma ve birincil enerji talepleri en yüksek geliştirilmiş perlit levha önerisinde, en düşük ise vakumlu yalıtım paneli önerisinde ortaya çıkmıştır. Konutların tümünde 10 iyileştirme önerisi de EnerPHit Standardı en fazla ısıtma talebi olan 25 kWh/m² ve en fazla birincil enerji talebi olan 120 kWh/m² kriterlerini sağlamıştır. Bu durumda ada bazında EnerPHit Standardı sağlanmıştır.

Aynı konutta, iyileştirme önerilerinin ısıtma, soğutma ve birincil enerji taleplerinin az da olsa farklılık göstermesi, ısı geçirme dirençlerinin (R değeri) eşit olmamasından kaynaklanmaktadır. Yapı kabuğu için EnerPHit Standardı'na uygun olarak ısı yalıtımı malzemelerinin kalınlıkları hesaplanırken hassasiyet 0,5cm kabul edildiği için yapı kabuğu elemanlarının R değerleri ve buna bağlı olarak da iyileştirme önerilerinin enerji performansları birbirine çok yakın olsa da eşit değildir.

4 konut için de mevcut durumda olduğu gibi iyileştirme önerilerinde de ısıtma, soğutma ve birincil enerji talepleri birbirine oldukça yakındır. Bu durum konutların mevcut durumunda olduğu gibi yönlenme dışındaki tüm parametrelerinin aynı olmasından kaynaklanmaktadır.

Konutların çevre dostu olarak iyileştirilebilmesi amacıyla 10 farklı ısı yalıtımı önerisinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etkileri incelenmiştir. Yapı kabuğu elemanlarından dış duvar seçilmiş ve 10 farklı ısı yalıtım malzemesi kullanılarak oluşturulan dış duvar malzeme katmanları, One Click LCA yazılımına tanımlanmıştır. İşlevsel birim 1m² seçilerek malzemelerin kalınlıkları, tedarik edileceği firmalara göre taşıma mesafeleri gibi gerekli parametreler yazılıma tanımlanmıştır. Yaşam döngüsü değerlendirmede A1-A3 üretim aşamaları ve A4 taşıma aşaması ele alınmıştır. Etki değerlendirme metodu olarak EN 15978 Standardı seçilmiş ve bu standarda göre küresel ısınma, ozon tabakasının incelmeye, asidifikasyon, ötrofikasyon, fotokimyasal ozon oluşumu, fosil kaynaklar için abiyotik tükenme ve biyojenik karbon depolama potansiyeli kategorilerinde çevresel etki değerleri elde edilmiştir.

A1-A4 aşamaları toplam çevresel etki değerlerine göre;

- Küresel ısınma potansiyeli; ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan aerojel levhada $1,58E+02$ kg CO₂ eq/m² ile en yüksek, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozda ise $7,61E+01$ kg CO₂ eq/m² ile en düşüktür. En yüksek ve en düşük bu iki etki değeri arasında yaklaşık %52 fark vardır.
- Ozon tabakasının incilmesi potansiyeli; ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan vakumlu yalıtım panelinde $1,60E-04$ kg CFC-11 eq/m² ile en yüksek, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozda ise $5,28E-06$ kg CFC-11 eq/m² ile en düşüktür. En yüksek ve en düşük bu iki etki değeri arasında yaklaşık %96 fark vardır.
- Asidifikasyon potansiyeli; ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan aerojel levhada $1,45E+00$ kg SO₂ eq/m² ile en yüksek, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozda ise $9,27E-01$ kg SO₂ eq/m² ile en düşüktür. En yüksek ve en düşük bu iki etki değeri arasında yaklaşık %36 fark vardır.
- Ötrofikasyon potansiyeli; yapay ısı yalıtımı malzemelerinden olan poliüretan köpükte $8,53E-02$ kg PO₄ eq/m² ile en yüksek, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozda ise $4,74E-02$ kg PO₄ eq/m² ile en düşüktür. En yüksek ve en düşük bu iki etki değeri arasında yaklaşık %44 fark vardır.
- Fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli; ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan vakumlu yalıtım panelinde $1,60E-01$ kg Ethene eq/m² ile en yüksek, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozda ise $4,51E-02$ kg Ethene eq/m² ile en düşüktür. En yüksek ve en düşük bu iki etki değeri arasında yaklaşık %71 fark vardır.
- Fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli; doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan genişleştirilmiş perlit levhada $1,96E+03$ MJ/m² ile en yüksek, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozda ise $8,18E+02$ MJ/m² ile en düşüktür. En yüksek ve en düşük bu iki etki değeri arasında yaklaşık %58 fark vardır.
- Biyojenik karbon depolama potansiyeli doğal ısı yalıtımlarından olan genişleştirilmiş mantar levha ve püskürtme selülozda vardır. Genleştirilmiş mantar levhanın biyojenik karbon depolama potansiyeli $6,81E+01$ kg CO₂ eq/m² bio ile $5,02E+01$ kg CO₂ eq/m² bio etki değerine sahip püskürtme selülozdan daha yüksektir. Bu iki etki değeri arasında yaklaşık %26 fark vardır.

Çevresel etki değerlerine göre biyogenik karbon depolama hariç diğer bütün çevresel etki değerlendirme kategorilerinde, doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozun en düşük etki değeri ile 10 ısı yalıtım malzemesi içerisinde en az çevresel etkiye sahip olduğu söylenebilmektedir. Püskürtme selülozun çevresel etkisinin düşük olmasının; hammaddesi olan atık kâğıtlar ve üretim süreci ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Atık malzeme kullanılmasından dolayı hammaddenin çıkarılması gibi işlemlerden kaynaklı çevresel etkiler oluşmamaktadır. Üretiminde atık kâğıtlar parçalanarak öğütülmekte ve alev geciktirici eklenerek paketlenmektedir. Üretim evresi için oldukça az enerji gerektirmesi, hammaddesinin atık kâğıt olması ve alev geciktirici madde hariç katkı maddesi eklenmemesinden dolayı da üretim evresinin çevresel etkilerinin düşük olduğu söylenebilmektedir.

İleri teknoloji yalıtım malzemelerinden olan arojel levha ve vakumlu yalıtım panelinin çevresel etkisinin yüksek olduğu söylenebilmektedir. Aerojel levha küresel ısınma potansiyeli ve asidifikasyon potansiyeli en yüksek olan yalıtım, vakumlu yalıtım paneli ise ozon tabakasının incilmesi potansiyeli ve fotokimyasal ozon oluşumu potansiyeli en yüksek olan yalıtımdır. Aerojel levhanın çevresel etkisinin yüksek olmasının; hammaddesi olan silikanın üretimi için yüksek sıcaklık gerektirmesi ve arojel levhanın üretim sürecindeki kimyasal işlemlerle ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Vakumlu yalıtım panelinin çevresel etkisinin yüksek olmasının; hammaddesi olan füme silika ve zarf malzemesi olan metalize plastik kompozit filmin üretiminde yüksek sıcaklık gerektirmesi, füme silika üretiminde gazların açığa çıkması ve zarf malzemesi üretiminde kimyasal maddelerin kullanılması ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Genleştirilmiş perlit levha doğal ısı yalıtımı malzemesi olmasına rağmen fosil kaynaklar için abiyotik tükenme potansiyeli en yüksek olan yalıtımdır. Diğer çevresel etki kategorilerinde de çevresel etkisinin yüksek olduğunu söylemek mümkündür. Genleştirilmiş perlit levhanın çevresel etkisinin yüksek olmasının; hammaddesi olan perlitin çıkarılması ve üretim sürecinde yüksek sıcaklık gerektirmesi ile bağlantılı olduğu düşünülmektedir.

Konutların maliyet etkin şekilde iyileştirilebilmesi amacıyla 10 farklı ısı yalıtımı önerisinin dış duvar katmanında kullanılan kalınlıklarına göre maliyetleri incelenmiştir. Maliyetler çevresel etki değerlendirmesinde olduğu gibi 1m² ısı yalıtımı için belirlenmiştir. Isı yalıtımı fiyatları çevresel etki değerlendirmesinin A4 aşamasında belirtilen (Çizelge 3.32) tedarikçilerden edinilmiştir.

