



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



BİYO-TABANLI ISI YALITIM
MALZEMELERİNİN GÖMÜLÜ KARBON
DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI
ANALİZİ

Neslihan ANLAR

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mimarlık Anabilim Dalı

Nisan-2025
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Mimar Neslihan ANLAR tarafından hazırlanan “Biyo-Tabanlı Isı Yalıtım Malzemelerinin Gömülü Karbon Değerlerinin Karşılaştırmalı Analizi” adlı tez çalışması 25/04/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Doç. Dr. Selçuk SAYIN

Danışman

Doç. Dr. İlhan KOÇ

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Sevde Gülizar DİNÇER

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Mevlüt UYAN
Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

Neslihan ANLAR

Tarih:

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

BİYO-TABANLI ISI YALITIM MALZEMELERİNİN GÖMÜLÜ KARBON DEĞERLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Neslihan ANLAR

Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Mimarlık Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. İlhan KOÇ

2025, 128 Sayfa

Jüri
Doç. Dr. İlhan KOÇ
Doç. Dr. Selçuk SAYIN
Dr. Öğr. Üyesi Sevede Gülizar DİNÇER

Küresel ölçekte enerji tüketiminin önemli bir bölümü (yaklaşık %40'ı) yapı sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir. Bu enerjinin yaklaşık %85'i fosil yakıt kaynaklı olup, yüksek oranlarda karbon emisyonuna neden olmaktadır. Yapı sektöründe tüketilen enerjinin ise yaklaşık %50'si yalnızca ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmakta; bu da yalıtım uygulamalarının enerji ve karbon tasarrufu açısından ne denli önemli olduğunu göstermektedir. Yapıya uygulanacak nitelikli ısı yalıtım çözümleri ile %60'a varan oranlarda enerji tasarrufu sağlanabildiğini araştırmalar ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, önemli tasarruf potansiyeline sahip yalıtım uygulamaları, sağlayacağı enerji tasarrufu sayesinde karbon emisyonlarını azaltarak, iklim krizi ile mücadelede sektörel sebep olunan tahribatı azaltmak ve iyileştirmede kritik bir rol üstlenmektedir. Ancak, günümüzde yapılan yalıtım uygulamaları sadece kullanım enerjisi kaynaklı tasarruf gözetilerek planlanmaktadır. Bu durum sonucu, kullanım enerjisi kaynaklı karbon emisyonları azaltılırken, malzemenin üretim süreciyle ortaya çıkan gömülü karbon değerleri göz ardı edilmektedir. Yapının toplam karbon ayak izine kalıcı etki eden ve değiştirilebilir bir değer olmayan gömülü karbon önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, iklim krizi ile mücadelede tüm yapı bileşenlerinin oluşum aşamalarını da içeren kapsamlı bir yaşam döngüsü yaklaşımı benimsenmelidir. Bu doğrultuda, son birkaç on yılda tekrar önem kazanan biyo-tabanlı malzemeler, karbon tutucu özellikleri sayesinde küresel karbon emisyonlarını azaltma potansiyeline sahip, çevre ve insan sağlığı için güvenli, doğal ve sürdürülebilir alternatifler olarak değerlendirilmektedir. Her ne kadar bu malzemelerin küresel kullanımı hâlihazırda sınırlı olsa da karbon yönetimi açısından sundukları avantajlar dikkate değerdir. Bu çalışmada, biyo-bazlı malzemelerin yapı sektöründeki kullanım potansiyelleri araştırılmış, ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon emisyonları bağlamında alan çalışması yürütülmüştür. Çalışmada, yaklaşık aynı ısıl geçirgenlik katsayısına ($U: W/m^2.K$) sahip yapı kabukları modellenmiş; biyo-bazlı ve güncel ısı yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, cam yünü, taş yünü) için gömülü karbon hesaplamaları gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, biyo-bazlı malzemelerin farklı oranlarda gömülü karbona sahip olduğunu, karbon tutucu özelliğe sahip malzemelerin önemli miktarlarda karbonu yapı bünyesinde depoladıklarını ortaya koymuştur.

Türkiye ölçeğinde yapılan hesaplamalarda ise, 2022 yılı verilerine göre hesaplamalar yapılmış, kullanılan "güncel ısı yalıtım malzemeleri (GYM)" kaynaklı gömülü karbon emisyonlarının aynı yıla ait toplam sera gazı emisyonlarının %0,2'sini oluşturduğu belirlenmiştir. Tüm sera etkisine sebep olan faaliyetler içerisinde 2/1000'ini yalnızca dört malzemenin gömülü karbonunun oluşturması oldukça yüksek bir değeri işaret etmekte, bu durum GYM'nin yüksek küresel etkiye sebep olduğunu göstermektedir. Aynı yıl için GYM'lerin yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanıldığı

varsayılan hesaplamalarda ise malzeme kaynaklı gömülü karbon emisyonlarının düşeceği ve ulusal sera gazı emisyonlarında %6,36'ya varan oranlarda azalma sağlanabileceği tespit edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışma, biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin GYM'lere kıyasla daha düşük gömülü karbon değerlerine sahip olduğunu ve karbon yönetimi açısından çevresel olarak daha avantajlı alternatifler sunduğunu ortaya koymuştur. Yapı sektörünün sürdürülebilirlik hedefleri doğrultusunda, biyo-tabanlı malzemelerin kullanılması, iklim değişikliğiyle mücadelede önemli katkılar sağlayacağı ortaya konmuştur.

Anahtar Kelimeler: Biyo-bazlı malzemeler, Gömülü karbon, Isı yalıtımı, Karbon emisyonu, Küresel ısınma



ABSTRACT

MS THESIS

COMPARATIVE ANALYSIS OF EMBODIED CARBON VALUES OF BIO-BASED THERMAL INSULATION MATERIALS

Neslihan ANLAR

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Architecture and Design**

Advisor: Assoc. Prof. Dr. İlhan KOÇ

2025, 128 Pages

**Jury
Advisor Assoc. Prof. Dr. İlhan KOÇ
Member Assoc. Prof. Dr. Selçuk SAYIN
Member Asst. Prof. Dr. Sevde Gülizar DİNÇER**

A significant portion of global energy consumption (approximately 40%) is carried out by the construction sector. Approximately 85% of this energy is fossil fuel-based and causes high levels of carbon emissions. Approximately 50% of the energy consumed in the construction sector is used only for heating and cooling purposes; this shows how important insulation applications are in terms of energy and carbon savings. Research shows that up to 60% energy savings can be achieved with qualified thermal insulation solutions applied to the building. In this context, insulation applications with significant savings potential play a critical role in reducing and improving the damage caused by the sector in the fight against the climate crisis by reducing carbon emissions thanks to the energy savings they will provide. However, insulation applications carried out today are planned only by considering savings from usage energy. As a result of this situation, while carbon emissions from usage energy are reduced, the embedded carbon values that emerge during the production process of the material are ignored. Embedded carbon, which has a permanent effect on the total carbon footprint of the building and is not a changeable value, has a significant impact. Therefore, a comprehensive life cycle approach that includes the formation stages of all building components should be adopted in the fight against the climate crisis. In this direction, bio-based materials, which have gained importance again in the last few decades, are considered as safe, natural and sustainable alternatives for the environment and human health, with the potential to reduce global carbon emissions thanks to their carbon sequestration properties. Although the global use of these materials is currently limited, the advantages they offer in terms of carbon management are remarkable. In this study, the potential use of bio-based materials in the construction sector was investigated, and a field study was conducted in the context of embodied carbon emissions of thermal insulation materials. In the study, building shells with approximately the same thermal conductivity coefficient (U : $W/m^2.K$) were modelled; embodied carbon calculations were performed for bio-based and current thermal insulation materials (EPS, XPS, glass wool, stone wool). The findings revealed that bio-based materials have different rates of embodied carbon, and that materials with carbon sequestration properties store significant amounts of carbon within the building.

In the calculations made on a Turkey scale, calculations were made according to 2022 data, and it was determined that the embodied carbon emissions originating from the "current thermal insulation materials (GYM)" used constituted 0.2% of the total greenhouse gas emissions for the same year. The fact that 2/1000 of all activities causing the greenhouse effect is made up of the embodied carbon of only four materials indicates a very high value, and this situation shows that GYM causes a high global impact. In the calculations where bio-based thermal insulation materials are used instead of GYMs for the same

year, it was determined that the embodied carbon emissions from the material would decrease and a reduction of up to 6.36% could be achieved in national greenhouse gas emissions. As a result, this study revealed that bio-based thermal insulation materials have lower embodied carbon values compared to GYMs and offer more environmentally advantageous alternatives in terms of carbon management. In line with the sustainability goals of the construction sector, it has been revealed that the use of bio-based materials will make significant contributions to the fight against climate change.

Keywords: Bio-based materials, Carbon emissions, Embodied carbon, Global warming, Thermal insulation.



ÖNSÖZ

Lisans, yüksek lisans ve tez çalışma sürecimde bilgi ve deneyimleriyle bana rehberlik eden, tecrübeleriyle yol gösteren ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. İlhan KOÇ'a destek ve katkılarından dolayı sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın şekillenmesi ve geliştirilmesine katkı sağlayan kıymetli hocam Doç.Dr. Selçuk SAYIN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Lisans eğitimim süresince, öğrencileri üzerinde emeği büyük olan, sabırla tüm detayları öğreten, eğitimci kimliğini en iyi şekilde yansıtan kıymetli hocam Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Oğuz DURU'ya tez çalışma sürecimde de tecrübelerini ve desteğini esirgemediği için en içten teşekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca her an yanımda olan ve bana her zaman inanan, sevgisi, fedakarlığı, sonsuz desteği ile bana güç veren, bin bir emek ve sabır ile bizi yetiştiren canım anneme minnettarım, tüm emekleri için sonsuz teşekkür ederim.

Neslihan ANLAR
KONYA-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Amaç	4
1.2. Problem Tanımı ve Hipotezler.....	6
1.3. Kapsam	8
1.4. Yöntem.....	9
1.5. Sınırlılıklar ve Varsayımlar	10
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	12
2.1. Küresel Isınma ve İklim Krizi	12
2.1.1. Sera Gazı Emisyonları	15
2.1.2. Yapı Sektörü ve Küresel Isınma İlişkisi	17
2.1.3. Sürdürülebilirlik.....	20
2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD).....	23
2.2.1. Gömülü Karbon (Embodied Carbon)	28
2.2.2. Kullanım Karbonu (Operational Carbon)	29
2.3. Isı Yalıtımı	29
2.3.1. Günümüzde Kullanılan Güncel Isı Yalıtımı Malzemeleri.....	31
2.4. Biyo-Bazlı (Biyo-Tabanlı) Malzemeler.....	35
2.4.1. Bitki Bazlı Biyo Malzemeler	36
2.4.1.1. Ahşap	36
2.4.1.2. Kenevir.....	42
2.4.1.3. Keten.....	49
2.4.1.4. Saman.....	51
2.4.1.5. Çim.....	52
2.4.2. Hayvansal Bazlı Biyo Malzemeler	52
2.4.2.2. Hayvan Tüyleri	52
2.4.3. Biyomalzeme Üretiminde Kullanılan Mikroorganizmalar	53
2.4.3.1. Algler	53
2.4.3.2. Mantarlar / Miselyum	55
2.5. Biyo-Bazlı Malzemeler ile İlgili Yapılmış Çalışmalar	58
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	65
3.1. Materyal.....	65
3.1.1. Kenevir Lifi.....	65
3.1.2. Ahşap Lifi	68

3.1.3. Çim Lifi.....	70
3.1.4. Mantar.....	72
3.1.5. Hayvan Tüyü.....	73
3.2. Yöntem.....	74
3.2.1. Referans Bina (Ref-B)	74
3.2.2. Isı Yalıtım Malzemeleri Metraj Hesabı	75
3.2.3. Isı Yalıtım Malzemeleri GWP Değeri Birim Dönüşümü	76
3.2.4. Isı Yalıtım Malzemelerinin Gömülü Karbon Değeri Tespiti Yöntemi.....	77
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	78
4.1. Referans Bina Duvar Modülleri.....	78
4.1.1. Ref-B1 Duvar Modülü (IndiBreathe Flex®)	79
4.1.2. Ref-B2 Duvar Modülü (IndiTherm)	80
4.1.3. Ref-B3 Duvar Modülü (Thermo Hemp Combi Jute).....	81
4.1.4. Ref-B4 Duvar Modülü (Gutex ThermoWall-L)	82
4.1.5. Ref-B5 Duvar Modülü (Heratecta)	83
4.1.6. Ref-B6 Duvar Modülü (Tektalan)	84
4.1.7. Ref-B7 Duvar Modülü (Gramitherm).....	85
4.1.8. Ref-B8 Duvar Modülü (Expanded Insulation Corkboard)	87
4.1.9. Ref-B9 Duvar Modülü (Expanded Cork Granules).....	88
4.1.10. Ref-B10 Duvar Modülü (ThermaFleece UltraWool)	89
4.1.11. Ref-B11 Duvar Modülü (Jackofoam 300-XPS)	90
4.1.12. Ref-B12 Duvar Modülü (Jackopor 80 EPS).....	91
4.1.13. Ref-B13 Duvar Modülü (Taş Yünü).....	92
4.1.14. Ref-B14 Duvar Modülü (Cam Yünü).....	94
4.1.15. Türkiye Ölçeğinde GYM Kaynaklı Gömülü Karbon Hesabı	95
4.1.16. 2022 Yılı Verileri Çerçevesinde GYM Yerine Biyo-bazlı Malzeme Kullanımının Gömülü Karbon ve Toplam Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi	96
4.1.16.1. IndiBreathe Flex Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu.....	98
4.1.16.2. IndiTherm Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu.....	98
4.1.16.3. Thermo Hemp Combi Jute, Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu.....	99
4.1.16.4. Gutex ThermoWall-L Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu...	99
4.1.16.5. GramiTherm Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu.....	99
4.1.16.6. Expanded Insulation Corkboard Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu.....	100
4.1.16.7. Expanded Cork Granules Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu	100
4.1.16.8. ThermaFleece UltraWool Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu	100
4.2. Bulguların Değerlendirilmesi	101
4.2.1. Alan Çalışması; Ref-B Gömülü Karbon Hesabı Bulguları.....	101
4.2.1.1. Hipotez-1 sınaması	104
4.2.1.2. Hipotez-2 sınaması	105
4.2.1.3. Hipotez-3 sınaması	106
4.2.2. Türkiye Ölçeğinde; Biyo-Bazlı Malzemelerin GYM Yerine Kullanımı Senaryosu Sonuçları	106
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	109

5.1. Sonuçlar	109
5.2. neriler	114
KAYNAKLAR	117
EKLER	126



SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

kg:	Kilogram
%:	Yüzde
m :	Metre
mm:	Milimetre
Mt:	Milyon ton
cm:	Santimetre
cm ² :	Santimetrekare
m ² :	Metrekare
m ³ :	Metreküp
ρ :	Yoğunluk (kg/m ³)
λ :	Isıl iletkenlik değeri (W/m.K)
R:	Isıl geçirgenlik direnci (m ² .K/W)
R _{iç} :	İç mekân ısı geçirgenlik direnci (m ² .K/W)
R _{dış} :	Dış mekân ısı geçirgenlik direnci (m ² .K/W)
t:	Ton (ağırlık birimi)
U:	Isıl geçirgenlik kat sayısı (W/m ² .K)

Kısaltmalar

CH ₄ :	Metan
CaCO ₃ :	Kalsiyum karbonat
CO ₂ :	Karbondioksit
CO ₂ eq.:	Karbondioksit eşdeğeri
EPD:	Environmental Product Declaration
EPS:	Genleştirilmiş polistiren sert köpük
GWP:	Global warming potential (Küresel ısınma potansiyeli)
GYM:	Güncel ısı yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, cam yünü, taş yünü)
HVAC:	Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme
IEA:	International Energy Agency
IPCC:	Intergovernmental Panel on Climate Change
kgCO ₂ eq:	Kilogram karbondioksit eşdeğeri
LCA:	Life Cycle Assessment (Yaşam döngüsü değerlendirmesi)
MCE:	Malzeme karbon emisyonu
N ₂ O:	Nitröz Oksit (Azot oksitler)
Ref-B:	Referans Bina
TEİAŞ:	Türkiye Elektrik İletişim A.Ş.
TÜİK:	Türkiye İstatistik Kurumu
UNFCCC:	United Nations Framework Convention on Climate Change
VOC:	Volatile Organik Compounds
WMO:	World Meteorological Organization
XPS:	Ekstrüde polistiren köpük
YDD:	Yaşam döngüsü değerlendirmesi

1. GİRİŞ

Dünyanın hızla artan nüfusuna paralel olarak yapı stoğu da her geçen gün artmaktadır. Küresel sorunların başlıca kaynaklarından biri olarak bilinen yapı stoğundaki bu artış, sektörün küresel iklim üzerindeki etkilerini daha da güçlendirmektedir. Ekolojik dengenin bozulmasına yol açan küresel ısınmanın temel nedeni ise karbon emisyonlarına yol açan fosil yakıt kaynaklı enerji tüketimleridir (Tazeoğlu Filiz ve Yıldırım, 2023). 19.yüzyılın ortalarından itibaren Sanayi Devrimi ile başlayan teknolojik gelişmeler ile sanayi ve yapı çevreye ilişkin üretimin hız kazanması özellikle fosil kaynaklı enerji talebinin önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Bu talebi karşılamak amacıyla, yakıldığı zaman daha verimli enerji üreten fosil yakıtların kullanımına yönelinmiştir. Ancak milyonlarca yılda oluşan ve küresel ısınmanın başlıca sebebi olarak bilinen fosil yakıt kaynaklarının bu denli kontrolsüz ve yoğun kullanımı, küresel ölçekte çevresel sorunları beraberinde getirmiş, ekolojik tahribatlara neden olmuştur. Küresel enerji talebinde ise 2030 yılına kadar %50 oranda artış yaşanacağı öngörülmekte, hali hazırda tükenmekte olan fosil yakıt kaynaklarıyla bu talebin karşılanamayacağı düşünülmektedir (Atılğan, 2022). Her geçen gün artan enerji ve yapı stoğu talebini, zaten tükenmekte olan kaynakları tüketmeden karşılamanın yolları aranmış, sürdürülebilir ve enerji etkin çözümler geliştirilmeye başlanmıştır.