Isı yalıtım malzemeleri fiyatlarına göre;

- Doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selüloz 12,25 Euro + %18 KDV fiyatı ile en düşük fiyatlı ısı yalıtımı malzemesidir.
- İleri teknoloji ısı yalıtımlarından olan aerojel levha 427,5 Euro + %18 KDV fiyatı ile en yüksek fiyatlı ısı yalıtımı malzemesidir.
- En düşük fiyatlı ve en yüksek fiyatlı bu iki ısı yalıtımı malzemesinin fiyatları arasında yaklaşık 35 kat fark bulunmaktadır.
- Doğal ve yapay ısı yalıtımlarının fiyatlarının birbirine yakın olduğunu ve ileri teknoloji ısı yalıtımlarının fiyatlarının oldukça yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Yenişehir işçi konutlarının EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilmesinde kullanılan ısı yalıtımıyla iyileştirme önerilerinin tümünde EnerPHit Standardı'na uygun sonuçlar elde edilmiştir. EnerPHit Standardı'na ait yapı kabuğu ısı geçirme katsayısı kriterinin sağlanabilmesi için ısı iletkenlik katsayılarına göre hesaplanan yalıtım kalınlıklarının 8 kata kadar farklılık gösterdiği görülmüştür. Doğal ısı yalıtımlarının kalınlıkları oldukça fazla iken yapay ısı yalıtımlarının kalınlıkları nispeten daha az ve ileri teknoloji ısı yalıtımlarının kalınlıkları oldukça azdır. Isı yalıtımlarının her biri enerji performansı anlamında oldukça yakın sonuçlar verirken kalınlıkları fazla olanların duvar ve döşemelerde ekstra kalınlık oluşturarak estetik, kullanılabilirlik ve yapıya yük oluşturma açısından olumsuz durumlar oluşturabilecekleri göz önünde bulundurulmalıdır. Aynı zamanda bu çalışma özelinde tek katlı bir yapının EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirilmesi söz konusu olduğu için ısı yalıtımlarının kalınlıkları ve yoğunluklarından kaynaklı yapıya oluşturdukları ekstra yük çok etkili olmasa da çok katlı yapılar için bu konunun dikkate alınması gerekmektedir.

Konutların çevre dostu olarak iyileştirilebilmesi için yapılan çevresel etki değerlendirmesi, doğal ısı yalıtımlarından olan selüloz ısı yalıtımının en düşük çevresel etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada incelenen ısı yalıtımları içerisinde ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan aerojel levha ve vakumlu yalıtım panelinin en yüksek çevresel etki değerine sahip yalıtım malzemeleri olduğunu söylemek mümkündür. Genleştirilmiş perlit levhanın doğal ısı yalıtımlarından olmasına karşın çevresel etkisinin yüksek olduğu söylenebilmektedir. Bu bağlamda “Enerji iyileştirmelerinde doğal ısı yalıtım malzemelerinin çevresel etkileri, yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel etkilerinden daha düşüktür” olarak kurgulanan hipotezin kısmen doğrulandığı görülmektedir.

Doğal ısı yalıtımı malzemelerinden olan püskürtme selüloz ve genleştirilmiş mantar levhanın çevresel etkilerinin yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımlarına göre genel olarak daha düşük olduğu söylenebilmektedir. Yine doğal ısı malzemelerinden olan genleştirilmiş perlit levhanın çevresel etkilerinin yapay ve ileri teknoloji ısı yalıtımlarına göre genel olarak daha yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Konutların uygun maliyetli olarak iyileştirilebilmesi için yapılan maliyet analizinde yalıtım fiyatlarının 35 kata kadar farklılık gösterdiği görülmüştür. İncelenen ısı yalıtımları içerisinde doğal ısı yalıtımlarından olan püskürtme selülozun en düşük maliyetli, ileri teknoloji ısı yalıtımlarından olan aerojel levhanın en yüksek maliyetli yalıtımlar olduğu söylenebilmektedir. Doğal ve yapay ısı yalıtımlarının maliyetleri birbirine yakınken ileri teknoloji ısı yalıtımlarının maliyetlerinin oldukça yüksek olduğunu söylemek mümkündür.

Isı yalıtımı malzemelerinin hem çevresel etki değerlerine hem de maliyet analizi sonuçlarına göre EnerPHit Standardı’na yönelik iyileştirmelerde püskürtme selülozun en optimum seçenek olduğunu, aerojel levhanın ise en optimum olmayan seçenek olduğunu söylemek mümkündür. Püskürtme selüloz çevresel etki ve maliyet açısından en optimum seçenek olmakla beraber kalınlığı oldukça fazla, aerojel levha ise en optimum olmayan seçenek olmasına rağmen kalınlığı selüloza göre çok daha azdır.

Selüloz yalıtım yapılarına püskürtme ve gevşek dolgu şeklinde uydulanabilmekte olup gevşek dolgu uygulaması ek konstrüksiyon gerektirmektedir. Bu çalışma kapsamında seçilen tüm yalıtım malzemelerinde olduğu gibi selüloz yalıtımda da ek konstrüksiyon gerektirmeyen püskürtme selüloz tercih edilmiştir. Ek konstrüksiyon gerektiren yalıtım malzemelerinin tercih edilmesi durumunda bu ek konstrüksiyonun da yapı kabuğu ısı geçirme direnci hesabında, enerji simülasyonlarında, çevresel etki değerlendirmede ve maliyet analizinde hesaba katılması gerekmektedir.

Mevcut konutların enerji taleplerinin düşürülerek EnerPHit Standardı kapsamında iyileştirilmesinde yapı kabuğu elemanlarının ısı yalıtımları ile güçlendirilmesinin önemi oldukça büyüktür. EnerPHit Standardı'na yönelik iyileştirmelerde, ısı yalıtımı malzemelerinin tercihinde çevresel etki değerleri, maliyetleri ve kalınlıkları göz önünde bulundurulması gereken parametrelerdendir. Çevreye olan zararı ve maliyeti düşük ısı yalıtımlarının tercihi sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Çevresel etkisi yüksek olan ısı yalıtımlarının üretim evreleri ele alınarak daha sürdürülebilir üretim yöntemleri üzerinde çalışmalar yapılabilir. Isı iletkenlik katsayısı yüksek olduğu için kalınlıkları fazla olan ısı yalıtımlarının ısı iletkenlik katsayılarını düşürmek için çalışmalar yapılabilir. Bu tez çalışması özelinde çevresel etki ve maliyeti en düşük seçenek olan püskürtme selülozun ısı iletkenlik katsayısının düşürülmesiyle ilgili çalışmalar yapılarak kalınlığının da azaltılması sağlanabilir. Aynı şekilde kalınlıkları az olan fakat çevresel etki ve maliyeti en yüksek olan arojel levha ile vakumlu yalıtım panelinin üretiminde daha sürdürülebilir yöntemler kullanılarak çevresel etki ve maliyetinin düşürülmesi sağlanabilir. Isı yalıtımlarının çevresel etkilerini düşürebilmek için üretim evresinde enerji kaynağı olarak fosil olmayan kaynakların kullanımı, zararlı kimyasallardan uzak durulması gibi daha sürdürülebilir yöntemler tercih edilmelidir. Bu tez çalışmasının devamı olarak; ısı yalıtımı malzemelerinin daha geniş kapsamda ele alınarak farklı kategorilerden ısı yalıtımı malzemelerinin çevresel etki değerlerinin ve maliyetlerinin belirlenmesi, ısı yalıtımlarının yaşam döngüsü değerlendirmesinin daha geniş kapsamda ele alınarak A1-A4 aşamalarının devamındaki diğer aşamaların da çevresel etki değerlerinin incelenmesi, yüksek katlı yapılarda yalıtım kalınlıkları ve yoğunluklarının da kriter olarak alınmasıyla iyileştirmelerin yapılması gelecekte yapılabilecek çalışmalar arasındadır.

KAYNAKLAR

Akalp, S., “Toplu konutlarda farklı yerleşim düzenlerinin enerji etkinliğinin karşılaştırılması: Diyarbakır Şilbe örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır (2018).