Sera gazı salınımları dolayısıyla küresel ısınma ve iklim değişikliğindeki etkisi yaklaşık %40 oranında olan yapı sektörü (Wilton ve Howland, 2020), yoğun enerji tüketimi ile dikkat çekmektedir. Küresel çapta enerji tüketiminin üçte biri yapı çevre tarafından gerçekleştirilmekte ve kullanılan enerjinin yaklaşık olarak %50'si ısıtma ve soğutma amacı ile tüketilmektedir. Yapılarda enerji tüketimi denilince akla ilk gelen yapı malzemesi yalıtım malzemeleridir (Atılğan, 2022). Günümüzde tüketilen enerjinin yaklaşık %85'inin fosil yakıt kaynaklı olduğu düşünüldüğünde, enerji tüketimleri kaynaklı küresel emisyonları azaltmak ve enerji tasarrufu sağlamak için en etkili yol olarak yapılara uygulanacak nitelikli ısı yalıtım uygulamaları olduğu görülmektedir. Yapılarda uygulanacak yeterli düzeydeki ısı yalıtım ile %60'a varan oranlarda tasarruf sağlanabileceği belirtilmektedir (Kırbıyık, 2012; Koçak, 2022). Ancak ısı yalıtım uygulamalarında yalnızca enerji verimliliği değil, aynı zamanda kullanılan malzemelerin çevresel etkileri de göz önünde bulundurulmalıdır. Bu bağlamda, yapı bileşenlerinin çevresel ayak izi değerlendirilmeli, malzeme seçiminde karbon salınımı, kaynak kullanımı ve geri dönüştürülebilirlik gibi kriterler dikkate alınmalıdır. Yapı

sektörü; yalnızca enerji tüketimiyle değil, yapı inşa süreci ve kullanım ömrü sonunda oluşturduğu atıklarla da çevreye önemli ölçüde olumsuz etkilerde bulunmaktadır. Nitekim küresel ölçekte ortaya çıkan atıkların yaklaşık dörtte birinden yapı sektörünün sorumlu olduğu bildirilmektedir. Bu faktörler neticesinde yapı sektöründe enerji etkin ve doğa dostu sürdürülebilir yaklaşımların benimsenmesi, sektörün iklim üzerindeki etkilerinin azaltılabilmesi için kaçınılmaz hale gelmiştir. Bu noktada, doğal malzemelerden üretilen biyo-bazlı malzemeler, çevre ile uyumlu alternatif yapı malzemeleri olarak öne çıkmaktadır. Biyo-bazlı malzemeler, çoğunlukla tarımsal atıkların hammadde olarak kullanılması ile elde edildiği için güncel yapı malzemelerinin sebep olduğu atık yığınlarının önüne geçmekte, çoğunlukla üretim maliyetlerini de düşürmektedir (Yadav ve Agarwal, 2021).

Günümüzde iklim krizi ile mücadelede, yapı sektörü açısından yapı kullanım enerjisini azaltmaya yönelik uygulamaların ön planda tutulduğu bilinmektedir. Bu durum, çoğunlukla yapı gömülü enerjisi ve yapı malzemelerinin gömülü karbon değerinin göz ardı edilmesine neden olmaktadır. Ancak yapıların; kullanım enerjisi kaynaklı emisyonları kullanıcıya bağlı olması sebebiyle sonradan müdahale ile azaltılabilirken, malzemelerin gömülü karbon emisyonları yapıların inşa aşamasında sabitlenmekte ve sonradan değiştirilememektedir. Gömülü karbon değeri, bazı durumlarda yapıya ait toplam karbon miktarının %50'sinden fazlasını oluşturabilmektedir (Breton, vd. 2018). Sürdürülebilir yaklaşımların benimsenmesi ile enerji verimliliğe ulaşma talebi, yapı malzemelerinin tüm yaşam döngüsünü önemli kılmış, malzemelerin seçimini önemli hale getirmiştir (Raja, vd. 2023). Bu bağlamda malzeme seçim sürecinde, yalnızca teknik performansa değil, aynı zamanda malzeme karbon salınımına da odaklanılmalıdır. Böylelikle, yapı sektörünün küresel ölçekteki çevresel etkisini azaltmak için karbon tutucu özelliklere sahip biyo-bazlı malzemeler ön plana çıkmaktadır. Yenilenebilir doğal kaynaklardan elde edilen söz konusu malzemeler hem düşük gömülü karbon değerleri hem de atmosferik karbonu yapısında depolama potansiyelleriyle önemli bir çözüm olarak değerlendirilmektedir.

Canlı yapı malzemeleri olarak da adlandırılan biyomalzemeler, atmosferik karbonu bünyelerinde depolayabilme potansiyelleri ve düşük üretim enerjisi gereksinimleri ile güncel yapı malzemelerine (betonarme, çelik, taş yünü vb.) kıyasla yapı gömülü karbon değerini azaltmada eşsiz bir çözüm sunduğu akademik çalışmalarda ifade edilmiştir. Ayrıca biyo-bazlı malzemeler, yerel olarak kolay ulaşılabilir özellikte olup güncel yapı malzemelerine kıyasla daha düşük maliyetlere

üretilebilmektedir. Bu malzemeler, tarımsal atıklar gibi yenilenebilir doğal kaynakların değerlendirilmesine olanak tanıyan geniş hammadde çeşitliliğine sahiptir. Bu özellikleri sayesinde biyo-bazlı malzemeler, fosil yakıt kaynaklı malzemelere alternatif olabilecek önemli potansiyele sahiptir (Kutbay, 2022). Yapı “Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi” (LCA: Life Cycle Assessment) sonuçları doğrultusunda yapılan analizlerde, biyo-bazlı malzeme içeren yapıların çevresel etkisinin, biyo-bazlı malzeme içermeyen yapılara kıyasla çoğunlukla daha düşük olduğu ve yapıda kullanılan biyo-bazlı malzeme miktarının artırılması ile bu etkinin daha da azaltılabildiği ifade edilmektedir. Yapıların yaşam döngüsü değerlendirmesindeki başlıca katkıyı, malzeme karbon emisyonlarının (gömülü karbon) oluşturduğu ve seçilecek malzemelerin bu etkenler kapsamında büyük bir öneme sahip olduğu bilinmektedir (Penaloza, vd. 2016). Biyo-bazlı malzemeler düşük enerji gereksinimlerinin yanında önemli karbon tutucu malzemelerdir. Kütlece yaklaşık %50 oran ile bünyelerinde depolanan gömülü (somutlaşmış) karbondan oluşmaktadır. Karbon tutucu özellikleri dolayısıyla yapı malzemesi olarak kullanılmaları, inşaat süreçleri ve yapı malzemeleri üretimleri kaynaklı salınan karbon emisyonunu yapı bünyesinde depolayarak azaltmada stratejik bir yaklaşım olarak görülmektedir (Pittau, vd. 2018).

Yapılan literatür taramalarında, biyo-bazlı malzemeler üzerine gerçekleştirilen çalışmaların yurtdışında yoğunlaştırıldığı, ülkemizde ise çalışmaların henüz az olduğu tespit edilmiştir. Ülkemizde yapılan mevcut çalışmaların ise malzemelerin fiziksel özellikleri ve hammadde kaynaklarının yetiştirilmesi, üretimi çerçevesinde oluşturulduğu veya deneysel analizler doğrultusunda bir standarda sahip olmayan, yeni bir malzeme üretimi ve incelenmesi üzerine yapıldığı görülmüştür. Ayrıca Atılğan, (2022) yapmış olduğu çalışmada, ekolojik ısı yalıtım malzemelerini konu almış ve incelemek üzere endüstriyel malzeme örneklerinden dört farklı ürün seçmiştir. Seçmiş olduğu malzemelerin numunelerini üretici firmalardan temin etmiş ve malzemelere ait ısı iletkenlik testi yapmıştır. Testlerde elde ettiği sonuçlar ile üretici firmalar tarafından paylaşılmış teknik analiz raporlarında verilen değerlerin büyük bir sapma içerdiğini tespit etmiştir (Örn; λ :0.04 W/mK olan değer λ :0.173 W/mK olarak ölçülmüştür). Bu sapmanın uygun ortam koşulları sağlanamadığı ve ölçüm için gerekli ekipmanların yeterli donanımda olmadığı kaynaklı olabileceğini belirtmiştir. Geliştirilen bir konu olan biyo-bazlı malzemelerin birleşim yüzdelerinin çok değişken olabileceği ve bu kapsamda mekanik ve fiziksel özelliklerinin de değişkenlik gösterdiği görülmüştür.

Mevcut çalışmalarda yer alan yeni malzeme üretimi ve deneysel analizlerin, yüksek sapma payı ihtimali ve değişken özellikler göstermesi, bu malzemelerin güvenilir verilerle tanınmasında ve ulaşılabilir olmaması dolayısıyla pazaryerinde talep görmesine yeterli olanak sunamayacağı düşünülmektedir. Bu doğrultuda, biyo-bazlı malzemelerin sektördeki kullanım azlığının temel sebeplerinden biri olan, fiziksel ve mekanik yeterliliklerine dair tereddütlerin giderilmesi amacıyla, değişkenlik içermeyen, yapı standartlarına uygun biçimde üretilmiş ve erişilebilir nitelikte endüstriyel malzemeler incelenmiştir. Yapılarda en yoğun enerji tüketiminin ısıtma ve soğutma sistemlerinden kaynaklandığı göz önünde bulundurularak, yüksek tasarruf potansiyeli barındıran ısı yalıtım malzemeleri çalışma konusu olarak seçilmiştir. Bu kapsamda, Güncel Isı Yalıtım Malzemeleri (GYM); XPS, EPS, taş yünü, cam yünü ile yalnızca “Çevresel Ürün Beyanı (EPD: Environmental Product Declaration)” bulunan endüstriyel biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri, yapılan alan çalışması ile “Malzeme Gömülü Karbonu” (MCE-Material Carbon Emission) bağlamında karşılaştırılmıştır. Çalışmada incelenen malzemelerin birbirine yakın ısı iletkenlik değerine sahip olmalarına dikkat edilmiştir. Isıl iletkenlik değeri (λ): 0,032-0,041W/m.K aralığında tutularak, alan çalışmasında incelenen 14 ısı yalıtım malzemesinin birbirine yakın termal performansı ile benzer kullanım emisyonlarına sebep olmaları amaçlanmıştır. Bu bağlamda söz konusu malzemelerin küresel etkileri bağlamında başlıca seçim etkisini gömülü karbon değerlerinin oluşturması ve böylelikle verimli bir karşılaştırma yapılması istenmiştir. Referans binada yaklaşık aynı U (Isıl geçirgenlik katsayısı: W/m²K) değerine sahip yapı kabukları biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri ve GYM kullanılarak oluşturulmuştur. Her bir malzemenin yapıda kullanımı sonucu metraj hesabı yapılarak malzeme gömülü karbon değerleri hesaplanmış, karşılaştırmalı analizi yapılmıştır. Biyo-bazlı malzemelerin “Küresel Isınma Potansiyeli” (GWP: Global Warming Potential) değerlerinin GYM ile karşılaştırmalı analizi doğrultusunda küresel etkilerinin ortaya konulması ve Türkiye ölçeğinde bu malzemelerin toplam ulusal sera gazı emisyonlarındaki katkısının tespiti ve analizi literatürde eksik kalmış bir konudur. Bu çalışma ile literatüre katkıda bulunulması amaçlanmıştır.

1.1. Amaç

Bu çalışmanın temel amacı, yapı sektöründe yoğun olarak kullanılan güncel ısı yalıtım malzemelerinin (GYM) gömülü karbon emisyonları ile biyo-bazlı ısı yalıtım

malzemelerinin gömülü karbon değerlerini karşılaştırmak; biyo-bazlı malzemelerin karbon tutucu potansiyelini ortaya koyarak yapı sektörünün sebep olduğu sera gazı emisyonlarının azaltılmasına yönelik katkısını değerlendirmektir. Çalışmanın odak noktasını oluşturan gömülü karbon, yapı malzemelerinin üretiminden, taşınmasına kadar geçen süreçte açığa çıkan ve yapının ömrü boyunca değiştirilemeyen bir karbon yükü olup, yapının toplam karbon ayak izine kalıcı olarak etki etmektedir. Yapı bileşenleri içerisinde, malzeme karbon emisyonu (MCE) etkisinin en yüksek olduğu bileşenlerden biri ise ısı yalıtım malzemeleridir ve güncel ısı yalıtım malzemeleri oldukça yüksek etkiye sahiptir (Magwood vd. 2021). Bu doğrultuda fosil yakıt kaynaklı, sentetik ve yüksek enerji tüketimine sebep olan GYM yerine; üretim süreçlerinde daha az enerji gerektiren, atmosferik karbonu bünyelerinde depolayabilen ve çevre dostu biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin sektöre entegre edilmesi gerekliliği üzerine odaklanılmıştır.

Çalışma iki aşamadan oluşturulmuştur. İlk olarak literatür taraması ile konu ile alakalı kavramsal çerçeve oluşturulmuş, biyomalzemeler ve özellikleri araştırılmıştır. Isı yalıtım amacı ile yapılarda kullanılan örnekleri 3 grupta sınıflandırılarak, yapıda kullanım potansiyelleri ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Yazınsal çalışmayı oluşturan bu aşamada ısı yalıtım amacı ile kullanılan biyo-bazlı malzemelerin, yapı sektöründe kullanım potansiyelleri ortaya konularak malzemelerin tanıtılması, gelecekte yapılacak akademik çalışmalara ve sektörde yapı malzemesi olarak kullanımına katkı sağlaması amaçlanmıştır.

İkinci aşamada ise ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon hesapları üzerine alan çalışması yapılmıştır. EPD belgesi bulunan endüstriyel biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri ile GYM, aynı referans bina düşey yapı kabuğunda kullanılmaları halinde sebep olacakları gömülü karbon emisyonları hesaplanarak çevresel etkilerinin tespiti amaçlanmıştır. İncelenen bütün biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin GYM ile aynı veya benzer termal performans sunacak özellikte olması için “0,032-0,041 W/mK” ısı iletkenlik değerlerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Aynı veya benzer termal özelliğe (ısı iletkenlik değerine) sahip malzemeler, aynı U değeri ile kullanıldıkları zaman, yaklaşık aynı enerji performansları sağlayacaktır. Bu kapsamda malzeme farklılıklarının yapıya temel katkısı, malzeme gömülü karbon emisyonları dolayısıyla olacaktır.

Isı yalıtım malzemelerinin küresel karbon emisyonlarındaki etkisinin tespiti için ise Türkiye ölçeğinde mevcut veriler üzerinden söz konusu malzemelerin gömülü karbon emisyonları hesaplanmış, ulusal sera gazı emisyonlarındaki payı tespit

edilmiştir. Bu çalışma ile yapı sektörünün gömülü karbon emisyonları açısından mevcut durumu değerlendirilmiştir. Aynı yıla ait emisyonların, GYM yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri kullanılması halinde meydana gelecek malzeme gömülü karbon hesapları ve ulusal sera gazı emisyonlarında meydana getireceği etki hesaplanarak, biyo-bazlı malzemelerin sektörde yaygınlaştırılması durumunda çevresel kazanımların ne düzeyde olacağı gösterilmiştir. Böylece yapı tasarımında çevresel etkilerin azaltılması, malzeme seçiminde sürdürülebilir ve düşük karbonlu seçeneklerin önceliklendirilmesi gerektiği vurgulanmış, biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin karbon yönetimi açısından sektörel potansiyeline dikkat çekilmiştir.