Akıncı, H., “Günümüzde uygulanan ısı yalıtım malzemeleri özellikleri uygulama teknikleri ve fiyat analizleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Sakarya (2007).

Akşar, S., “Geleneksel ve çağdaş ahşap yapıların yaşam döngüsü değerlendirmesinin karşılaştırmalı analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2022).

Anastaselos, D., Giama, E. and Papadopoulos, A., “An assessment tool for the energy, economic and environmental evaluation of thermal insulation solutions”, *Energy and Buildings*, 41 (11): 1165-1171 (2009).

Anderson, J. Shiers, D. E. and Sinclair, M., “The Green Guide to Specification: An Environmental Profiling System for Building Materials and Components, 3rd edition”, *Blackwell Science Ltd.*, Oxford (2002).

Arslan, B. A., “Önüretimli panel duvar sisteminin çevresel etki ve enerji tüketimi bağlamında yerinde yapım dolgu duvar sistemi ile karşılaştırmalı değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2023).

Aşıkoğlu, A., “Sürdürülebilir konut yapılarında pasif sistemlerin kullanılan teknikler açısından irdelenmesi; İzmir ili için bir uygulama önerisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2014).

Aşıkoğlu, A., Altın, M. ve Bayram, N. S., “Pasif ev sertifika sisteminin mevcut binalarda uygulanması: EnerPHit sertifika sistemi”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 21(5): 1146-1156 (2021).

Aşıkoğlu, A. ve Altın, M., “Passive system techniques used in sustainable buildings”, *Proceedings of the 8th International Ege Energy Symposium and Exhibition*, Afyonkarahisar (2016).

Ayçam, İ., Tuna, M., Süt, G., “Sürdürülebilirlik ve mimari değişimin yalıtım malzemelerine etkileri”, *Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu (ISBS)*, Ankara (2010).

Barutçu, N., “Çapraz lamine ahşap ve betonarme taşıyıcı sistemli tekil konut yapılarının çevresel etkilerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul (2020).

Bayraktar, D. ve Bayraktar, E., “Mevcut binalarda ısı yalıtımı uygulamalarının değerlendirilmesi”, *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 7(1): 59-66 (2016).

Bruijn, H., Duin, R., Huijbregts, M., Guinee, J., Gorree, M., Heijungs, R., Kleijn, R., “Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards”, *Kluwer Academic Publishers* (2004).

Bulut, N., “Pasif evler & fırsatlar”, *İzocam* (2015).

Buyle, M., Braet, J. and Audenaert, A. “Life cycle assessment in the construction sector: A review”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 379-388 (2013).

Calkins, M., “Materials for Sustainable Sites : A Complete Guide to the Evaluation, Selection, and Use of Sustainable Construction Materials”, *Wiley*, Hoboken, New Jersey (2009).

Ceylan, N., “Türkiye’de konut dış duvar sistemlerinde gerçekleştirilen ısı yalıtımı uygulamalarının üretim ve yapım süreçlerinin çevresel değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2012).

Curran, M. A., “Environmental Life-Cycle Assessment”, *McGraw Hill*, USA (1996).

Çabuk, S., Demir, K., Gökyer, E., “Cumhuriyet’in yeni kenti Karabük’ün 1937-1988 dönemi mekânsal gelişimi ve şehir planları”, *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 2: 20-39 (2016).

Çamur, C., “Isı yalıtım malzemelerinin yaşam döngüsü değerlendirme yöntemiyle çevresel etkilerinin değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).

Çelebi, G., and Aydın, A. B., “Architectural responsibilities within the context of sustainability”, *Livable Architecture and Environments International Congress*, Karadeniz Technical University, Trabzon, 140-146 (2001).

Çelebi, G. ve Aydın, A. B., “Yapı sektörü - Çevre ilişkisine dair bir yöntem irdelemesi: Yaşam döngüsü değerlendirme (YDD)”, *Çevre ve Ormanlık Şurası*, Çevre ve Orman Bakanlığı, Antalya, 13-21 (2005).

Çengel, Y. A., “Heat Transfer, A Practical Approach”, *WCB/McGraw-Hill*, New York, 1-12 (1998).

Çepel, N., “Doğa Çevre Ekoloji ve İnsanlığın Ekolojik Sorunları”, *Altın Kitapları*, İstanbul (1992).

Çetin, S. “Geleneksel konut mimarisinin ekolojik yansımaları: Burdur örneği”, 5. *Ulusal Çatı & Cephe Sempozyumu*, İzmir (2010).

Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, “Sektörlere göre nihai enerji tüketimi” (2023). <https://cevreselgostergeler.csb.gov.tr/sektorlere-gore-nihai-enerji-tuketimi-i-85804>
Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Demirel, B., “Pasif ev uygulamasının Türkiye için değerlendirilmesine yönelik bir çalışma”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü* (2013).

DesignBuilder, “DesignBuilder 2.1 user’s manual” (2009). http://www.designbuildersoftware.com/docs/designbuilder/DesignBuilder_2.1_Users-Manual_Ltr.pdf Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Dikmen, Ç. B., “Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 14(2): 121-134 (2011).

Domone, P., Illston, J., “Construction Materials; Their Nature and Behaviour”, *Spon Press, Taylor & Francis Group*, New York (2010).

Dovjak, M., Košir, M., Pajek, L., Iglič, N., Božiček, D. and Kunič, R., “Environmental impact of thermal insulations: How do natural insulation products differ from synthetic ones?”, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, IOP Publishing*, 92(1): 1-6 (2017).

Duran, S., “Pasif ev-Almanya/Berlin örneklerinin incelenmesi”, *Mimaride Güneş Enerjisi Dersi*, Trakya Üniversitesi, Edirne (2020).

Duran, S. ve Kartal, S. “Enerji performansı yüksek yapı bağlamında Pasif evler-Almanya/Berlin örneği”, *International Online Conferences on Engineering and Natural Sciences (IOCENS’21)*, 200-212 (2021).

Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, “Enerji raporu 2012”, *Poyraz Ofset*, Ankara (2012).

Dwela, H. M. A., “The determination of the retrofitting strategies on thermal comfort and energy efficiency of mosques: Yaşamkent mosque example”, Yüksek Lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Karabük (2022).

Efe, A., “Pasif güneş evlerinde bina kabuğu sistemi tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2009).

Ekici, B. B., Gülten, A. A. ve Aksoy, U. T., “A study on the optimum insulation thicknesses of various types of external walls with respect to different materials, fuels and climate zones in Turkey”, *Applied Energy*, 92: 211-217 (2012).

Er, A., “Soğuk iklim bölgelerindeki mevcut konut yapılarının enerji performansının artırılmasına yönelik bir araştırma: Erzurum’da bir toplu konut örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2020).

Eren, E., “Yüksek performanslı ısı yalıtım malzemesi olan vakum yalıtım panellerinin bina uygulamaları için kullanımının karşılaştırmalı olarak incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2019).

Erengözgin, Ç., “Enerji mimarlığı”, *Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü 4. Yenilenebilir Enerjiler Sempozyumu ve Sanayi Sergisi Bildiri Özetleri* (2005).

European Commission, “Commission proposes new energy efficiency directive” (2021). https://commission.europa.eu/news/commission-proposes-new-energy-efficiency-directive-2021-07-14_en Erişim Tarihi: 20.06.2023.

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, “International Reference Life Cycle Data System (ILCD) Handbook - Framework and Requirements for Life Cycle Impact Assessment Models and Indicators”, *Publications Office of the European Union*, Luxembourg (2010).

Gervasio, H. and Dimova, S. “Model for life cycle assessment (LCA) of buildings”, *Publications Office of the European Union* (2018).

Gültekin, A. B., “Yaşam döngüsü değerlendirme yöntemi kapsamında yapı ürünlerinin çevresel etkilerinin değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi”, Doktora Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2006).

Harvey, L. D. D., “Net climatic impact of solid foam insulation produced with halocarbon and non-halocarbon blowing agents”, *Building and Environment*, 42(8): 2860-2879 (2007).

Heijungs, R. and Guinée, J., “An Overview Of The Life Cycle Assessment Method - Past, Present and Future”, *Scrivener Publishing*, Cincinnati (2012).

Hertwich, E. G., and Hammitt, J. K., “A decision - analytic framework for impact assessment, part I: LCA and decision analysis”, *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 6 (1): 5-12 (2001).

Horne, R., Grant, T. and Verghese, K., “Life Cycle Assessment: Principles, Practice, and Prospects”, *CSIRO Publishing*, Melbourne (2009).

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), “Climate Change 2014 Mitigation of Climate Change”, *Cambridge University Press*, The United States of America (2014).

International Energy Agency (IEA), “CO₂ emissions from fuel combustion highlights”, 14 (2019). https://iea.blob.core.windows.net/assets/eb3b2e8d-28e0-47fd-a8ba-160f7ed42bc3/CO2_Emissions_from_Fuel_Combustion_2019_Highlights.pdf Erişim Tarihi: 20.06.2023.

İmİK, E., “Enerji etkin binaların tasarımı”, Yüksek Lisans Tezi, *İnönü Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Malatya, 163 (2017).

İzocam, “Multi konfor binalar”, *Pasif Evlerde Tasarım Semineri*, İstanbul (2009).

Jensen, A.A., Hoffman, L., Moller, B., Schmit, A., Christiansen, K., Elkington, J. and Dijk, F.V., “Life Cycle Assessment, A Guide to Approaches, Experiences and Information Sources”, *European Environment Agency*, 13-14 (1997).

Johnston, D., Siddall, M., Ottinger, O., Peper S. and Feist W., “Are the energy sayings of the Passive House Standard reliable? A review of the as-built thermal and space heating performance of Passive House dwellings from 1990 to 2018”, *Energy Efficiency*, 13(8): 1-33 (2020).

Kantaroğlu, F., “Yüksek performans binaların enerji tasarım stratejileri”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 5-17 (2011).

Karabulut, D. ve Kartal, S. “Ülkelerin Pasif ev potansiyeli üzerine bir araştırma-Almanya/Sachsen bölgesi örneği”, *Climate and Health Journal*, 1(2): 30-41 (2021).

Karabük Belediyesi, “Yenişehir koruma amaçlı imar planı analitik etütleri” (2020).

Karaman Öztaş, S., “Türk yapı malzemesi sektörü için yaşam döngüsü etki değerlendirilmesine yönelik bir model önerisi”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2014).

Keleş, R. ve Ertan, B., “Çevre Hukukuna Giriş”, *İmge Kitabevi*, Ankara (2002).

Keleş, R. ve Hamamcı, C., “Çevre Politikası”, *İmge Kitabevi*, Ankara (2005).

Kışlalıoğlu, M. ve Berkes, F., “Ekoloji ve Çevre Bilimleri”, *Remzi Kitabevi*, İstanbul (2001).

Kim, J. J. and Rigdon, B., “Sustainable architecture module: Qualities, use, and examples of sustainable building materials”, *National Pollution Prevention Center for Higher Education* (1998).

Koca, Ö., “Sıcak kuru ve sıcak nemli iklim bölgelerinde enerji etkin yerleşme ve bina tasarım ilkelerinin belirlenmesine yönelik yaklaşım”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2006).

Kocaaslan, G., “Hacimlerin pasif ısıtma sistemleri olarak değerlendirilmesinde kullanılabilir bir yöntem”, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (1991).

Kuittinen, M., Ludvig, A. and Weiss, G., “Wood in carbon efficient construction: Tools, methods and applications”, *Hämeen Kirjapaino Oy*, Finland (2013).

Kunič, R., “Carbon footprint of thermal insulation materials in building envelopes”, *Energy Efficiency*, 10, 1511–1528 (2017).

Mihai, M., Tanasiev, V., Dinca C., Badea, A. and Vidu, R. “Passive house analysis in terms of energy performance”, *Energy and Buildings* (2017).

One Click LCA, “Life cycle assessment for buildings, why it matters and how to use it” (2021). <https://www.oneclicklca.com/building-life-cycle-assessment-ebook/> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Onur, B., “Endüstri kenti Karabük’ün modern mahallesi Yenişehir’de konut tipolojileri”, *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 23: 666-677 (2021).

Önal, H., “Prefabrikte ve geleneksel ahşap esaslı yapım sistemlerinin karşılaştırmalı yaşam döngüsü değerlendirmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *KTO Karatay Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, Konya (2022).

Özdemir, A. “Türkiye’de demiryolu ulaşımının yaşam döngüsü analizi ve yaşam döngüsü maliyeti yöntemleri ile değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir (2012).

Özdemir, B. B., “Sürdürülebilir çevre için binaların enerji etkin pasif sistemler olarak tasarlanması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 25-27 (2005).

Özel, M., “Influence of glazing area on optimum thickness of insulation for different wall orientations”, *Applied Thermal Engineering* (2018).

Özey, R., “Çevre Sorunları”, *Aktif Yayınevi*, İstanbul (2001).

Öztekler, S. S. Ç., “Ekolojik tasarımda mimari tesisat ilişkileri”, *TTMD Dergisi* (2005).

Öztürk, E., “Enerji etkin yapı tasarım yaklaşımlarının geleneksel yapılardaki öğretileri: Trabzon örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Trabzon, 4 (2013).

Pargana, N., Pinheiro, M. D., Silvestre, J. D. and De Brito, J., “Comparative environmental life cycle assessment of thermal insulation materials of buildings”, *Energy and Buildings*, 82, 466-481 (2014).

Passive House Institute, “What is a Passive House?” (2023). https://passipedia.org/basics/what_is_a_passive_house Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Paulsen, J., “Life cycle assessment for building products - The significance of the usage phase”, Ph.D Thesis, *Kungliga Tekniska Hogskolan*, Stockholm, Sweden, 5-44 (2001).

Pfundstein, M., Gellert, R., Spitzner, M. H. and Rudolphi, A., “Insulating Materials: Principles, Materials, Applications”, *Published by Edition Detail*, Germany (2008).

Roaf, S., Fuentes, M. and Thomas, S., “Ecohouse 2: A Design Guide”, *Architectural Press*, UK (2004).

Sağdıçoğlu, M. S., “Geleneksel mimarideki ekolojik ölçütlerin değerlendirilmesi: İzmir-Şirince örneği”, Yüksek Lisans Tezi, *Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Diyarbakır (2020).

Sarıbaş Gürol, E., “Pasif ev uygulamasının ılımlı kuru iklim bölgesi özelinde değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Konya, 6-7 (2023).

Scientific Applications International Corporation (SAIC), “Life cycle assessment: Principles and practice”, *National Risk Management Research Laboratory Office Of Research And Development U.S. Environmental Protection Agency*, Cincinnati, Ohio (2006).

Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği (SEPEV) (2023). <https://sepev.org/pasif-ev-yenileme-standardi/> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği (SEPEV), “Daha fazla konfor için aktif: Pasif Ev” (2018). <https://sepev.org/files/Pasif-Ev-Brosuru.pdf> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Sıfır Enerji ve Pasif Ev Derneği (SEPEV), “Pasif Ev, EnerPHit ve PHI Düşük Enerji Bina Standardı kriterleri” (2022). <https://sepev.org/files/Pasif-Ev-EnerPHit-PHI-Dusuk-Enerji-Bina-Standardi-Kriterleri.pdf> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Silvestre, J. D., De Brito, J. and Pinheiro, M. D., “Life-cycle assessment of thermal insulation materials for external walls of buildings”, *Cost C25-International Conference Sustainability of Constructions-Towards a Better Built Environment*, Innsbruck, Austria, 303-310 (2011).

Soysal, S., “Konut binalarında tasarım parametreleri ile enerji tüketimi ilişkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2008).

Şengezer, O., “Pasif ev sistemlerinde enerjinin etkin kullanımı”, Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2011).

Tanaçan, L., “Ekolojik yapı malzemelerinin tanımlanmasındaki sorunlar”, *1. Ulusal Yapı Malzemesi Kongresi ve Sergisi*, İstanbul (2002).

Taştemir, İ. A., “Farklı iklim bölgelerinde yapı kabuğunda ısı kütlenin bina enerji etkinliğine ve ısı konforuna olan etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2020).