1.2. Problem Tanımı ve Hipotezler

Günümüzde insan faaliyetlerine bağlı olarak artan sera gazı salınımları, küresel ısınmanın etkilerini her geçen gün daha belirgin hâle getirmektedir. Bu salınımların başlıca kaynağını fosil yakıtlara dayalı enerji tüketimi oluşturmakta olup, yapı sektörünün bu emisyonlardaki payı oldukça yüksektir. 2024 yılı verilerine göre, Türkiye’de kullanılan toplam enerjinin %32,7’si binalarda tüketilmiştir. Tüketilen bu enerjinin yaklaşık %80’i ise ısıtma ve soğutma işlemleri için kullanılmaktadır. Isı yalıtım uygulamaları ile bu enerji tüketiminden %60’a varan oranlarda tasarruf sağlanabileceği bilinmekle birlikte, Türkiye ölçeğinde mevcut yapı stokunun yaklaşık %75’inin hâlen yalıtımsız olduğu ve bu yapıların yüksek enerji tüketimine sebep olduğu belirtilmektedir (İZODER, 2024). Bu durum, Türkiye’de ısıtma ve soğutma kaynaklı enerji tüketiminin ciddi bir çevresel ve ekonomik sorun hâline geldiğini göstermekte, yalıtım uygulamalarının gerekliliğine vurgu yapmaktadır. Isı yalıtımı uygulanan yapılarda ise fosil yakıt kaynaklı veya yoğun enerji tüketerek yüksek karbon emisyonuna sebep olan XPS, EPS, cam yünü, taş yünü gibi malzemeler tercih edilmektedir. Bu malzemeler; üretim süreçlerinde yoğun enerji tüketimi, yüksek karbon salınımı, doğada çözünememe, kullanım ömrü sonunda büyük miktarda atık oluşturma ve geri dönüşüm süreçlerinde yüksek enerji gereksinimi gibi çeşitli çevresel olumsuzluklara neden olmaktadır. Ayrıca söz konusu ısı yalıtım malzemelerinin insan sağlığı açısından da çeşitli riskler taşıdığı bilinmektedir (Bkz: bölüm 2). Söz konusu ısı yalıtım malzemelerinin yoğun kullanımı, sebep oldukları yüksek karbon salınımları nedeni ile de küresel boyutta önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır.

Tüm bu olumsuz etkilerin azaltılmasına yönelik, alternatif malzeme olarak öne çıkan biyo-bazlı malzemeler; yenilenebilir ve doğal malzemelerden üretilmesi, sürdürülebilir ve çevre dostu olması, üretim süreçlerinde daha düşük enerji gereksinimi duymaları, atmosferik karbonu bünyelerinde depolayabilmeleri ve kullanım ömrü sonunda atık oluşturmama ve zararlı bileşenler içermeme gibi önemli avantajlara sahiptir. Ancak bu malzemeler, özellikle Türkiye’de yeterli bilgi birikimi ve sektörel farkındalık oluşmaması nedeniyle yapı sektöründe yaygın olarak kullanılmamaktadır. Bu tez çalışmasında, yapı sektörünün sebep olduğu küresel etkiler, ısı yalıtım malzemeleri özelinde ele alınmış, malzemelerin karbon emisyonlarındaki etkisi karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Çalışma çerçevesini oluşturan yapı malzemelerinin sebep olduğu küresel etkilerin analizi hem kullanım enerjisi kaynaklı tasarruf olanağı hem de gömülü karbon değeri kaynaklı emisyonları azaltma imkânı sunan ısı yalıtım malzemeleri ölçeğinde ele alınmıştır. Bu bağlamda literatürde tespit edilen bilgi eksikliklerinin giderilmesine katkı sağlamak amacıyla hem yazın taraması hem de karşılaştırmalı alan çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında ortaya konan problemler doğrultusunda geliştirilen hipotezler tanımlanmış aşağıda ifade edilmiştir. Bu hipotezler alan çalışmasından elde edilen sayısal veriler aracılığıyla test edilmiştir.

Tez çalışmasının hipotezleri;

Hipotez-1: Yaklaşık aynı ısıl geçirgenlik katsayısına ($U: W/m^2.K$) sahip yapı kabuğunda kullanılan GYM’ye kıyasla biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri daha düşük gömülü karbon değerine sahiptir. Biyo-bazlı malzemeler sentetik katkı içerse dahi içeriğinde bulunan biyo-bazlı malzeme kaynaklı sentetik GYM alternatiflerine kıyasla daha düşük karbon emisyonuna sebep olması beklenmektedir.

Hipotez-2: Biyo-bazlı malzemeler %100 biyolojik kökenli üretilbildiği gibi, farklı malzemeler ve değişken birleşim oranları ile kompozit formda da kullanılabilir. İçeriklerindeki biyolojik malzeme oranı arttıkça, biyo-bazlı malzemelerin gömülü karbon değerlerinde anlamlı bir azalma sağlanacağı öngörülmektedir.

Hipotez-3: GYM’lerin yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması, gömülü karbon emisyonlarını azaltacağından, toplam küresel sera gazı emisyonlarında anlamlı bir azalma sağlanabilir.

1.3. Kapsam

Bu tez kapsamında GYM ve biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon emisyonları ölçülmüş, ulusal sera gazı emisyonlarındaki katkısı ortaya konmuştur.

Birinci bölümde konu hakkında genel bir giriş yapılmış olup çalışmanın problemi ve hipotezi ortaya konmuş, amaç, kapsam, yöntem ve sınırlılıklar belirtilmiştir.

İkinci bölümde, küresel ısınma ve yapı sektörü ilişkisi bazında literatür taraması yapılmış, konu ile ilgili kavramlar hakkında detaylı bilgi verilmiştir. Çalışmanın kapsamını oluşturan ısı yalıtım amacı ile kullanılan biyo-bazlı malzemeler üç alt başlıkta ele alınarak yapı sektöründe kullanım olanakları değerlendirilmiş, literatüre katkı olması amacıyla yazınsal çalışma yapılmıştır.

Üçüncü bölümde, çalışmada kullanılacak materyal ve metod anlatılmıştır. EPD belgesine sahip ve belirli ısı iletkenlik değeri aralığında seçilen endüstriyel biyo-bazlı malzemeler tanımlanmış, EPD belgelerinden elde edilen GWP değerleri ve fiziksel özellikleri aktarılmıştır. Malzemelerin uygulanacağı referans bina (Ref-B) tanımlaması yapılmış, Ref-B’ de kullanılmak üzere söz konusu malzemelerin GWP değerleri m³ birim karşılığı olarak dönüştürülmüştür.

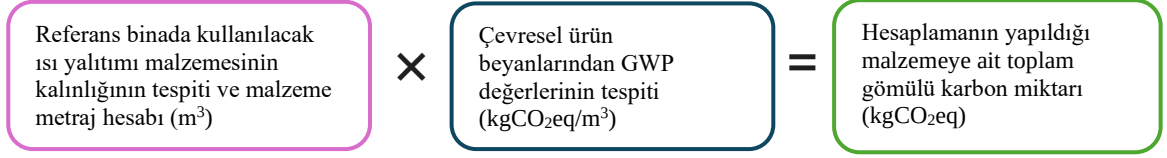
Dördüncü bölümde, materyal bölümünde ifade edilen biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak, Ref-B’de yaklaşık aynı U değerine sahip yapı kabukları oluşturulmuştur. Aynı işlem güncel ısı yalıtımı malzemelerine de uygulanarak, söz konusu her bir malzeme için, yapıda kullanımları halinde metraj hesapları yapılmış, GWP değerleri kullanılarak malzeme gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır. Söz konusu malzemelerin küresel sera gazı emisyonlarındaki katkılarının analizi için ise 2022yılı verileri kullanılarak Türkiye ölçeğinde malzeme gömülü karbon emisyonları ve ulusal sera gazı emisyonlarındaki katkısı hesap edilmiştir.

Beşinci bölümde, çalışma sonuçlarına ve gelecekte yapılacak çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

1.4. Yöntem

Çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada tarama yöntemi ile biyo-bazlı malzemelerin yapıda kullanımının temel amacı ve gerekliliği olan küresel sorunlar ve ilgili kavramların tanımı yapılmıştır. Biyo-bazlı malzemeler hakkında literatüre ve yapı sektörüne veri olması için ilgili malzemeler kullanım potansiyelleri ve fiziksel özellikleri bağlamında incelenmiştir.

İkinci aşamada ise ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon hesaplarına yönelik alan çalışması yapılmıştır. Alan çalışmasında kullanılmak üzere EPD beyanı bulunan biyo-bazlı endüstriyel ısı yalıtım malzemeleri araştırılmıştır. GYM için beyan edilen ısı iletkenlik değerlerinin 0,030-0,044 W/mK aralıklarında olduğu bilinmektedir. Bu sebeple Biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri, GYM ile benzer termal performansa sahip olmaları için 0,030-0,044W/m.K ısı iletkenlik değerleri aralığında araştırılmış, çalışmaya dahil edilen malzeme örneklerinin ısı iletkenlik değerleri 0,032-0,041W/m.K olarak sonuçlanmıştır. Bu koşul ile GYM ve biyo-bazlı malzemelerin karşılaştırılabilir nitelikte malzeme olmalarına dikkat edilmiştir. Malzeme gömülü karbon hesaplarının yapılabilmesi için tek katlı, betonarme karkas referans bina (Ref-B) modülü oluşturulmuştur. Ref-B yapı kabuğunda, EPD belgesine sahip biyo-bazlı malzemeler ve güncel ısı yalıtım malzemeleri (GYM) sırayla kullanılarak, yaklaşık aynı U değerine sahip ($\pm\%1$) yapı kabukları oluşturulmuştur. Her bir ısı yalıtım malzemesi için yapı kabuğunda U değeri koşulunu sağlayan malzeme kalınlıkları tespit edilmiş, Ref-B de kullanımı için gerekli olan toplam malzeme miktarı m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Çalışmanın materyalini oluşturan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerine ait GWP (A1-A3) değerleri , gömülü karbon hesabında kullanılmak üzere m^3 birim karşılığına dönüştürülmüştür. Bu veriler kullanılarak, biyo-bazlı ve güncel ısı yalıtım malzemelerinin Ref-B’de kullanımı sonucu sebep oldukları gömülü karbon değerleri hesaplanmış, malzemeler ve gömülü karbon arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Söz konusu malzemelere ait GWP değerleri, tez eki Ek-1’de yer alan EPD belgeleri ve üretici firmaların teknik detay föylerinden elde edilmiştir. Alan çalışmasında uygulanacak, malzeme gömülü karbon hesabı yöntemi Şekil 1.1 ile ifade edilmiştir.



Şekil 1.1: Malzeme gömülü karbon hesabı yöntemi

Isı yalıtım malzemeleri gömülü karbon değerlerinin, küresel sera gazı emisyonlarındaki etkisinin analizi için ise GYM'nin toplam kullanım miktarlarına ulaşılabilinen en yakın tarih olan 2022 yılı Türkiye verileri baz alınmıştır. 2022 yılında kullanılan toplam GYM miktarları m^3 birim cinsinden ifade edilmiştir. EPS, XPS, cam yünü ve taş yünü malzemelerinin miktarları tez eki Ek-1 de yer alan GYM EPD'leri kullanılarak sebep oldukları gömülü karbon değeri hesaplanmıştır. Aynı yıla ait toplam ulusal sera gazı emisyonu verisine ulaşarak, GYM gömülü karbon miktarının ulusal sera gazı emisyonlarındaki payı hesap edilmiştir. Söz konusu malzemelerin yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması halinde sebep olunacağı gömülü karbon emisyonları ve bu emisyonların toplam ulusal sera gazı emisyonlarına etkisi hesap edilmiş, 2022 yılı mevcut veriler ile karşılaştırmalı analizi yapılmıştır.

1.5. Sınırlılıklar ve Varsayımlar

Bu tez çalışması kapsamında yürütülen alan çalışmasında, referans bina Türkiye mevcut yapı stoku verileri esas alınarak betonarme karkas yapım sistemine sahip, standart büyüklükte tek katlı bir konut yapısı olarak tanımlanmıştır. Türkiye yapı stoku çok katlı binalardan oluşmakta olup, bu yapılarda en çok ısı kaybı dış duvarlardan gerçekleşmektedir. Bu bağlamda yalnızca düşey yapı kabuğu ısı yalıtım malzemeleri çalışma alanına dahil edilmiş olup alan çalışmasında hesaplamalar tek kat ölçeğinde somutlaştırılmıştır. Ulaşılan veriler, kat adedince uyarlama yapılarak çok katlı yapılar için karbon emisyonu sonucuna ulaşılabilir olacaktır. Referans Bina (Ref-B) yapı kabuğu, farklı ısı yalıtım malzemelerinin kullanım senaryoları ile oluşturulmuş, güncel ısı yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, cam yünü, taş yünü) ile endüstriyel biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin uygulamaları varsayılmıştır. Bu doğrultuda, söz konusu ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı ile yaklaşık aynı U değerine ($\pm\%1$) sahip yapı kabukları oluşturulmuş, her bir malzeme için gerekli malzeme kalınlıkları hesaplanmıştır. Çalışmada, TS-825:2024 “Binalarda Isı Yalıtım Kuralları” standardında

tanımlanan 6. iklim bölgesi için önerilen U : $0,250 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ değeri taban değer olarak referans alınmış olup, bu değer aynı zamanda Türkiye genelinde diğer tüm iklim bölgeleri için de yeterli koşulu sağlamaktadır (Çizelge 1.1).

Çizelge 1.1: Bölgelere göre en fazla değer olarak kabul edilmesi tavsiye edilen U değerleri (TS 825:2024)

	Duvar	Tavan/Çatı	Döşeme	Pencere	
	U_D ($\text{W/m}^2\text{K}$)	U_T ($\text{W/m}^2\text{K}$)	U_t ($\text{W/m}^2\text{K}$)	U_p^* ($\text{W/m}^2\text{K}$)	g (-)
1. Bölge	0,45	0,35	0,4	1,8	$\leq 0,45$
2. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8	$\leq 0,45$
3. Bölge	0,4	0,3	0,35	1,8	$\leq 0,45$
4. Bölge	0,35	0,25	0,3	1,8	$\geq 0,55$
5. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8	$\geq 0,55$
6. Bölge	0,25	0,2	0,25	1,8	$\geq 0,55$

Alan çalışmasında kullanılmak üzere incelenen endüstriyel biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinden yalnızca “Çevresel Ürün Beyanı (EPD)” bulunan endüstriyel biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerine yer verilmiş, malzeme özelliklerine ilişkin veriler üretici firmaların teknik föylerinden ve EPD belgelerinde beyan edilen bilgilerden elde edilmiştir.

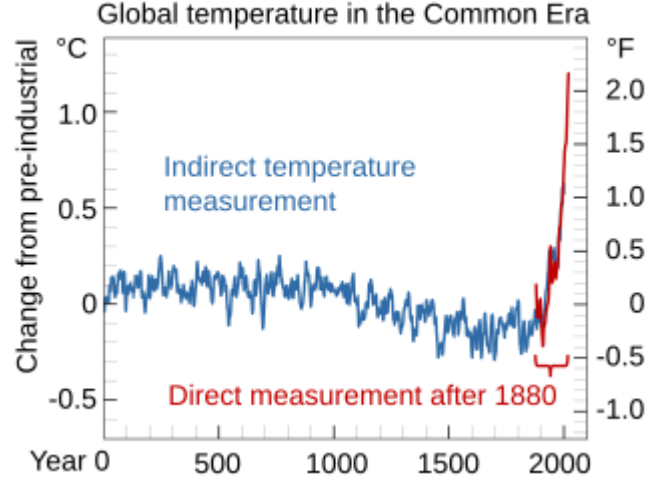
Alan çalışmasının sınırları çerçevesinde, yapı kabuğunun düşey bileşenlerinden (dış duvarlar) yalnızca ısı yalıtım malzemeleri değerlendirmeye alınmış, yapıdaki diğer bileşenler (çatı, döşeme, iç bölmeler vb.) ve yapı kabuğunun diğer katmanları çalışmaya dahil edilmemiştir. Düşey yapı kabuğunda kullanılan yalıtım malzemelerine ait malzeme gömülü karbon değerleri hesaplanırken “beşikten kapıya” yaklaşımı benimsenmiş ve yalnızca A1-A2-A3 (A1-A3) yaşam döngüsü aşamaları (hammadde temini, taşımacılık ve üretim) dikkate alınmıştır. Diğer yaşam döngüsü aşamaları (A4-A5, B, C ve D) kapsam dışı bırakılmıştır. Malzeme gömülü karbon hesabı yapılabilmesi için, EPD belgelerinde beyan edilen “Global Warming Potential (GWP)” verilerindeki birim farklılıklarını gidermek amacıyla tüm ısı yalıtım malzemelerinin GWP değerleri metreküp (m^3) birim bazında hesaplanmış ve karşılaştırmalı analiz bu doğrultuda gerçekleştirilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu bölümde, tez çalışmasının gerekliliğinin daha iyi anlaşılabilmesi için konu kapsamındaki ilgili kavramlar detaylı olarak ele alınmıştır. Çalışmanın ana çerçevesini oluşturan biyo-bazlı malzemeler üzerine ayrıntılı literatür taraması yapılarak, yapılarda ısı yalıtım amacı ile kullanılan türleri belirlenmiş, söz konusu malzemelerin yapı sektöründe kullanımları üzerine literatür araştırmasına yer verilmiştir.