Taygun, T., “Yapı ürünlerinin yaşam döngüsü değerlendirmesine yönelik bir model önerisi”, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2005).

Tokuç, A., “İzmir’de enerji etkin konut yapıları için tasarım kriterleri”, Yüksek Lisans Tezi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İzmir (2004).

Topkaya Tüfekçi, S., “Geleneksel düğmeli evlerin enerji performansı açısından değerlendirilmesi: Ormana/İbradı örnekleri”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü*, İstanbul (2022).

Trubiano, F., “Design and Construction of High-Performance Homes: Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice”, *Londra: Routledge*, 41-52 (2013).

TS EN 15978, “Yapılarda sürdürülebilirlik - Binaların çevresel performansının değerlendirilmesi - Hesaplama yöntemi”, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2012).

TS EN ISO 14040:2006, “Çevre yönetimi - Hayat boyu değerlendirme - İlkeler ve çerçeve (ISO 14040:2006) Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework (ISO 14040:2006)” EN ISO 14040:2006 Standardının Türkçe Tercümesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara (2007).

Tuna, M., “Bina derecelendirme sistemlerinde çevresel etki sınıflarının önemi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara (2010).

Tunalı, S., “Enerji simülasyon metodlarının bina tasarım sürecinde destek sistemi olarak kullanılması”, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul (2012).

Ulukavak Harputlugil, G., “Enerji verimli bina tasarım stratejileri”, *Binalarda Enerji Verimliliğinin Artırılması İçin Teknik Yardım Projesi* (2016).

Ulusal Enerji Verimliliği Eylem Planı (2017). <https://enerji.gov.tr/bilgi-merkezi-enerji-verimliliği-ulusal-enerji-verimliliği-eylem-planı> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

Umaroğulları, F., Gedik, G. Z., ve Mıhlayanlar, E., “Periyodik rejimde yalıtımlı ve yalıtımsız betonarme duvarlarda yoğuşma denetimi: Edirne örneği”, *Megaron*, 6(1): 13-20 (2011).

UN Environment and International Energy Agency, “Towards a zero-emission, efficient, and resilient buildings and construction sector. Global status report 2017” (2017). <https://globalabc.org/sites/default/files/2020-09/2017%20GlobalABC%20GSR%20.pdf> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

URL 1: <https://oneclicklcaapp.com/main/> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

URL 2: <https://designbuilder.co.uk/> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

URL 3: <http://www.elitechlog.com/waterproof-usb-temperature-data-logger/> Erişim Tarihi: 20.06.2023.

URL 4: <https://archive.org/details/isi-yalitimi-malzemeleri-cevresel-urun-beyanlari-epd-dosyalari> Erişim Tarihi: 15.07.2023.

Utkutuğ, G. S., “Binayı oluşturan sistemler arasındaki etkileşim ve ekip çalışmasının önemi, mimar tesisat mühendisi iş birliği”, *IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongre ve Sergisi*, 229(1): 19-36 (1999).

Vazquez-Torres, C. E., Bienvenido-Huertas, D., Beizae, A., Bassam, A. and Torres, M. J., “Thermal performance of historic buildings in Mexico: An analysis of passive systems under the influence of climate change”, *Energy for Sustainable Development*, 72: 100-113 (2023).

Vezzoli, C. and Manzini, E., “Design for Environmental Sustainability”, *Springer London*, London (2008).

Waltjen, T., “IBO Passivhaus bauteilkatalog - A catalogue of building elements specified for Passivhaus Standard”, *10DBMC International Conference On Durability of Building Materials and Components*, Lyon, France (2005).

Williams, L. O., “An End to Global Warming”, *Elsevier Science*, Oxford, 1-2 (2002).

Wuppertal Institute, “Training Handbook: Sustainable Construction”, *Wuppertal Institute*, Germany (2018).

Yazıcıoğlu, D. A., “Bina entegre aktif ve pasif güneş enerji sistemlerinin incelenmesi”, *1. Ulusal Geri Kazanım Kongre ve Sergisi*, 98: 98-110 (2012).

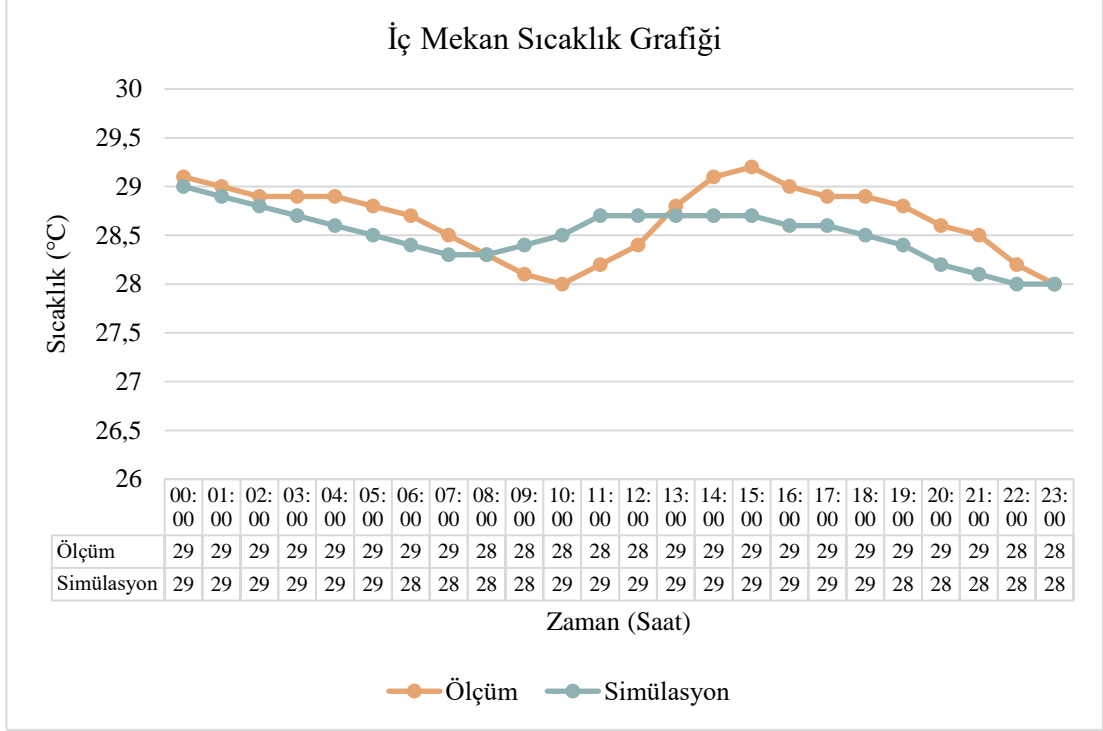
Yetkin, E. G., “Sürdürülebilir mimarlık kapsamında yapılarda su korunumu stratejileri”, *Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi*, 2(2): 70-78 (2019).

Yüksek, İ., “Geleneksel Anadolu mimarlığında ekolojik uygulamalar üzerine bir araştırma Kırklareli kırsal alan örneği”, Doktora Tezi, *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Edirne (2008).