2.1. Küresel Isınma ve İklim Krizi

Küresel ısınma ve iklim krizi terimleri, zaman zaman birbirleri yerine kullanılsa da farklı kavramlardır. Küresel ısınma yerküredeki yüzeysel sıcaklık artışını ifade ederken; iklim krizi, dünya üzerinde iklim sistemindeki bütün gelişmeleri kapsamaktadır. Ancak iklim krizi olarak adlandırılan iklim değişikliğinin temel nedeni ise küresel ısınmadır. Modern çağın en önemli çevresel sorunlarının başında gelen küresel ısınma, günümüzde insanlığı için en büyük tehdit unsurudur. Birincil sebebi ise insanların atmosfere yaydığı sera gazları olduğu bilinen bir gerçektir. Sanayi devrimi ile artan enerji ihtiyacı sonucu fosil yakıt kullanımına yönelinmesi, ormansızlaştırma ve yoğun üretim süreçleri gibi insan faaliyetleri sonucu atmosfere yayılan karbondioksit (CO_2), metan (CH_4), azot oksitler (N_2O) gibi gazlar atmosferde birikerek sera gazı katmanı oluşturur. Oluşan bu katman, doğal olarak bulunan sera etkisinin kuvvetlenmesine sebep olup, güneşten gelen ısıyı hapsederek yerkürenin ortalama yüzey sıcaklığını artırarak küresel ısınmaya, dolayısıyla atmosferin dengesini de bozarak iklim değişikliklerinin yaşanmasına sebep olmaktadır. Şekil 2.1’de paylaşılan grafikte görüldüğü üzere sanayi devrimi sonrası yoğun olarak kullanılmaya başlanan fosil yakıtlar kaynaklı küresel sıcaklıkta kırılım yaşandığı, artışın ivmeli bir şekilde devam ettiği görülmektedir. Söz konusu tablodaki mavi çizgi ile belirtilen sıcaklık değerleri ağaç halkaları, mercanlar ve buz çekirdeklerinden elde edilen vekil veriler doğrultusunda oluşturulmuştur. Kırmızı ile belirtilen değerler doğrudan gözlemlenen verilere aittir (URL-1).



Şekil 2.1. Son 2000 yıla ait küresel sıcaklık değerleri (URL-1)

Küresel ısınmanın etkileri yalnızca ekolojik açıdan değil, ekonomik olarak da ülkeleri tehdit etmektedir. Gıda ve su gibi doğal kaynakların kirliliği ve tükenmesi, biyolojik çeşitliliğin azalması, aşırı hava olayları gibi geniş kapsamlı etkilere sebep olmaktadır. 2016 yılına ait hava kirliliği sebebiyle ölümlerin tahmini olarak 7 milyon olduğu belirtilmiştir (URL-1). Bu nedenle küresel ısınma ile mücadelede uluslararası iş birliği ile sürdürülebilir çözümler izlenmesi son derece önemli olmuştur.

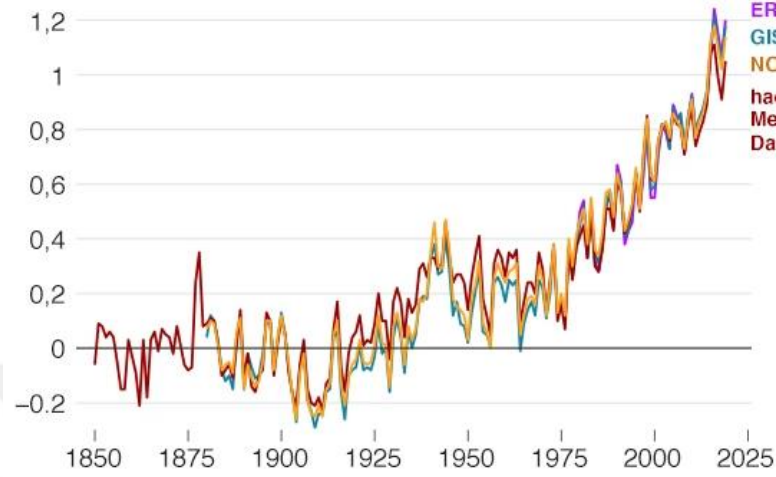
İklim değişikliğine sebep olan başlıca etmenler;

- Kömür, petrol, doğalgaz gibi sera gazı salınımına sebep olan fosil yakıtların bilinçsiz ve yoğun kullanımı
- Ormansızlaşma
- Büyükbaş hayvancılığın artması
- Endüstriyel faaliyetler
- Çimento üretimi gibi faaliyetlerdir.

Fosil yakıtlar (kömür, petrol, doğal gaz) küresel sera gazı emisyonunun %75'inden fazlasını, CO₂ emisyonlarının ise yaklaşık %90'ını oluşturarak küresel ısınmada en büyük paya sahiptir. 2018 yılında, dünya geneli kullanılan enerjinin %80'inin fosil yakıtlardan elde edildiği aktarılmıştır (URL-1).

Dünya meteoroloji örgütü (WMO) tarafından her yıl yayınlanan “WMO Global Annual to Decadal Climate Update” (WMO Küresel Yıllık ila On Yıllık İklim Güncellemesi) adlı raporda, 2024 yılına ait verilerde; Haziran-2023 ile Mayıs-2024 dönemini kapsayan son 12 ayın küresel ortalama sıcaklığının, 1850-1900 sanayi öncesi

döneme ait ortalama sıcaklıktan $1,63^{\circ}\text{C}$ daha fazla olduğu belirtilmiştir. Bu artışın günümüze kadar ki en yüksek seviyede olduğu ifade edilmiştir (Şekil 2.2) (Harboure, 2024).



Şekil 2.2: 1850-2020 yılları arası küresel sıcaklık değerleri (URL-14)

Uluslararası anlaşmaların 2030 iklim hedefleri doğrultusunda küresel sıcaklık artışının 2°C 'yi aşmaması, $1,5^{\circ}\text{C}$ ile sınırlandırılması gerektiği savunulmuş, belirtilen eşik değerin ise 2024 yılında yayınlanan rapordaki veri doğrultusunda şimdiden aşıldığı görülmüştür. Bu artışın kalıcı olmaması için, hedefler doğrultusunda atılacak her bir adımın aciliyeti söz konusudur.

Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) verileri doğrultusunda, 2°C 'ye göre $1,5^{\circ}\text{C}$ 'lik artışın daha güvenli olacağı görülmektedir. *“IPCC’ye göre ortalama yüzey sıcaklığındaki artış $1,5^{\circ}\text{C}$ 'yi bulduğunda %100 artması beklenen sel riski, 2°C 'lik bir ısınmayla %170’e ulaşacak. Ayrıca şiddetli kuraklığa maruz kalan insan sayısı $1,5^{\circ}\text{C}$ 'lik bir artışta 350 milyona, 2°C 'lik bir artışta 410 milyona çakabilir. Aşırı sıcak hava dalgaları ise dünya nüfusunun %9’u yerine %28’ini etkileyebilir. Bununla birlikte her $0,5^{\circ}\text{C}$ 'lik artışın tarımda ürün verimliliğini daha da düşüreceği”, $1,5^{\circ}\text{C}$ ye göre sıcaklık 2°C olduğunda buzullardaki erimenin 100 kat daha fazla olacağı ve sıcaklık artışının 2 dereceyi aşması halinde insan hayatını doğrudan etkileyecek yıkıcı sonuçlar ortaya çıkacağı aktarılmıştır (URL-2).*

2.1.1. Sera Gazı Emisyonları

Küresel ısınmanın temel kaynağının sera gazı emisyonları olduğu bilinmektedir. Sera gazı emisyonlarının temelinde ise; ulaşım, yapı sektöründeki ısıtma-soğutma, ve sanayi üretim faaliyetleri için gerekli elektrik enerjisini üretmede yakılarak kullanılan fosil yakıtlar bulunmaktadır. Ayrıca ormansızlaşma ve çimento, çelik, alüminyum gibi malzemelerin üretimi ile gübre yapımı gibi endüstriyel süreçlerde gerçekleşen kimyasal reaksiyonlar sonucu da sera etkisine sebep olan sera gazları açığa çıkmaktadır. İnsan kaynaklı meydana gelen sera gazı emisyonu miktarının 2019 yılında 59 milyar ton CO₂eq olduğu aktarılmıştır. Bunların %75'ini CO₂, %18'ini metan, %4'ünü nitroz oksit, %2'sini ise florlu gazlar oluşturmaktadır. Metan emisyonlarının başlıca sebepleri olarak; hayvancılık, gübre, kömür madenciliği, atık su, pirinç ekimi, petrol ve gaz çıkarımı olarak gösterilmektedir. Nitroz oksit emisyonlarının başlıca sebebi ise gübrenin mikrobiyal ayrışması olduğu belirtilmektedir (URL-1).

Karbon emisyonları, sebep olduğu olumsuz küresel etkilerin yanında çeşitli sağlık sorunlarına da yol açtığı bilinmektedir. Ortamda bulunan fazla miktardaki CO₂; akciğer hasarları, astım, uyku bozukluğu, göz hastalıkları, yorgunluk-uykusuzluk, kondisyon bozukluğu gibi çeşitli rahatsızlıklara neden olmaktadır. CO₂'nin sağlık üzerindeki etkileri, havadaki miktarına bağlı olarak, Çizelge 2.1'de aktarılmıştır (Kokulu, 2016).

Çizelge 2.1: CO₂ miktarının sağlık üzerindeki etkileri (Kokulu, 2016)

Karbon dioksit(ppm)	Sağlık Etkisi
%8 – 80 000 ppm	Kasılma, çırpınma, felç ve ölüm
%3 – 30 000 ppm	Kas ağrıları, bayılma, kasılma ve ölüm riski
%1.5 – 15 000 ppm	Nefes daralması ve artan kalp frekansı
%0.5 – 5 000 ppm	Hijyenik limit değer
%0.1 – 1000 ppm	İç mekân tavsiye edilen limit
%0.4 – 400 ppm	Normal dış ortam baz değer

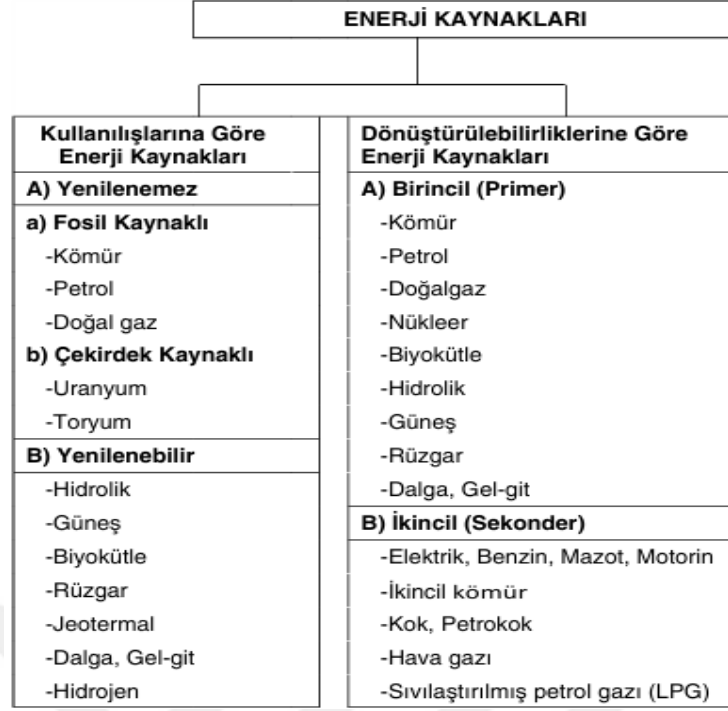
Sera gazı salınımlarında başlıca etken olan enerji tüketimi değerlendirildiğinde; Türkiye'de 2024 yılında tüketilen toplam enerjinin %32,7'si binalarda kullanılmıştır (İZODER, 2024). Günümüzde en çok kullanılan enerji formu ise elektriktir. İkincil enerji olan elektrik; kömür, petrol, doğalgaz, nükleer güç veya yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elde edilmektedir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü, t.y.). Ancak

günümüzde kullanılan bu enerjinin %85'i fosil yakıt kaynaklardan elde edilmektedir (Kırbyık, 2012). Fosil yakıtlar, küresel ısınmanın temel sebebi olan karbon emisyonlarının başlıca kaynağı olarak görülmektedir. Bu kaynakların kullanımı yerine yenilenebilir kaynakların kullanılması, iklim krizi ile mücadelede büyük öneme sahip olup, Türkiye bu enerji kaynakları bakımından yüksek üretim potansiyeline sahiptir. Türkiye bazında, yenilenebilir kaynaklardan enerji üretimi potansiyelleri Çizelge 2.2' de ifade edilmiştir (Cebeci, 2017).

Çizelge 2.2: Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim potansiyeli (Cebeci, 2017)

Yenilenebilir Enerji Kaynakları	2014 Yılı Sonu Kurulu Gücü (MW)	2014 Yılı Elektrik Üretimi (GWh)	Toplam Kurulu Güç Potansiyeli (MW)	2023 Yılı Kurulu Güç Hedefleri (MW)	Yıllık Ortalama Ekonomik Potansiyel Elektrik Üretim Değeri (GWh-yıl)
Hidroelektrik	23.641	40.402	36.000	34.000	140.000
Rüzgâr	3.630	8.367	48.000	20.000	128.000
Güneş	40	60	56.000	5.000	380.000
Jeotermal	405	2.252	1.000	1.000	7.200
Biyokütle	288	1.505	1.000	1.000	5.000
Toplam	28.004	52.586	142.000	61.000	660.200

TEİAŞ verilerine göre Türkiye 2020 yılında 305 milyar kWh elektrik enerjisi tüketimi gerçekleştirmiştir. Kabul görmüş eski tarihli hesaplamalara göre güneş enerjisinden her yıl üretilebilecek elektrik miktarı ise 380 milyar kWh olarak bilinmektedir (Cebeci, 2017). Bu veriler doğrultusunda görülmektedir ki tek başına güneş enerjisi ile dahi ülkemizde ihtiyaç duyulan enerji miktarı karşılanabilecek potansiyeldedir. Fosil yakıt kaynaklı enerjiye alternatif yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbon emisyonlarını yüksek oranda azaltarak küresel etkinin azaltılmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca yenilenebilir kaynaklarla kendi enerjimizi üretmemiz, enerjide dışa olan bağılılığımızı da azaltarak milli gelirin artmasını ve ülkemizde istihdam kaynağı olmasını sağlayacaktır. Kullanılan enerjinin, üretim kaynaklarına göre sınıflandırılması Şekil 2.3 ile ifade edilmiştir. Tabloda belirtilen yenilenebilir kaynaklar, çevresel etki bağlamında en güvenilir enerji kaynakları olarak belirtilmektedir.



Şekil 2.3: Enerji türleri sınıflandırması (Koç ve Kaya, 2015)

2.1.2. Yapı Sektörü ve Küresel Isınma İlişkisi

Küresel boyutta kaynak kullanımının büyük bir kısmı yapı sektörü tarafından gerçekleştirilmektedir. Şehirleşmenin hızla arttığı günümüzde barınma sorunu, çimentosuz giderilecek bir noktada olmadığı için beton, dünyada en çok kullanılan malzemelerden biridir. Dünyada karbon salınımının yüzde 8'i çimento sektörüne aittir. Bu orana inşaat ve yapı endüstrisinin katkısı eklendiğinde karbon salınımı yüzde 39'a çıkmaktadır. Ayrıca, yapı sektörü hammadde kaynaklarının %30'unu, enerji kaynaklarının ise %40'ını tüketmektedir (Çankal vd., 2021).

Küresel çapta gerçekleştirilen yıllık enerji tüketiminin yaklaşık yarısı yapıların üretilmesi, işletilmesi ve bakımı gibi süreçlerde kullanılmaktadır. Büyük oranı fosil yakıt kaynaklı olan bu enerjinin kullanımı sonucu sera etkisine sebep olan CO₂ salınımı meydana gelmektedir. İklim değişikliğine sebep olan etmenler arasında en büyük paya sahip nedenlerin başında fosil yakıt kaynaklı enerji tüketimi gelmektedir (Koç, vd. 2022). Yapı sektöründe kullanılan enerjinin ise yaklaşık %85'i fosil yakıt kaynaklıdır (Kırbıyık, 2012)

Koçak, (2022) çalışmasında, konutlarda tüketilen enerjinin büyük çoğunluğunun ısıtma için harcanan enerji olduğunu belirtmiş, 2020 yılında Avrupa'da harcanan enerjinin %27'si konutlar tarafından kullanılmış, bu enerjinin ise %62,8'inin ısıtma

amacı ile kullanıldığını aktarmıştır. Ülkemizde ise 2018 yılında; yıllık harcanan enerjinin %21'i konutlarda kullanılmış, bu enerjinin ise %48'inin ısıtma amacı ile tüketildiğini belirtmiştir.

Abu-jdayil, vd. (2019) yapmış oldukları çalışmada, 2016 yılında dünya geneli tüketilen enerjinin %39,5'inin binalar tarafından ısıtma ve soğutma için kullanıldığını, kullanılan elektrik enerjisinin ise %70'inin fosil yakıt kaynaklı olduğunu ve binalara uygulanacak yalıtım uygulamalarının enerji kayıplarını önemli ölçüde azaltacağını ve karbon emisyonunu düşüreceğini aktarmıştır.

HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemleri, yapılarda her yıl yaklaşık olarak 441 milyon ton sera gazı emisyonuna neden olmaktadır (Ekoyapı, 2021).

Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre yapılar ve inşaat sektörü; küresel nihai enerji tüketiminin yaklaşık %36'sını ve enerji ile ilgili CO₂ emisyonlarının %39'unu oluşturmaktadır. Fosil yakıtların kaynak olarak kullanılması enerji maliyetlerini artırmakla beraber çeşitli sağlık sorunları, hava kirliliği ve sera gazı emisyonlarının artmasına da sebep olmaktadır. Çevresel ve ekonomik açıdan sürdürülebilir bir gelecek için enerji verimli tasarımlar yapılması, kullanılan enerjinin ise sürdürülebilir ve yenilenebilir kaynaklardan olması önemlidir.

Aydın (2016), enerji verimliliği üzerine yapmış olduğu çalışmasında enerji konusunun, sürdürülebilirliğin her alt başlığında yer aldığını, ülkelerin gelecek yıllara ait enerji verimliliğine ilişkin hedef planlarını aktarmıştır. Enerji verimliliğin aslında sürdürülebilirlik konusunda en büyük paya sahip olduğunu ve bu doğrultuda yapılabilecek ufacık alışkanlık değişimlerinin bile enerji tüketimini arttırıp azaltmada önemli olduğunu vurgulamıştır. Örnek olarak; İngiltere'de geçmiş on yılda sadece iç mekân ısısının 3 derece artırılmasıyla harcanan enerjide %20'lik bir artış olduğunu ifade etmiştir.

Atılğan, (2022) çalışmasında; küresel çapta enerji tüketiminin üçte birinin, toplam sera gazı emisyonlarının ise beşte birinin yapıları çevre tarafından tüketilen enerji kaynaklı olduğunu aktarmıştır. Tüketilen enerji ve kaynak miktarına göre yapı sektörünün en büyük etkiye sahip sektör olduğu belirtilmiştir.

Dikmen, (2011), yapmış olduğu çalışmasında yapı sektöründe dünya genelinde tüketilen enerji miktarının %50'sinin ve suyun %42'sinin yapım ve kullanım aşamasında tüketildiğini, ek olarak küresel ısınmaya sebep olan sera gazlarının

%50'sinin, içme sularının kirlenmesinin %40'ının, hava kirliliğinin de %24'ünün sebebinin yapılarla ilişkili olduğunu aktarmıştır.

Ergün, (2022) yapmış olduğu çalışmada yapı ve inşaat sektörünün küresel emisyonlardaki katkısının %40 olduğunu belirtmiştir. Ayrıca inşaat sektöründe tüketilen enerji ve salınan karbon emisyonlarının önemli bir kısmının yapı malzemelerinin üretim süreci ile doğrudan ilişkili olduğunu, sürdürülebilirliğin sağlanması için yapı malzemelerinin gömülü enerji ve karbon miktarlarının azaltılması gerektiğini aktarmıştır.

Yadaw ve Agarwal, (2021) yapmış oldukları çalışmada inşaat sektörünün, küresel enerji tüketiminin %40'ından sorumlu olduğunu, hammadde kaynaklarının %40'ının inşaat sektörü tarafından tüketildiğini ve atmosfere salınan CO₂'nin %50'sinin inşaat sektörü ile ilişkili olduğunu belirtmiştir.

İslam ve Bhat, (2019) ise çalışmalarında; yapıların küresel enerji tüketiminin %40'ından, küresel kaynakların tükeniminin %40'ından, küresel su kullanımının %25'inden, toplam CO₂ emisyonun ise %36'sından sorumlu olduğunu aktarmıştır. Ayrıca ısı yalıtımının enerji tüketimini azaltmada hayati önem taşıdığını, yapıya uygulanacak verimli yalıtım uygulaması ile tüketilen enerjide %65 tasarruf sağlanabileceğini belirtmiştir.

Yapı sektörünün tüm dünyadaki sera gazı emisyonlarındaki payı %33, tüm dünyadaki sera gazı emisyonlarında gömülü karbon payı ise %70'tir (URL 3). Uluslararası Enerji Ajansı 2019 raporuna göre ise küresel CO₂ emisyonlarının %11'ini inşaat malzemelerinin üretim süreçleri oluşturmak üzere, %39'unu yapı çevre ve inşaat sektörü oluşturmıştır (Vural Grimoux, 2024)

Tüm bu veriler doğrultusunda, yapı sektörünün küresel sorunlardaki katkısının büyüklüğü anlaşılmaktadır. Yapı sektörü, iklim krizi ile mücadelede ele alınacak başlıca etkenlerden biridir ve uygulanacak ekolojik/ sürdürülebilir çözümler ile sebep olunan küresel etkileri iyileştirmede yüksek potansiyele sahiptir. Yapılacak küçük değişiklikler ile dahi önemli oranlarda iyileştirme sağlanabilmektedir. Mevcut yapıların sebep olduğu küresel tahribatı azaltmak ve yeni yapılacak yapılar kaynaklı oluşacak küresel zararları minimize etmek için, küresel ısınmanın temel sebebi yüksek karbon emisyonuna neden olan güncel yapı malzemeleri ve yapım teknikleri yerine enerji tüketimi düşük, ekolojik ve sürdürülebilir çözümler geliştirilmeli ve uygulanmalıdır.

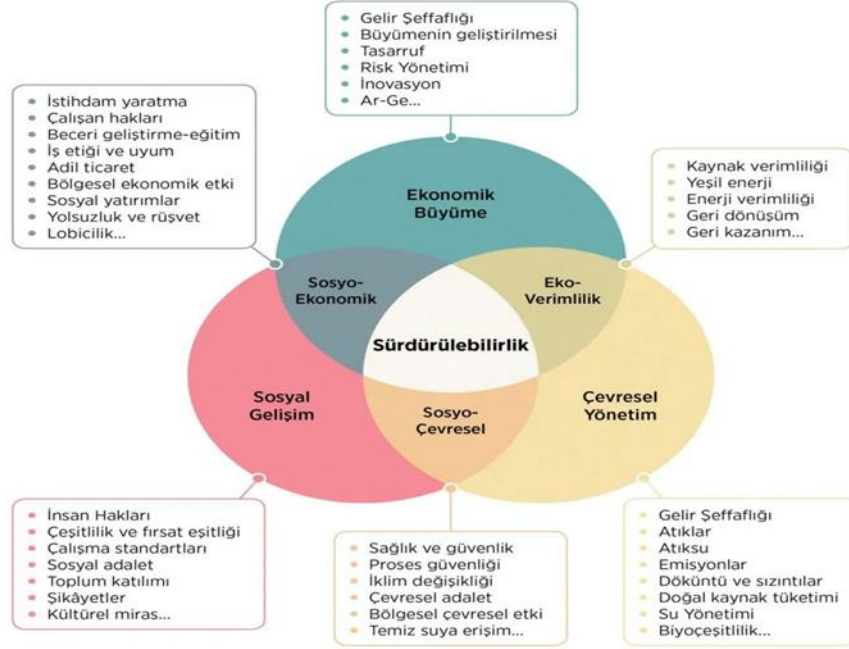
Ayrıca uluslararası anlaşmaların 2030 İklim Hedefleri arasında; küresel ısınmada 1,5°C artış sınırını aşmamak, bunun için de 2030'da 2010'a göre küresel

emisyonları %45 azaltmak, 2050 yılında ise net sıfır emisyon hedefine ulaşmak gerektiği vurgulanmaktadır. Tüm bu hedefler doğrultusunda “hızlı ve geniş kapsamlı dönüşümler” yapılması gerektiği belirtilmiştir. Küresel ısınmada 1,5°C sınırının ise beklenenden çok daha kısa sürede aşılma üzere olduğu bilinmektedir. Bu durumun sebebi ise alınan tedbirlerin ve çözümlerin yetersiz ve zayıf kalması görülmektedir. Küresel iklim hedefleri doğrultusunda; küresel sorunlarda en büyük paya sahip olan yapı sektöründe, enerji tüketimi ve karbon emisyonunu azaltmak için doğa ile uyumlu malzemeler tercih edilmesi, sektörün sebep olduğu tahribatın büyüklüğü karşısında gereklilik olarak görülmeye başlanmış, son birkaç on yılda konu üzerine çalışmalar yoğunlaştırılmıştır. Yüksek enerji tüketimine sebep olan ve yüksek somutlaşmış karbona sahip yapı malzemelerinin kullanıldığı mevcut düzen devam ederken, yapılan küçük önlemler ile küresel sorunların önüne geçilemeyeceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, günümüzde kullanılan yüksek olumsuz çevresel etkiye sebep olan güncel yapı malzemelerine alternatif olarak biyo-bazlı doğal yapı malzemelerinin kullanımı önem kazanmaya başlamıştır. Biyo-bazlı malzemeler; yenilenebilir kaynaklardan üretilir, dönüştürülebilir, sürdürülebilir, karbon tutucu özellikleri sayesinde karbon negatif özelliktedir. Gömülü karbon miktarları kaynaklı küresel emisyonun oldukça yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda biyo-bazlı malzemeler; iklim hedefleri içerisinde yer alan karbon emisyonu azaltma koşulunu sağlamak için kullanım karbonu ile gömülü karbon değerini de düşürebilecek önemli potansiyele sahip malzemeler olarak görülmektedir (Bkz: Bölüm 2.5).

2.1.3. Sürdürülebilirlik

Üretim ve tüketim hizmetlerindeki düzenin sebep olduğu küresel sorunlara karşılık, geleceğe yönelik oluşan kaygılar doğrultusunda yeni bir kalkınma modelinden söz edilmeye başlanmış, sürdürülebilirlik kavramı her alanda kullanılmaya başlanmıştır.

Sürdürülebilirlik; kaynakların maksimum oranda verim ile kullanımını destekleyen, minimum enerji- iş gücü ve tüketim ile gelecek nesillerin ihtiyaçlarını giderecekleri kaynakları tüketmeden, onların haklarını da koruyarak günümüz ihtiyaçlarını karşılayan, doğa ve canlı ile uyumlu bir yaklaşımdır. Çevresel, ekonomik ve sosyal olmak üzere üç temel ilkeye dayanmaktadır (Şekil 2.4) (Özurgancı Eşkin, 2019).



Şekil 2.4: Sürdürülebilirlik kavramı alt başlıkları (Özurgancı Eşkin, 2019)

Sürdürülebilirlik kavramı ilk olarak 1987 yılında Dünya Çevre ve Kalkınma Komisyonu'nun yayınlamış olduğu "Ortak Geleceğimiz" adlı rapor ile kullanılmıştır. Bu rapor küresel sorunlara çözüm üretmek amaçlı, ekonomik gelişim ve küreselleşmenin çevreye olumsuz sonuçlarını bildiren bir rapordur (Özurgancı Eşkin, 2019). Sürdürülebilirlik kavramı mimarlıkla beraber hep var olmuşsa da başlarda kullanılan malzemeler ve şartlar gibi durumlardan ötürü adı konmasına gerek duyulmamış, ancak 20. yy. sonlarında şartların değişmesi, kaynakların hızla tükenmesi, teknikler ve kullanılan malzemeler gibi sebeplerden ötürü bilinçli bir şekilde üstünde durulmuş, ekolojik mimari, yeşil mimari vb. gibi isimlerle de adlandırılmıştır (Berberoğlu, 2009). Sürdürülebilirlik kavramı mimarinin üretimden yapımına, kullanımından geri dönüştürülmesine kadar tüm süreci kapsamaktadır.

Ekonomik, Sosyal, Kültürel sürdürülebilirlik gibi birçok alanda sürdürülebilirlikten bahsetmek mümkündür. Sürdürülebilirlik yaklaşımının sağlanabilmesi için sürdürülebilir kalkınma ilkeleri takip edilmektedir. Bu ilkeler genel olarak Şekil 2.5 ile ifade edilmiştir (Şenel, 2010).

Sürdürülebilir Kalkınma İlkeleri	
Çevresel	- Yeryüzünün canlılığının ve çeşitliliğin korunması - Yaşam destek sistemlerinin korunması - Yenilenebilir kaynakların sürdürülebilir kullanımı - Yenilenemeyen kaynakların kullanımının en aza indirgenmesi - Çevreye ve bütün yaşayan canlıların sağlığına verilen zararın ve kirliliğin en aza indirgenmesi - Kültürel ve tarihi çevrenin korunması
Ekonomik	- Uluslar ve nesiller arası eşitliğin teşvik edilmesi - Eşit olmayan değiş-tokuştan kaçınılması - Bir grubu zenginleştirmek için bir diğer grubun yoksullaştırılmaması - Gerçek maliyet fiyatlandırılmasının sağlanması - Etik olan tedarik ve yatırım politikalarının teşvik edilmesi - Maliyet ve yararların eşit dağıtımının desteklenmesi - Yerel ekonomilerin desteklenmesi
Sosyal	- İnsan yaşam kalitesinde gelişime izin verilmesi - Halklar arasında sosyal adaletin desteklenmesi - Kültürel ve sosyal bütünlüğün hesaba katılması - Kendine güven ve hür iradenin yükseltilmesi - Bireyselden uluslararasına kadar bütün seviyelerde karar almada işbirliğinin ve katılımın cesaretlenmesi - Halkın yetkilendirilmesi ve kapasite artırımı için fırsatlar sağlanması.