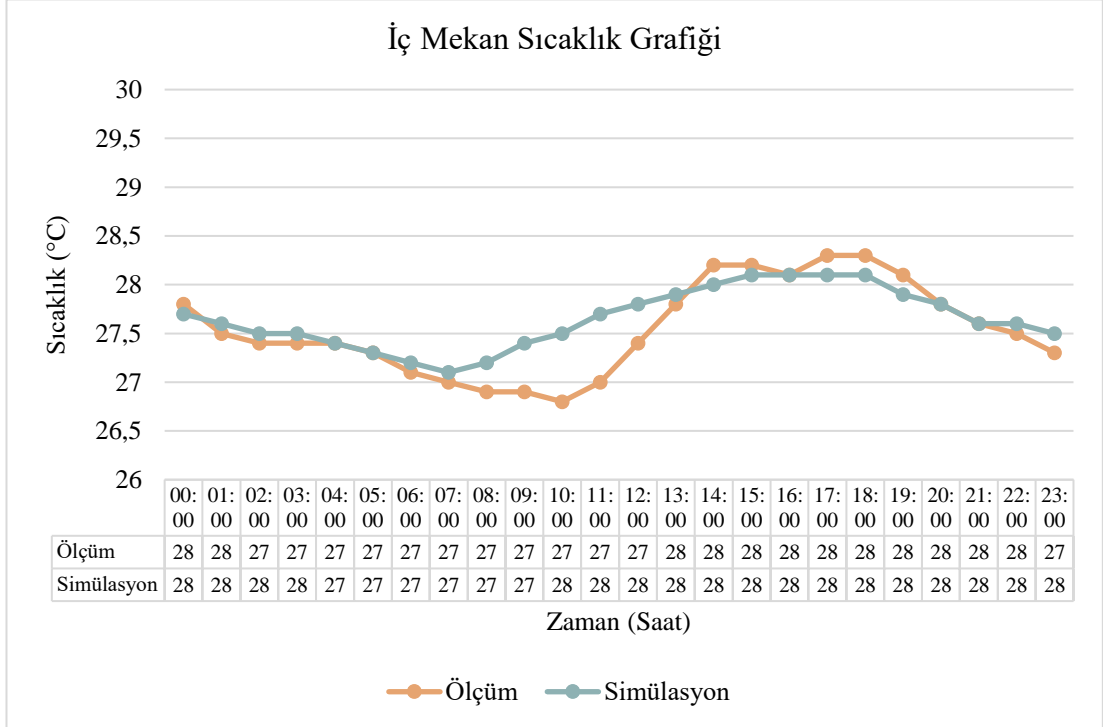
Zhang, Z., Wu, X., Yang, X., and Zhu, Y., “BEPAS - A life cycle building environmental performance assessment model”, *Building and Environment*, 41 (5): 669 - 675 (2006).

EK AÇIKLAMALAR A.

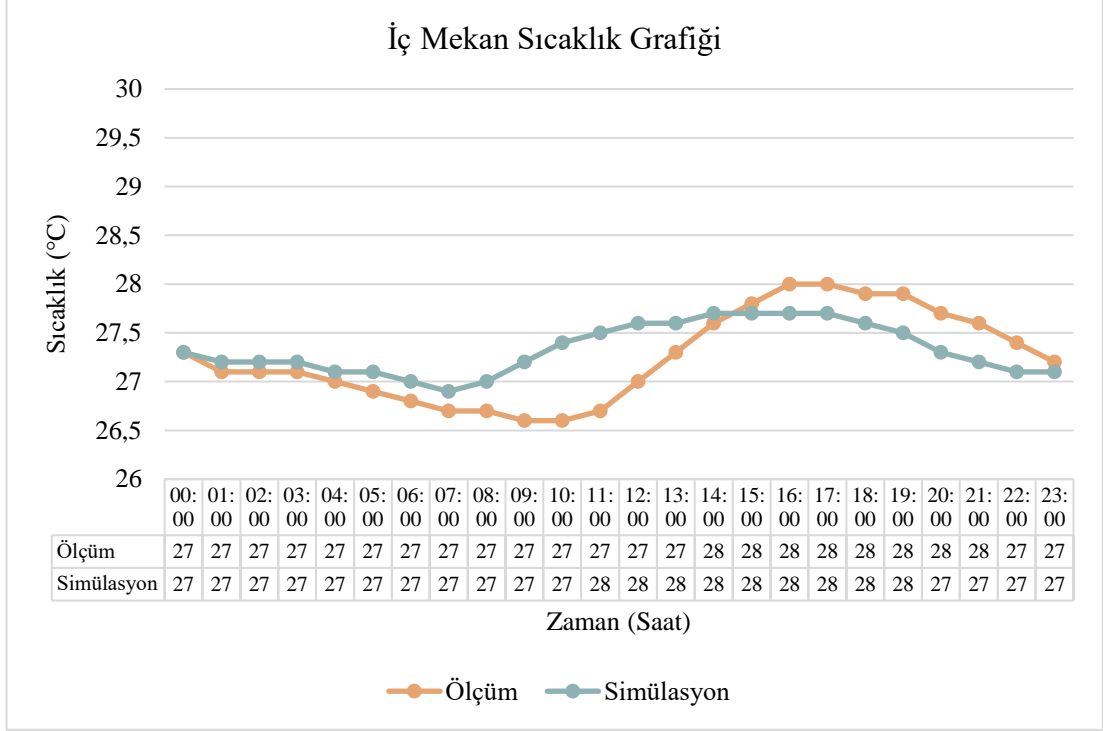
İÇ MEKÂN ÖLÇÜM VE SİMÜLASYON GRAFİKLERİ



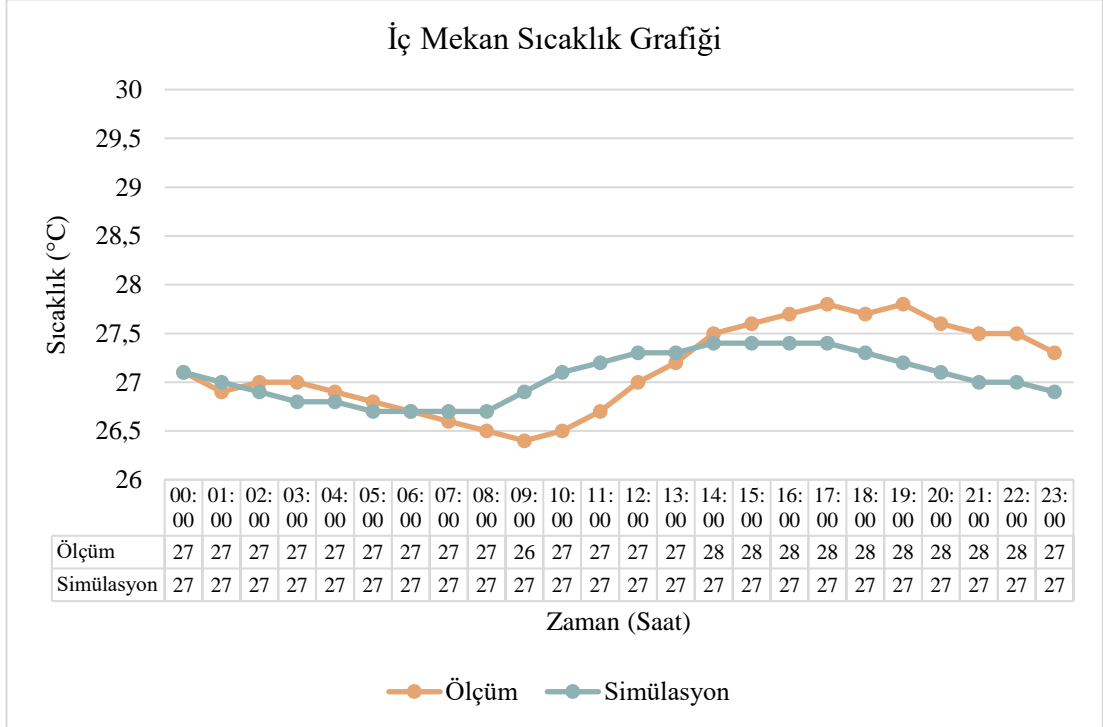
Şekil Ek A.1. 27.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



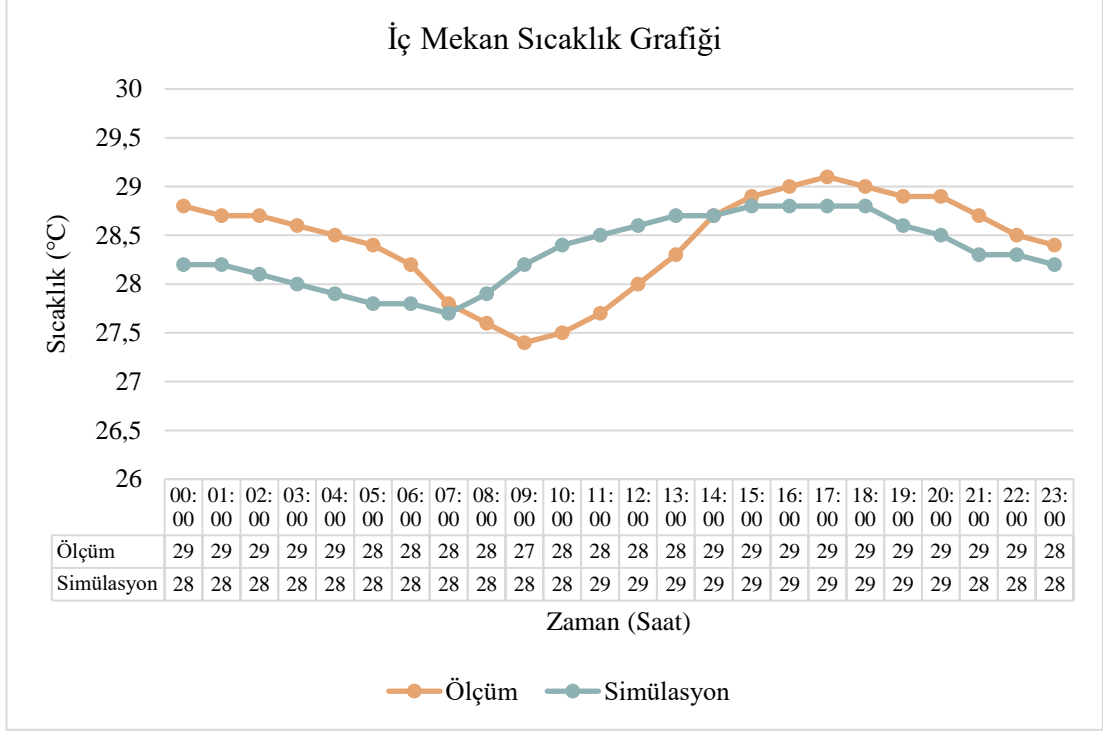
Şekil Ek A.2. 28.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



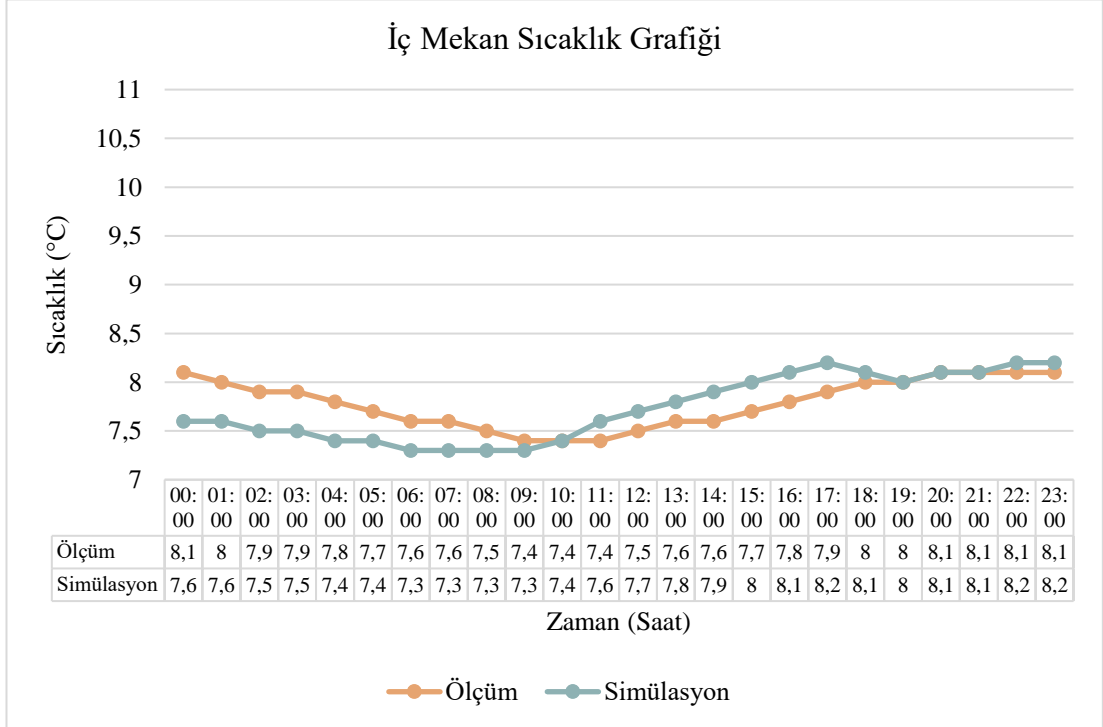
Şekil Ek A.3. 29.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



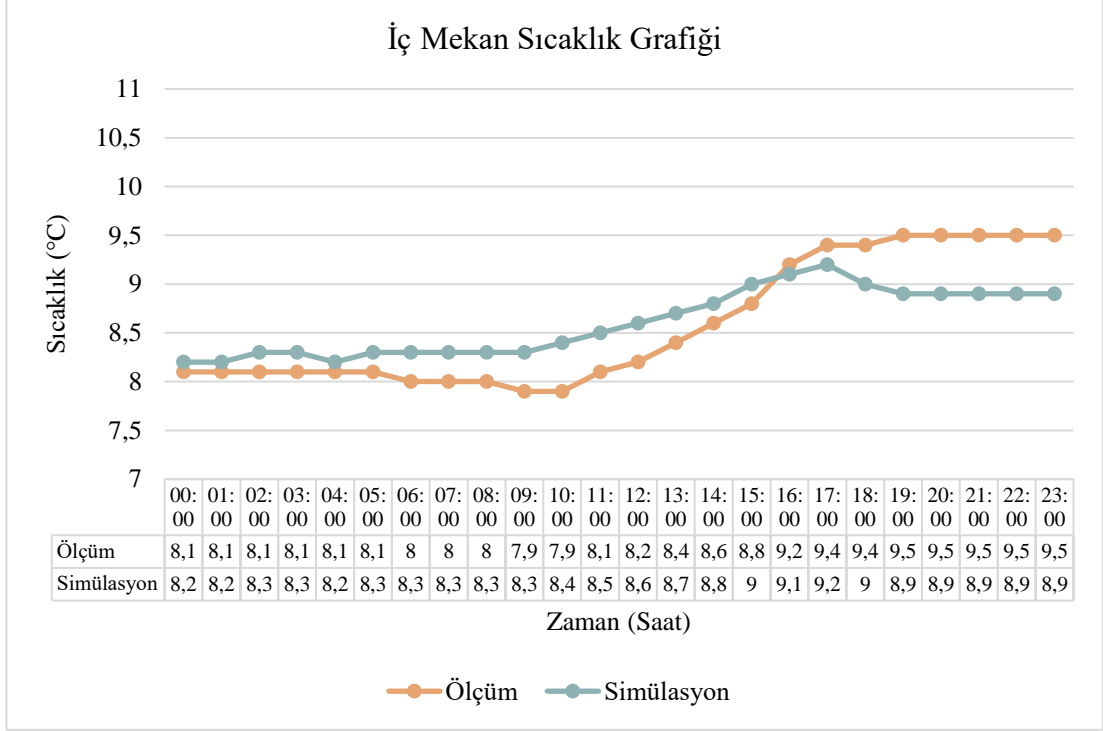
Şekil Ek A.4. 30.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