Şekil 2.5: Sürdürülebilir Gelişme İlkeleri (Hoşkara, 2007; Du Plessis, 1998 akt; Şenel, (2010)

Yapı sektörü, doğal kaynakların tüketiminde oldukça büyük bir paya sahiptir. Bu açıdan yapıda sürdürülebilirlik sağlanması, sürdürülebilir kalkınma için büyük önem arz etmektedir. Sürdürülebilirlik için yapının tasarımından inşasına, kullanım aşamasındaki süreçten yapının geri dönüşümüne kadar tüm süreci kapsayan bir bütün ile ele alınarak sürdürülebilir tasarıma ulaşılmalıdır. Dikmen (2011), yapmış olduğu çalışmada, sürdürülebilir yapı tasarımı ölçütlerini aşağıdaki gibi ifade etmiştir;

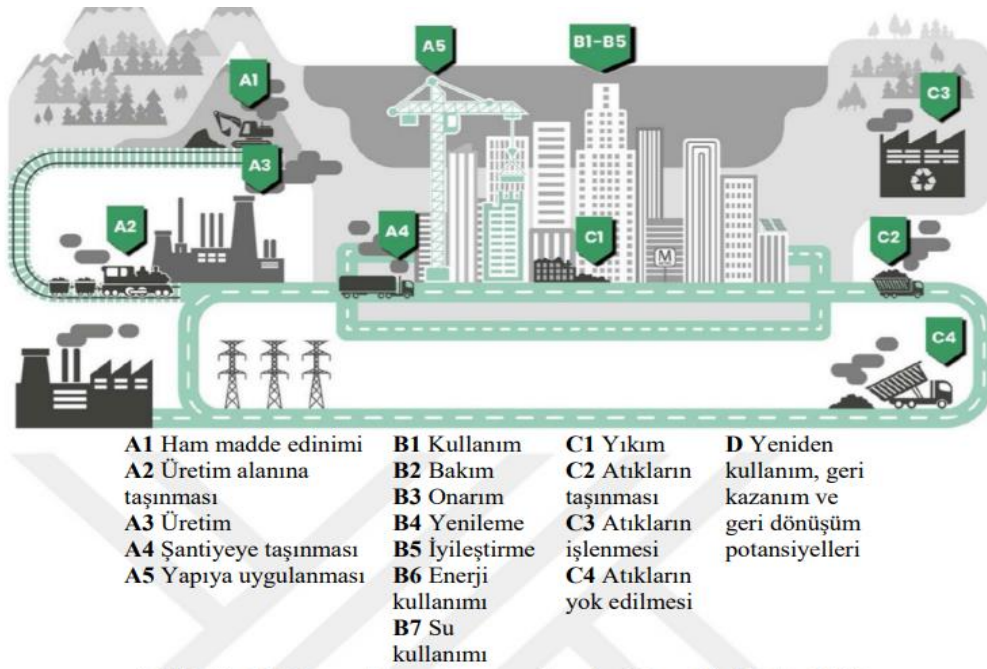
- “Yapı kabuğu ve yapı formunun konum, topoğrafya, iklim, manzara, hâkim rüzgâr vb. içeren fiziksel çevre verilerine uygun biçimlendirilerek enerji verimliliği sağlanması,
- Kaynak korunumu, enerjinin etkin ve verimli kullanılması ve alternatif enerji kullanımının yaygınlaştırılması,
- Enerjinin, bakım ve onarım maliyetlerinin, yapıyla ilişkili hastalıkların, atık ve kirliliğin azaltılması ve atıkların değerlendirilmesi,
- Esnek ve değişen koşullara uyum sağlayabilen, uzun kullanım ömrüne sahip yapı tasarımı ile yapılardan beklenen performans düzeyinin arttırılması,

- Sürdürülebilir, geri dönüştürülebilir ve çevreye duyarlı yapı malzemeleri kullanarak yapı ürünlerinin verimliliğinin ve konforunun, yapı ve bileşenlerinin dayanıklılığının ve esnekliğin artırılması,
- Zararlı ve tehlikeli maddelerden sakınılması ve yapıyla ilgili sağlık ve güvenlik risklerinin en aza indirgenmesi,
- Sağlıklı mekânlar yaratılması ve iç hava kalitesi sağlanması,
- Sunduğu nitelikli ve yaşanabilir çevreler ile kullanıcı memnuniyeti sağlayan mekânların elde edilmesi ve
- Biyolojik çeşitliliğin korunması ve habitatın korunumu.”

Yapı tasarımlarının, bu ölçütler doğrultusunda çevreye duyarlı yapı malzemeleri ve yapım teknikleri ile sürdürülebilir yapı tasarımı hedefine ulaşılacağını belirtmiştir (Dikmen, 2011).

2.2. Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD) olarak bilinen Life Cycle Assessment (LCA) analizleri; bir ürünün üretim, tüketim (kullanım) ve bertarafı gibi beşikten mezara anlayışıyla tüm aşamalarında (Şekil 2,6), girdilerin ve çıktıların derlenerek değerlendirildiği, bu bağlamda sebep olunan çevresel etki ve kirliliklerin ISO 14040/44 standartlarına uygun olarak hesaplandığı bilimsel bir yöntemdir (Yılmaz, 2023).



Şekil 2.6: Bina yaşam döngüsü aşamaları (Vural Grimoux, 2024)

YDD ile bir ürün veya hizmetin çeşitli kategorilerde çevresel etkileri değerlendirilmektedir. YDD'nin kapsamını oluşturan süreç dahilinde sebep olunan emisyonlar, ilgili kategori bazında çevresel etki potansiyeline dönüştürülerek çevresel etki hesabı yapılmaktadır. Hesaplanan çevresel etki kategorileri aşağıda ifade edilmiştir;

- **Küresel Isınma Potansiyeli-GWP (kgCO₂eq);** ilgili süreçte salınan karbondioksit, metan, azot oksit ve florlu gazlar gibi sera gazı emisyonlarının, karbondioksit eşdeğeri (CO₂eq) olarak ölçüldüğü etki kategorisidir.
- **Asidifikasyon Potansiyeli-AP (kgSO₂eq);** sülfür ve nitrojen oksit gibi emisyonların, atmosferde suyla reaksiyona girmesi sonucu oluşan asit yağmurlarının su ve toprağın pH seviyesini düşürme (asitleştirme) potansiyelini gösteren etki kategorisidir.
- **Ötrofikasyon Potansiyeli-EP (kgPO₄eq);** azot ve fosfor sebebi ile oluşan besin kirliliği kaynaklı sudaki oksijen miktarının azalma potansiyelini gösteren etki kategorisidir.
- **Ozon Aşındırma Potansiyeli-ODP (kgCF₂eq);** stratosferik ozon tabakasındaki ozonun yok olma (ozon tabakasının delinmesi) potansiyelini gösteren etki kategorisidir (Yılmaz, 2023).

YDD, bir yapının bütün yaşam döngüsü kaynaklı çevresel etki hesabını yaparken, dört farklı yaklaşım ile bu etkileri ele almaktadır. Bu yaklaşımlar;

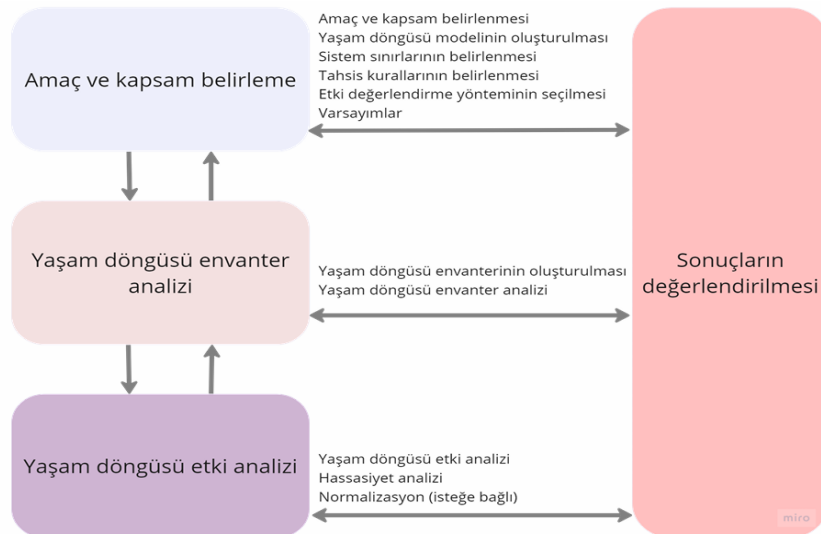
- Beşikten-Kapıya (Cradle to gate) (A1-A2-A3=A1-A3): Yapı malzemelerinin hammadde temini, üretim tesisine nakliyesi ve işlenme süreçlerini ifade etmektedir.
- Beşikten- Devreye alma (Cradle to practical completion) (A1-A5): yapının kullanım için hazır hale getirildiği süreçleri kapsamaktadır.
- Beşikten-Mezara (Cradle to grave) (A1-A5, B1-B7, C1-C4): yapının üretim, kullanım ve kullanım ömrü sonucu dahil tüm aşamalarını kapsamaktadır.
- Beşikten-Besiğe (Cradle to cradle) (A1-A5, B1-B7, C1-C4, D): yapının üretim, kullanım, kullanım ömrü sonu ve yapı malzemelerinin döngüsel ekonomiye dahil edildiği tüm süreçleri kapsamaktadır (Şekil 2.7) (Duru, 2024).



Şekil 2.7: Yapı yaşam döngüsü karbon aşamaları (Duru, 2024)

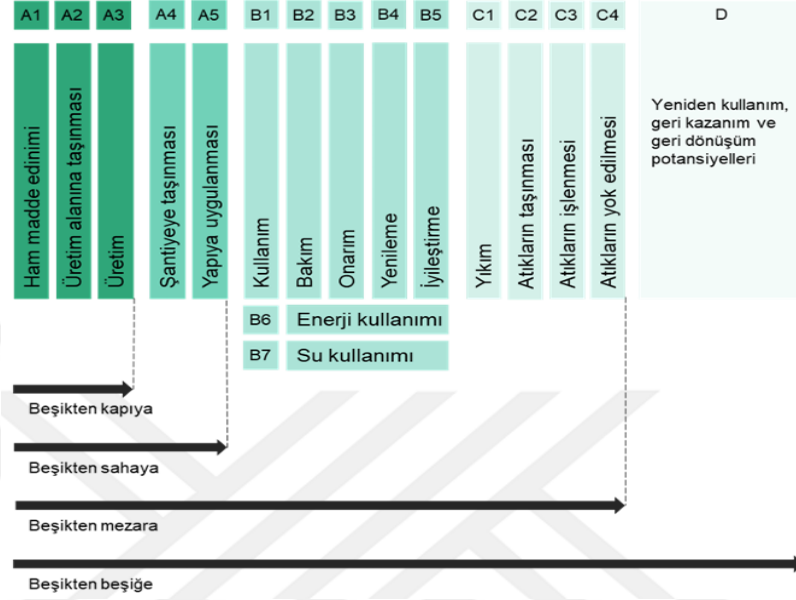
YDD Metodolojisi:

Yaşam döngüsü değerlendirmesi metodolojisi dört aşamaya dayanmaktadır (Şekil 2.8) (Yılmaz, 2023).



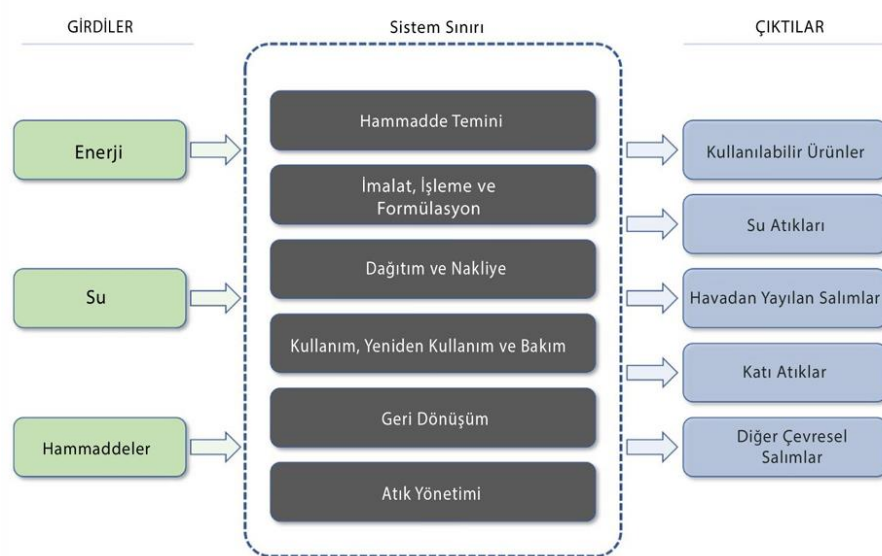
Şekil 2.8: YDD Metodolojisi (Yılmaz, 2023)

- **1. Amaç ve kapsam belirleme:** YDD için amaç ve kapsam (Şekil 2.9) tanımlanır. YDD sonucu elde edilen verilerin sistemler arası karşılaştırması aynı işlevsel birim ile ölçülen aynı işlevler bazında yapılmalıdır.



Şekil 2.9: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi kapsamı (Vural Grumoux, 2024)

- **2. Yaşam döngüsü envanter analizi:** bir ürüne ait sistemin girdi ve çıktılarını ölçmek amaçlı veri toplamayı ve hesaplama prosedürlerini içerir (Şekil 2.10).



Şekil 2.10: Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi envanter analizi (Yılmaz, 2023)

- **3. Yaşam döngüsü etki analizi:** envanter sonuçları kullanılarak, her bir malzeme veya süreç için çevresel etkinin hesaplanması ve potansiyel çevresel etkilerinin öneminin değerlendirilmesi amaçlanmaktadır.
- **4. Değerlendirme:** yapı yaşam döngüsü analizi için en önemli ve son aşamadır. Elde edilen sonuçlar bilgi ve tavsiyelere dönüştürülür. (Yılmaz, 2023)

Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD)'nin Faydaları;

- İki veya daha fazla ürün arasında, çevresel etki bağlamında karşılaştırma imkânı sunar.
- Bir ürün veya hizmetin çevresel kirliliğe ve mevcut kaynaklara olan etkilerinin bütünsel olarak anlamaya, böylelikle ürünlerin gerçekten sürdürülebilir olup olmadığını değerlendirmeye olanak tanır.
- Bir ürüne ait yaşam döngüsü aşamalarının çevresel etkileri hakkında bilgi sağlaması ile bilinçli tercihler yapılmasına katkı sağlar, böylelikle karbon azaltma hedefine destek olur.
- Sürdürülebilirlik ilkeleri doğrultusunda ürün tasarımı ve pazarlamasında katkı sunar.
- Tüm yaşam döngüsüne odaklanıldığı için “Döngüsel Ekonomi”ye katkı sağlar.

Döngüsel Ekonomi; bir ürünün yaşam döngüsü sonunda başka bir ürünün yaşam döngüsünde girdi olarak kullanılması ve piyasada mümkün olan en uzun süre ve yüksek kalitede kullanımına devam edilmesi temeline dayanmaktadır (Yılmaz, 2023).

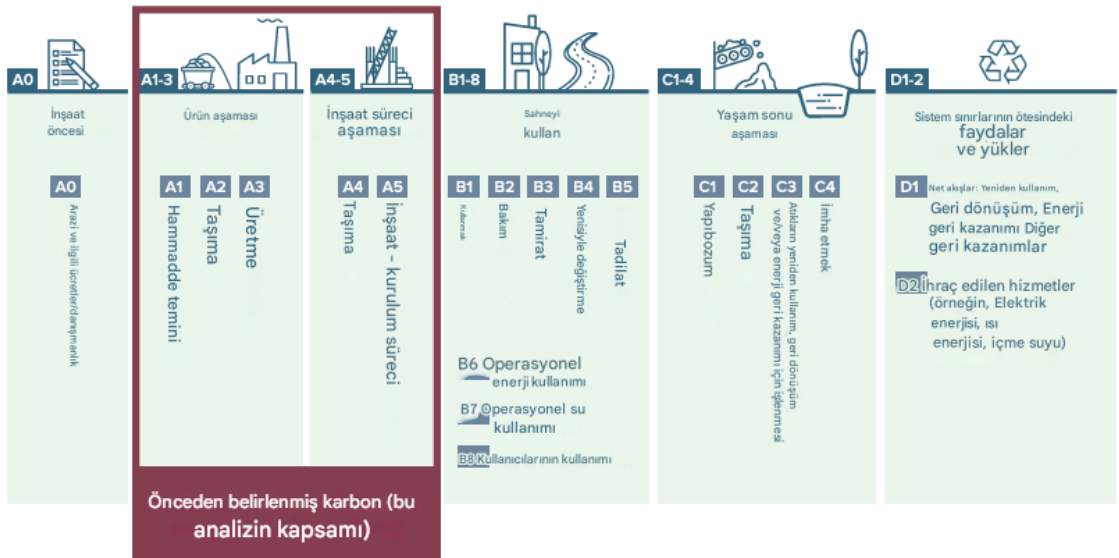
Yapı yaşam döngüsü değerlendirmesinde, yapı kaynaklı oluşan toplam karbon emisyonları; Gömülü Karbon ve Kullanım Karbonu olmak üzere iki aşamada değerlendirilmektedir (Şekil 2.11).



Şekil 2.11: Yapının yaşam süreçleri ve karbon emisyonları (Duru, 2024)

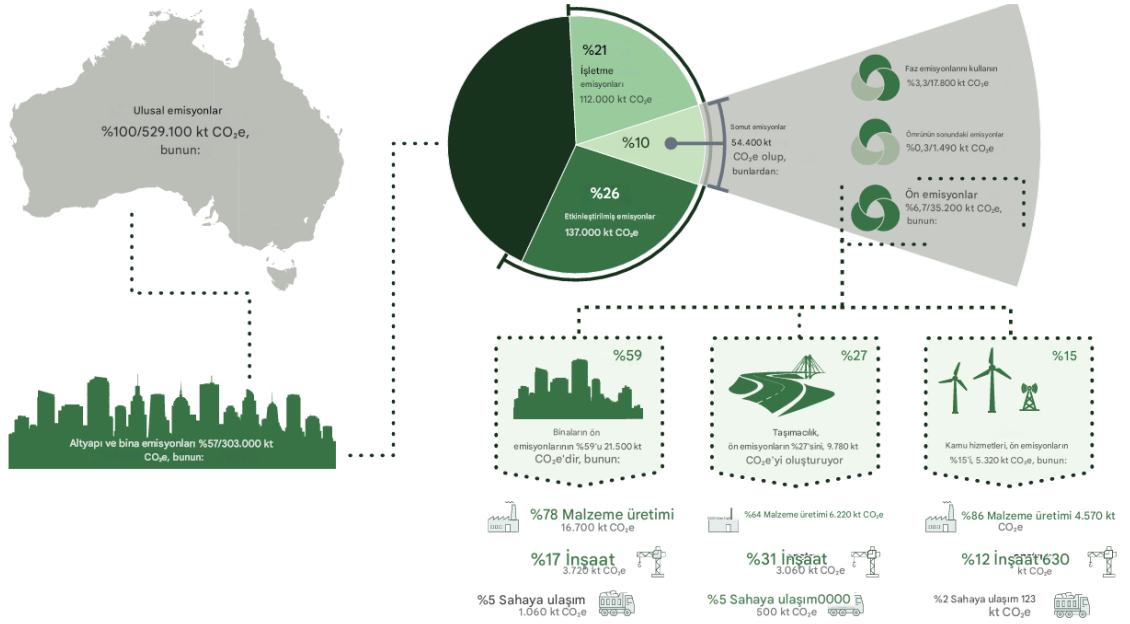
2.2.1. Gömülü Karbon (Embodied Carbon)

Yapı üretim sürecinde harcanan enerji kaynaklı oluşan emisyonları ifade eder. Yapı malzemesi hammadde çıkarımı, temini, işlenmesi, nakliyesi ve yapı üretim süreci dahil, bakım-onarım ve yapı geri dönüşüm aşamalarında sebep olunan toplam sera gazı emisyonlarını ifade etmektedir. Binaların yapımına başlamadan önceki süreçte gerçekleşen, yapı malzemesi hammadde temini-taşınması-üretimi ve inşası kaynaklı sebep olunan karbon emisyonları ise “Ön karbon (UpFront Carbon)” olarak ifade edilmekte. A1-A2-A3 “beşikten-kapıya” ve A4-A5 yaklaşımını kapsamaktadır (Şekil 2.12) (AO, 2024).



Şekil 2.12: YDD analizi aşamaları ve UpFront(ön karbon) evresi (AO, 2024)

Gömülü karbonun büyük çoğunluğunu taşıyıcı sistem, daha sonra yapı kabuğu elemanlarından ısı yalıtımı malzemeleri oluşturmaktadır (Magwood, vd. 2021). Gömülü karbon değeri kullanım karbonunda olduğu gibi sonradan değiştirilebilir-azaltılabilir bir değer olmadığından, yapı tasarım aşamasında dikkate alınması, küresel sorunlar bağlamında önem arz etmektedir. Avustralya’da yayınlanan rapora göre, ulusal emisyonların %10’unu gömülü karbon oluşturmaktadır. Gömülü karbonun ise %59’unun binalar ile ilişkili olduğu aktarılmıştır (Şekil 2.13) (AO, 2024).



Şekil 2.13: Avustralya ulusal karbon emisyonlarında altyapı ve bina kaynaklı emisyon oranları (AO, 2024)

2.2.2. Kullanım Karbonu (Operational Carbon)

Yapıların kullanıcılar tarafından kullanıma başlayıp, kullanım ömrü bitinceye kadarki süreçte, enerji kaynaklı karbon salınımına sebep olan tüm eylemler sonucu meydana gelen karbon miktarını ifade eder.

2.3. Isı Yalıtımı

Yalıtım; iki mekân arası ısı, ses ve su aktarımını kontrol altına almak/ önlemek için uygulanan işlemlerdir. Yalıtım uygulamaları ile yapıları dış faktörlerden koruyarak kullanım ömürlerini uzatmak ve kullanıcılara güvenli, konforlu mekanlar sunmak

amaçlanmaktadır (Mercan, 2016). Farklı ısı değerlerine sahip iki mekân arası ısı transferini önlemek amacı ile yapılan uygulamalara ise ısı yalıtım uygulamaları denir. Isı yalıtımı uygulaması ile yaz ve kış mevsimlerinde iç ve dış mekân ısı geçişi önlenerek ısıtma ve soğutma için çok daha az enerji harcanması sağlanır. Dünya çapında tüketilen enerjinin yaklaşık olarak %45'i binalar ile ilişkilidir. Bu enerjinin ise yaklaşık olarak %80'i yapılarda ısıtma ve soğutma amacı ile tüketilmektedir (Mercan, 2016). Çevresel etkiyi azaltmak için yapılara uygulanacak olan yeterli nitelikte yalıtım malzemesi ile kullanım enerjisinde %60'a varan oranlarda tasarruf sağlanması mümkündür (Koçak, 2022). Bu enerji tasarrufu, sebep olunan kullanım karbonunun da düşürülmesine katkı sağlamaktadır. Çizelge 2.3 ile yapıların ısı yalıtımsız ve ısı yalıtımlı durumlarında tükettikleri enerji kaynaklı sebep olunan hava kirletici etkenleri belirtilmiştir (Kulaksızoğlu, 2006). Ayrıca iç ve dış mekân arası ısı transferi önlenerek yoğunlaşmanın önüne geçilir, yapıda rutubet önlenir. Binayı dış etmenlerden koruduğu için yapı ömrünü uzatmada da katkısı bulunmaktadır (URL-4).

Çizelge 2.3: Elektrik üretiminde yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim potansiyeli (Kulaksızoğlu, 2006)

Zararlı Maddeler	Mevcut/Yalıtımsız		Isı Yalıtımlı	
	İstanbul	Elazığ	İstanbul	Elazığ
CO ₂ Ton/Yıl	11,0	16,6	2,9	4,1
SO ₂ kg/Yıl	1,8	2,8	0,5	0,7
NO _x kg/Yıl	21,0	31,9	5,7	7,9
CO kg/Yıl	7,2	10,9	1,9	2,7
C _x H _y kg/Yıl	1,5	2,4	0,4	0,6
Partikül kg/Yıl	5,3	8,0	1,4	2,0

Isı yalıtım malzemelerinin özelliklerini ifade eden bazı terimler bulunmaktadır. Bu terimler;

- **λ (W/mK) Isıl İletkenlik Katsayısı**

Isıl iletkenlik katsayısı “lambda (λ)”, bir malzemenin fiziksel ve kimyasal yapısına bağlı olarak o malzemenin ısıyı ne kadar ilettiğini ifade eder. λ (W/mK) değeri, ısı yalıtım malzemesinin birbirine dik 1 m mesafedeki 1 m²'lik yüzeyi arasından, sıcaklık farkı 1°C olduğunda geçen ısı miktarını ifade eder. Bir malzemenin ısı iletkenlik değeri ne kadar küçük ise ısıyı o kadar az iletir, değer küçüldükçe malzemenin ısı yalıtım performansı da o kadar artar (URL-5). λ değeri 0,065W/m.K

‘dan küçük olan malzemeler ısı yalıtım malzemesi, büyük olanlar ise yapı malzemesi olarak adlandırılmaktadır (Kulaksızoğlu, 2006)

- **U (W/m²K) Isıl Geçirgenlik Katsayısı (U: λ/d)**

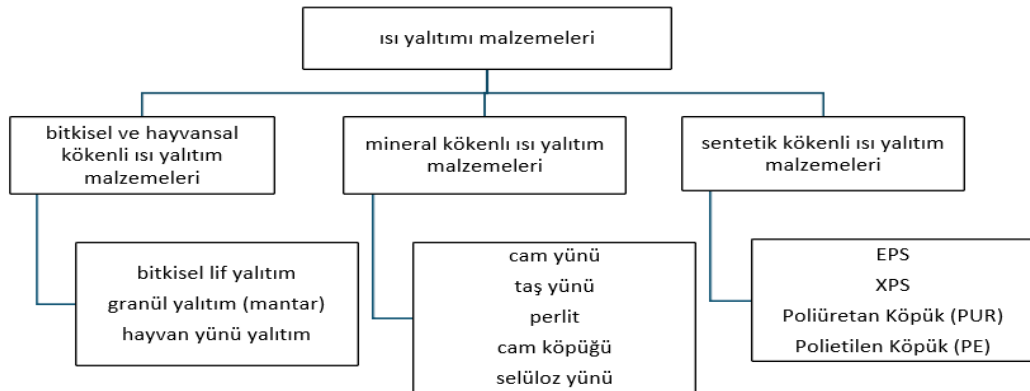
Isıl geçirgenlik katsayısı W/m²K birimi, kalınlığı d (m) olan bir malzemenin paralel iki yüzeyinin sıcaklıkları arasındaki fark 1K=1°C olduğunda 1 saatte 1 m yüzeyden dik olarak geçen ısı miktarıdır. U değeri, malzemelerin ısı iletkenlik katsayısı (λ) ve ısı geçiş yönündeki kalınlığına bağlıdır. U değeri ne kadar küçük ise ısı kaybı da o kadar az olur. U değeri metrekaresindeki enerji kaybıdır. Enerji birim fiyatı ile yapı yüzey alanı ve U değerlerinin çarpımı, basit bir yaklaşımla enerji kaybından doğan maddi kaybı gösterir (URL-5).

- **R (m²K/W) Isıl Geçirgenlik Direnci (R: d/λ)**

Isıl geçirgenlik direnci olan R değeri, bir yapı malzemesinin birim alan başına ısı geçişine göstermiş olduğu direnci ifade eder. R değeri, U değerinin aritmetik olarak tersidir. Yalıtım uygulamalarının amacı, U değerinin olabildiğince az tutmak, R değerini yüksek tutmaktır. R değerinin artırılması için malzeme kalınlığının artırılması veya ısı iletim katsayısının (λ) küçültülmesi gerekmektedir (URL-5).

2.3.1. Günümüzde Kullanılan Güncel Isı Yalıtımı Malzemeleri

Günümüzde kullanılan bazı ısı yalıtım malzemeleri hammadde kaynaklarına göre sınıflandırılarak Şekil 2.14’te ifade edilmiştir.



Şekil 2.14: Kökenlerine göre ısı yalıtım malzemeleri (yazar tarafından oluşturulmuştur)

Bitkisel lif malzemeler binlerce yıldır kullanılmaktadır. Ancak sanayi devrimiyle birlikte enerji tüketiminin artması, yapılarda ısı yalıtımı uygulamaları ile enerji tasarrufu elde edilmesi için ısı yalıtımı malzemelerinin önem kazanmasına sebep olmuştur. 1950’li yıllarda enerji tasarrufu sağlamak amacıyla sentetik kökenli yalıtım malzemeleri kullanılmaya başlanmıştır. 1970’li yıllarda küresel enerji krizi yalıtıma olan talebi artırmış, 21. yy. başlangıcı ile de kullanılan bu petrol kökenli yalıtım malzemelerinin sebep olduğu çevresel etkiler net bir şekilde gözlenmeye başlamıştır. Tüm bu çevresel etkiler sonucu doğal malzeme üretimi ve kullanımına yönelik çalışmalar başlamıştır. Yalıtım malzemelerinin kullanımına yönelik tarihçe şekil 2.15’te ifade edilmiştir (Atılğan, 2022).

Zaman	Sebebi	İlerlemek	Isı Yalıtım Matı
M.Ö. 7000 ve öncesi	Göçebe Yaşam	Giyim malzemesi ihtiyaçları	Hayvan derileri, kürkleri, yünleri
M.Ö. 7000-MS 1870	Yerleşik Yaşam	Dayanıklı malzeme gereklilik Bitkisel lifler	Toprak, odun, tuğla, saman, deniz yosunu
1870-1950	Endüstriyel Devrim Isı kaybı hesaplamalar	Doğal TIM	Mantar, odun yünü ve keten levhalar, selüloz
		Tuğla Elemanı	Delikli tuğla, gazbeton
		Gelişim	
1950-2000	Plastik popülerlik	Yapay TIM	Asbest, taş yünü, cam yün, genişletilmiş cam, genişletilmiş kil ve perlit
		Yapay malzemeler’ yaymak Plastik köpükler	Polistiren, PU, PE ve formaldehit köpükler
2000’den beri	İklim değişikliği & Küresel Isınma	Doğal malzemenin canlanması	Selüloz, mantar, saman, yün
	Fosil yakıtlardan kaynaklanan CO2 emisyonları	Yüksek teknoloji ürünleri üretme	Şeffaf yalıtım malzemeleri, aerogeller

Şekil 2.15: Isı yalıtımı malzemelerinin tarihçesi (Bozsaky, 2010 akt; Atılğan, 2022)

Günümüzde düşük maliyetli olduğu için yoğun olarak kullanılan sentetik kökenli ısı yalıtım malzemeleri yüksek olumsuz küresel etkilerinin yanında sağlık açısından da tehlike arz etmektedir. Ayrıca, PUR ve PE gibi yanmaz özellik göstermeyen yalıtım malzemeleri yangının kolay ilerlemesine sebep olmaktadır. Aynı zamanda yangın esnasında zehirli gazların yayılması ile can kaybına da neden olmaktadır. Toksik maddeler içeren bu malzemelerin kullanılması önerilmemektedir. Günümüzde kullanılan bazı yapı malzemelerinin kullanıcı üzerinde sebep olduğu sağlık sorunları Şekil 2.16’da ifade edilmiştir (Atılğan, 2022).

Ürün	Malzeme/Maddeler	Örnek kimyasallar	Örnek olumsuz etkiler
Kompozit ahşap	Yonga levha, OSB, kontrplak	İzosiyanatlar, formaldehit	a, b, c, d, e
Isı yalıtımı	Elyaf, sert köpük, spreyc köpük	İzosiyanatlar, formaldehit, asbest (tarihsel), Polibromlu Difenil Eterler (PBDE'ler)	a, b, c, d, e, f, g
Pedler dahil halılar	Naylon, yün	Uçucu Organik Bileşikler (VOC) örneğin stiren, etilbenzen, ksilenler, formaldehit	a, b, c, d
Basınçla işlenmiş kereste	Masif ahşap, laminat	Kromlu bakır arsenat (CCA)	a, d, h, ben

a: Cilt tahrişi ve hassasiyeti
b: göz tahrişi
c: solunum etkileri
kanser
e: akciğer hastalığı
f: endokrin etkiler
g: üreme etkileri
h: kan damarı hasarı
i: azalmış sinir fonksiyonu

Şekil 2.16: Bazı yapı malzemelerinin kullanıcı üzerindeki olumsuz etkileri (Huang et al., 2018 akt; Atılğan, 2022)

Cam yünü, taş yünü gibi mineral kökenli ısı yalıtım malzemeleri ise doğal malzemelerden elde edilir, sağlığa zararları bulunmamaktadır. Ancak üretim süreçlerinde 1400-1600C° de eritilerek elde edilmektedirler (Yöney, 2019). Bu işlem yüksek enerji tüketimine sebep olduğundan yüksek miktarda gömülü karbon emisyonlarına neden olmaktadır (Atılğan, 2022). Bitkisel ve hayvansal kökenli yalıtım türleri olan biyo-bazlı malzemeler, sağlık açısından ve ekolojik açıdan alternatiflerine kıyasla en güvenilir seçeneklerdir (Koçak, 2022).

Magwood, vd. (2021), yapmış oldukları çalışmada, yapıda en yüksek karbon emisyonuna sahip bileşenlerin yalıtım malzemeleri olduğunu belirtmiş, toplam emisyonların %68'ini oluşturduğunu tespit etmişlerdir. Bazı ısı yalıtım malzemelerine ait gömülü karbon emisyonu ve maliyet analizleri hesap edilmiş, karbon negatif özelliğin yalnızca karbon tutucu biyo-bazlı malzemeler ile elde edilebildiğini vurgulamıştır (Şekil 2.17-2.18).