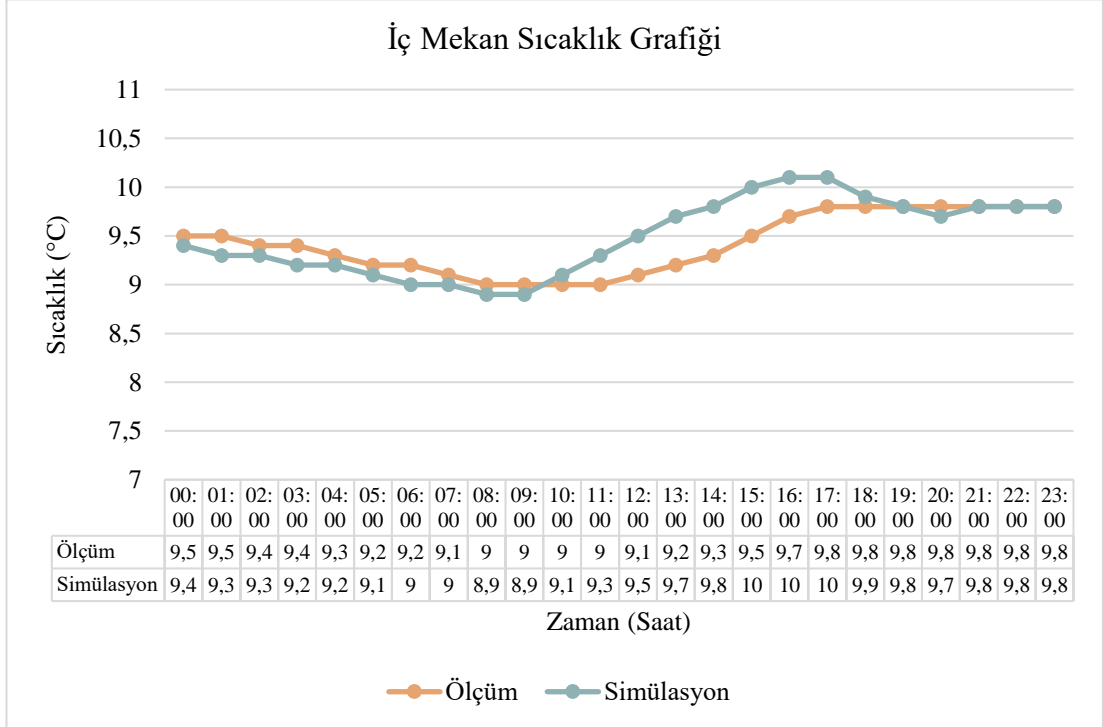
Şekil Ek A.5. 31.08.2022 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



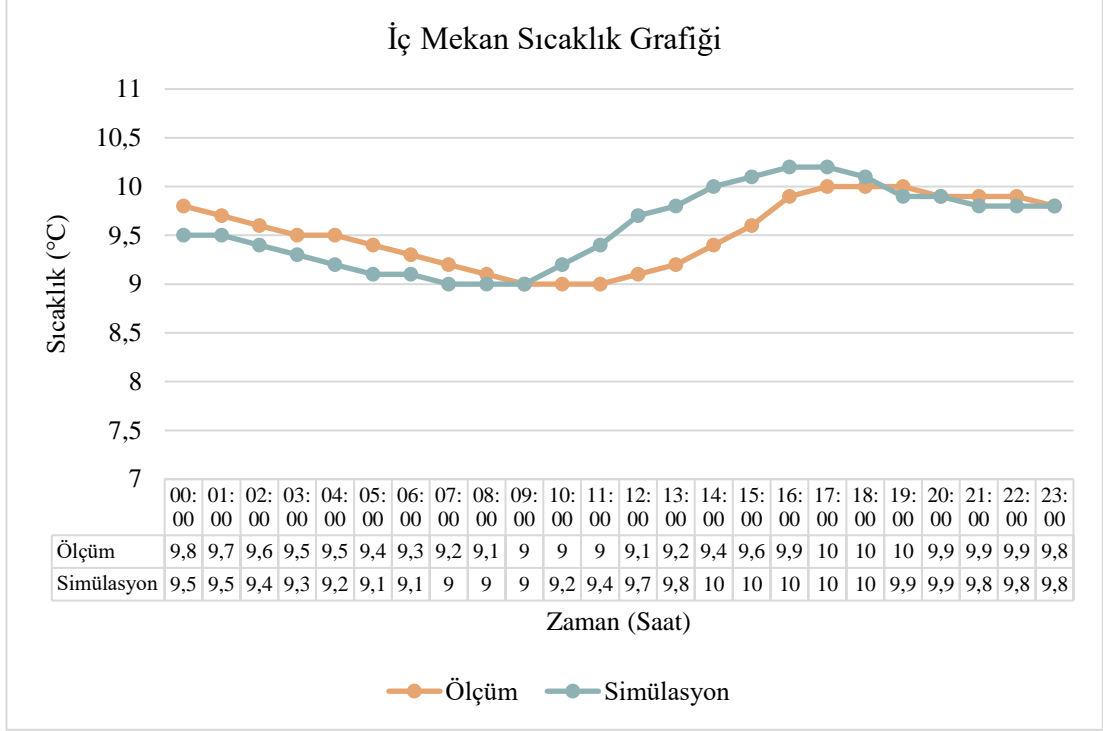
Şekil Ek A.6. 17.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



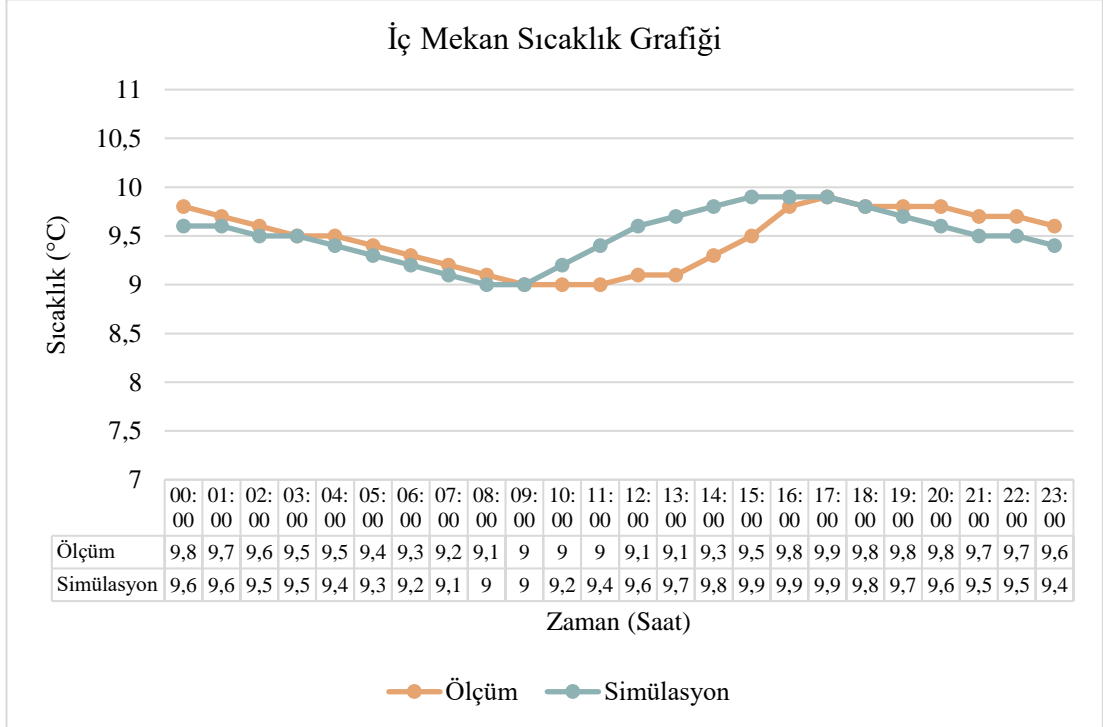
Şekil Ek A.7. 18.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



Şekil Ek A.8. 19.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



Şekil Ek A.9. 20.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.



Şekil Ek A.10. 21.01.2023 tarihine ait saatlik iç mekan ölçüm ve simülasyon sonuçları.

ÖZGEÇMİŞ

Havva KOCA, ilk ve orta öğrenimini Antalya - Alanya'da Sugözü Cemal Coşkun İlköğretim Okulu'nda tamamladı. Lise öğrenimini aynı şehirde Nimet Alaettinoğlu Anadolu Lisesi'nde tamamladı. Lisans eğitimine 2015 yılında Girne Amerikan Üniversitesi'nde başladı. Hazırlık ile bir yıllık mimarlık eğitiminin ardından 2017 yılında Karabük Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Mimarlık Bölümü'ne yatay geçiş yaptı. 2021 yılında mezun oldu ve aynı yıl Karabük Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nde yüksek lisans eğitimine başladı. Yüksek lisans döneminde Karabük Üniversitesi Mimarlık Fakültesi'nde 1 yıllık süreç boyunca yapı bilgisi derslerinde öğretim görevlisi ünvanıyla ders verdi.