Duvar Boş luğ u Yalıtım Seç eneklerinin Maliyeti ve MCE Karş ılaş tırması			
Duvar boş luğ u Yalıtım	Tip	R/inç	10 m2 iç in kgCO2e @ R10
	Saman balyası	3.3	-128
	Kenevir beton	2.1	-76
	Kenevir elyaf battaniyesi	3.7	-31
	Ahş ap elyaf battaniye	3.8	-19
	Selüloz battaniye	3.6	-14
	Selüloz yoğ un paketlenmiş	3.7	-13
	Fiberglas battaniye	3.6	12
	Mineral yün battaniye	3.8	23
	Yün battaniye	3.6	23
	HFO üfleme maddesi ile ccSPF	6.6	73
	HFC üfleme maddesi ile ccSPF	6.6	232

Şekil 2.17: Duvar boşluğuna uygulanan yalıtım malzemeleri CO² değeri ve maliyetleri (Magwood, vd. 2021)

Sürekli Levha Yalıtım Seç eneklerinin Maliyet ve MCE Karş ılaş tırması			
Levha yalıtımı	Tip	R/inç	10 m2 iç in kgCO2e @R10
	Odun lifi (Avrupa ithalatı)	3.6	-36
	Grafitli EPS köpük	4.7	49
	Poliizo köpük	6.5	50
	Mineral yünü	4.3	51
	EPS köpük	4	66
	XPS köpük	5	987

Şekil 2.18: Levha yalıtım malzemeleri CO² emisyonu ve maliyeti (Magwood, C., vd. 2021)

Son birkaç on yılda, yapı sektörünün çevre üzerindeki etkisini azaltmaya yönelik sürdürülebilir ve ekolojik yaklaşımlar benimsenmiştir. Yapıda en yoğun enerji tüketimi gerçekleşen ısıtma-soğutma harcamaları için enerji tasarrufu sağlamak adına yalıtım uygulamaları önem kazanmış, ancak güncel kullanılan malzemelerin yüksek olumsuz çevresel etkiye sebep olduğu görülmüştür. Tüm bu olumsuz çevresel etkiler neticesinde yapı sektöründe doğal malzemelerden üretilen biyo-bazlı malzemelerin kullanımı önem kazanmaya başlamıştır. Biyo bazlı malzemeler çevre üzerinde çok daha az olumsuz etkiye sahiptir ve çoğunlukla daha az enerji gerektirir. Güncel ısı yalıtım malzemelerine kıyasla birçok avantaj sunmaktadır ve termal performans olarak karşılaştırılabilir nitelikte üstün özelliklere sahiptir (Raja, vd. 2023).

2.4. Biyo-Bazlı (Biyo-Tabanlı) Malzemeler

Biyo malzemeler gelişim bakımından bilimsel olarak yakın tarihe ait olsa da kullanım geçmişi milattan önceye dayanmaktadır. Fizik, kimya, biyoloji, tıp, mühendislik gibi çeşitli dallarda kullanım alanları ve amaçları bulunmaktadır (Ak, 2020). Sağlık alanında; hasar görmüş ya da kaybolmuş canlı bir doku-organ yerine kullanılabilen ve canlı dokuya uyum sağlayarak çalışmasını devam ettiren doğal veya sentetik kökenli cansız malzemeler demektir. Cansız bir malzeme, canlı bir dokuyu tamamlamakta ve fonksiyonunu devam ettirmektedir. Mimarlık alanında ise cansız bir yapı elemanına ya da yapı malzemesine, canlı organizmalar entegre edilerek elde edilen malzemeler biyomalzeme olarak adlandırılmaktadır (Devrim, 2023).

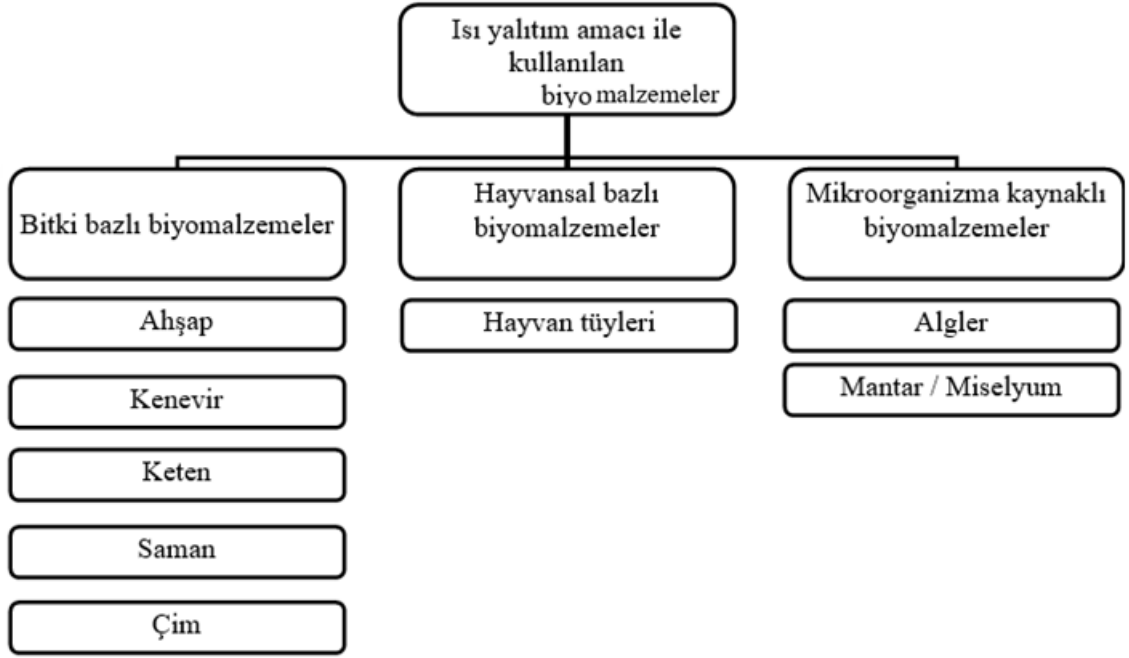
Biyomalzemeler; çevreye zarar vermeme, termal konfor sağlama, enerji tüketimi ve karbon emisyonunu azaltma, fotosentez ile kendini yenileyebilme gibi özellikleri barındırdığı için sürdürülebilir malzemelerdir (Yadav ve Agarwal, 2021). Çevresel sürdürülebilirliği sağlamak ve yüksek emisyonu sebep olan güncel yapı malzemeleri yerine ekolojik olarak alternatif sunmak amacıyla önemli bir kullanım potansiyeline sahiptir. Yapı sektöründe sürdürülebilirliği sağlamak ve sektörün sebep olduğu çevresel etkileri azaltmak için sektörde kullanımı oldukça önemlidir (Atılğan, 2022). Günümüzde en yoğun kullanılan güncel yapı malzemelerinin yüksek olumsuz çevresel etkiye sebep oldukları bilinen bir gerçektir. Biyo-bazlı malzemeler son on yıllarda bu sorunların çözümü için alternatif malzeme olarak görülmeye başlanmış, sağlayacağı faydalar ve avantajlar üzerine çeşitli çalışmalar yapılmıştır.

- **Biyo-bazlı malzemelerin sınıflandırılması;**

Biyomalzemeler, farklı çalışmalar ve savunmalar üzerine birçok kişi tarafından çeşitli türlerde sınıflandırılarak ele alınmıştır. Bu çalışma kapsamında ise ısı yalıtım amacı ile kullanılan biyomalzemeler, hammadde kaynaklarına göre üç başlık altında ele alınarak incelenmiştir (Şekil 2.19). Bunlar;

- Bitki bazlı biyo malzemeler
- Hayvansal bazlı biyo malzemeler
- Mikroorganizmalar ile üretilen biyo malzemeler

Bitkisel ve hayvansal bazlı biyo malzemeler geri dönüştürülebilir, biyolojik olarak parçalanabilir, doğada bertarafı kolaydır. Kullanım ömrü sonunda farklı amaçla yeniden kullanılabilir. Canlı organizma kullanılarak üretilen biyomalzemeler ise üzerinde çalışmaların yapıldığı inovasyona sahip malzemelerdir. Bu malzemeler biyolojik kökenli malzemelerin biyorafine (biyolojik kökenli maddelerin işlenerek katma değeri yüksek ürünlerin elde edilme süreci) ile ekstrakt edilmesiyle elde edilmektedir (Devrim, 2023).



Şekil 2.19: yapılarda ısı yalıtım amacı ile kullanılan biyo-bazlı malzemelerin sınıflandırılması (yazar tarafından oluşturulmuştur)

2.4.1. Bitki Bazlı Biyo Malzemeler

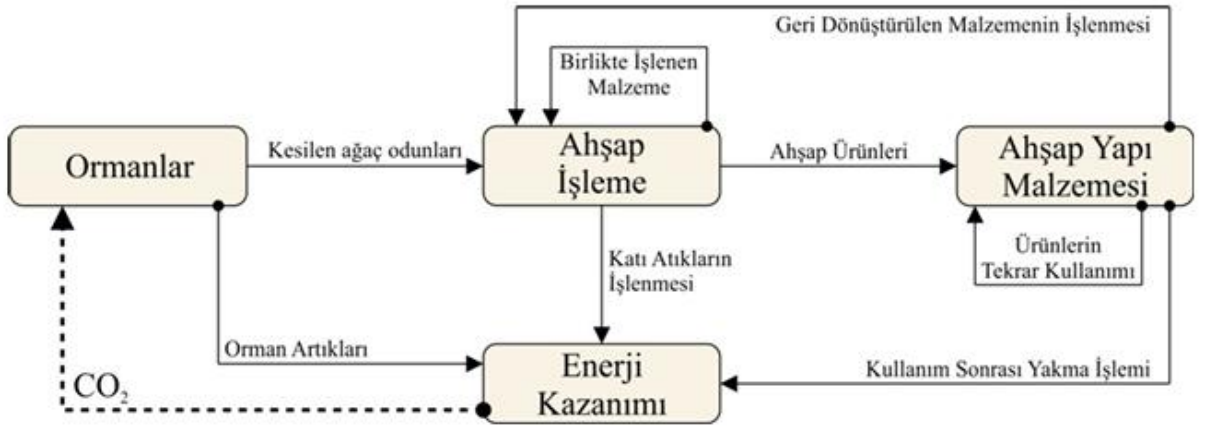
Bu bölümde ısı yalıtım amacı ile kullanılan ahşap, kenevir, keten, saman ve çim bazlı biyomalzemeler tanımlanmıştır.

2.4.1.1. Ahşap

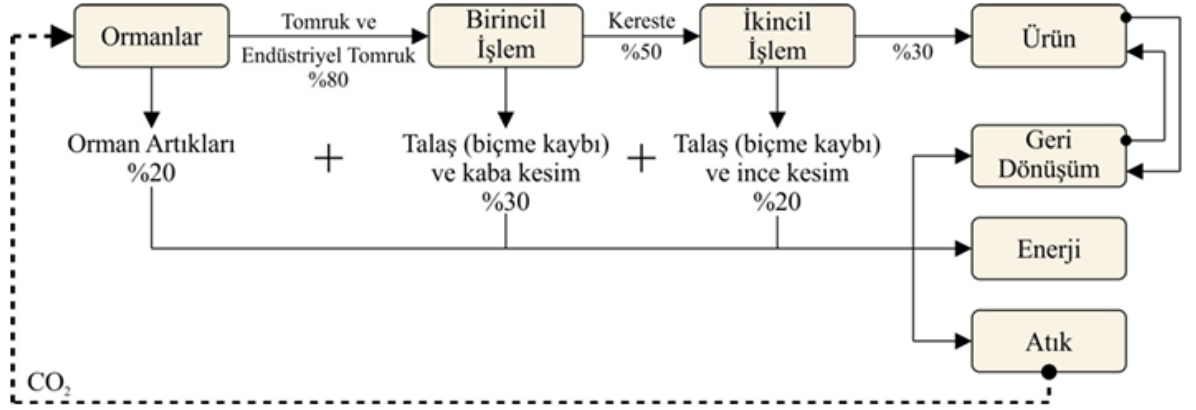
Ahşap, sürdürülebilir yapı malzemeleri arasında en köklü geçmişe sahip, doğal ve çevreci özellikleri ile günümüz küresel sorunlara çözüm sunan ve ekolojik alternatif yapı malzemesi olarak karşımıza çıkan yapı malzemesi hammadde kaynağıdır.

Ahşap yapı malzemesi;

- Doğal bir malzemedir.
- Yenilenebilir, sürdürülebilir ve dönüştürülebilirdir.
- Doğal malzeme olduğundan, canlı ve çevre için sağlıklı bir tercihtir. Nem dengesi sağlayarak hava kalitesini artırır.
- Ormanlar önemli karbon yutaklarıdır. 1 m³ ahşap yaklaşık 1 ton CO₂'yi bünyesinde tutabilir.
- Ahşap yapı malzemesi, üretimi esnasında beton ve çelik gibi malzemelere kıyasla çok daha az enerji gerektirir. Oldukça düşük karbon ayak izi vardır. Yapıda taşıyıcı eleman, yalıtım malzemesi, levha paneller, cephe kaplama malzemeleri gibi çeşitli amaçlarda kullanılabilir.
- Lifli yapısı sayesinde doğal olarak ısı ve ses yalıtımı özellikleri bulunur. Bu sayede kullanım sürecinde de ayrıca enerji tasarrufu sağlarlar.
- Ahşap, biyolojik olarak doğada doğal yollarla parçalanabilen bir malzemedir. Ancak koruyucular ile işlenmiş ahşapların uygun yöntemlerle geri dönüştürülmesi önemlidir.
- Yapı kullanım ömrü sonunda oluşan atık malzemeler yeniden kullanılabilir, işlenebilir, dönüştürülebilir veya biyo-enerji kaynağı olarak kullanılabilir (Şekil 2.20-2.21) (Duru, 2017).



Şekil 2.20: Ahşap yapı malzemesinin şematik yaşam döngüsü analizi (Dodoo ve ark., 2016 akt; Duru, 2017)



Şekil 2.21: Yaşam döngüsü analizlerine göre kereste ve kereste ürünleri yüzdeleri (Erdin, 2003 akt; Duru, 2017)

Ahşap Lifi Yapı Malzemeleri-Isı Yalıtım Levhaları

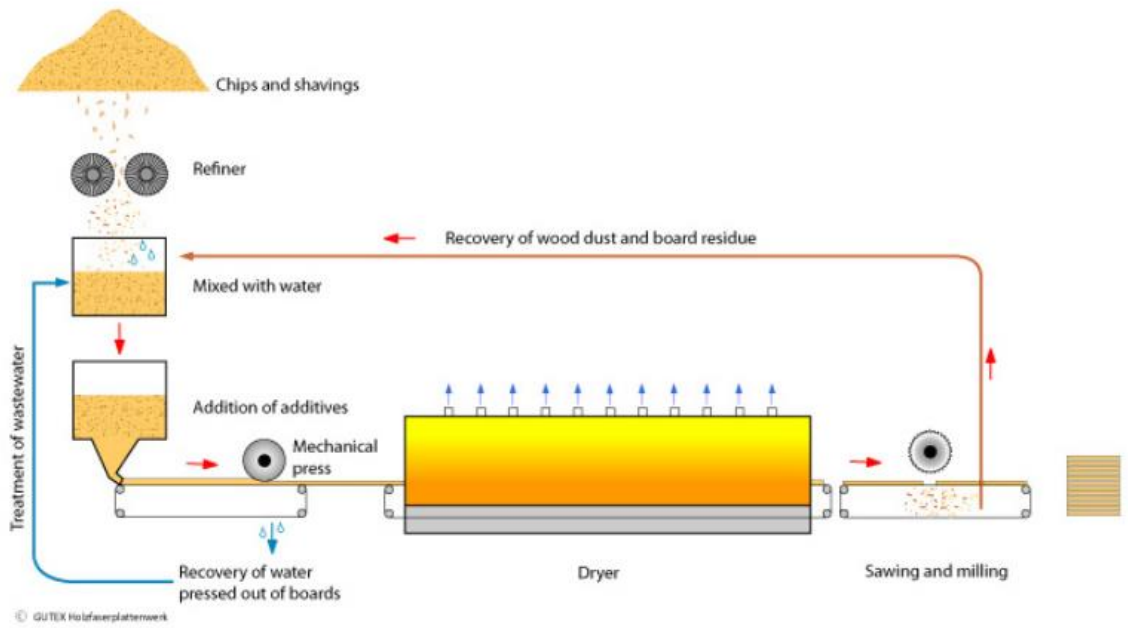
Ahşaptan imal edilen çeşitli endüstriyel ürünler bulunmaktadır. Bu ürünlerden biri de ahşap liflerinden elde edilen yapı malzemeleridir. Ahşap lifleri yapıda ısı yalıtım levhaları veya kompozit yapı malzemeleri üretiminde kullanılmaktadır. Çeşitli ahşap liflerinden üretilen ısı yalıtım malzemeleri, farklı kalınlıklarda ve uygulanacak bölgeye uygun üretilerek, iç-dış mekân, tavan, zemin, çatı gibi yapının yalıtım ihtiyacı duyulan her bölgesinde kullanılabilir. Levha, rulo veya tanecikli yapıda üfleli olarak uygulanan formları bulunmaktadır. Üfleli uygulama ile ulaşılamayan alanlar için kesintisiz ve hava boşluksuz yalıtım uygulaması sağlanır. Bu malzemeler yangına karşı dayanıklıdır ve alev oluşturmaz. Yangın esnasında yüzeyde kömürleşme meydana gelir, bu sayede ilerlemesinin önüne geçerek 90dakikaya kadar koruma sağlar (Gutex, t.y).

Ahşap lifi üretimi ve levha malzeme eldesi için iki farklı üretim yöntemi kullanılmaktadır (Şekil 2.22-2.23).

Ahşap Elyaf İzolasyonu Üretim Süreçleri

- ıslak işlem
- kuru işlem

Islak işlem:

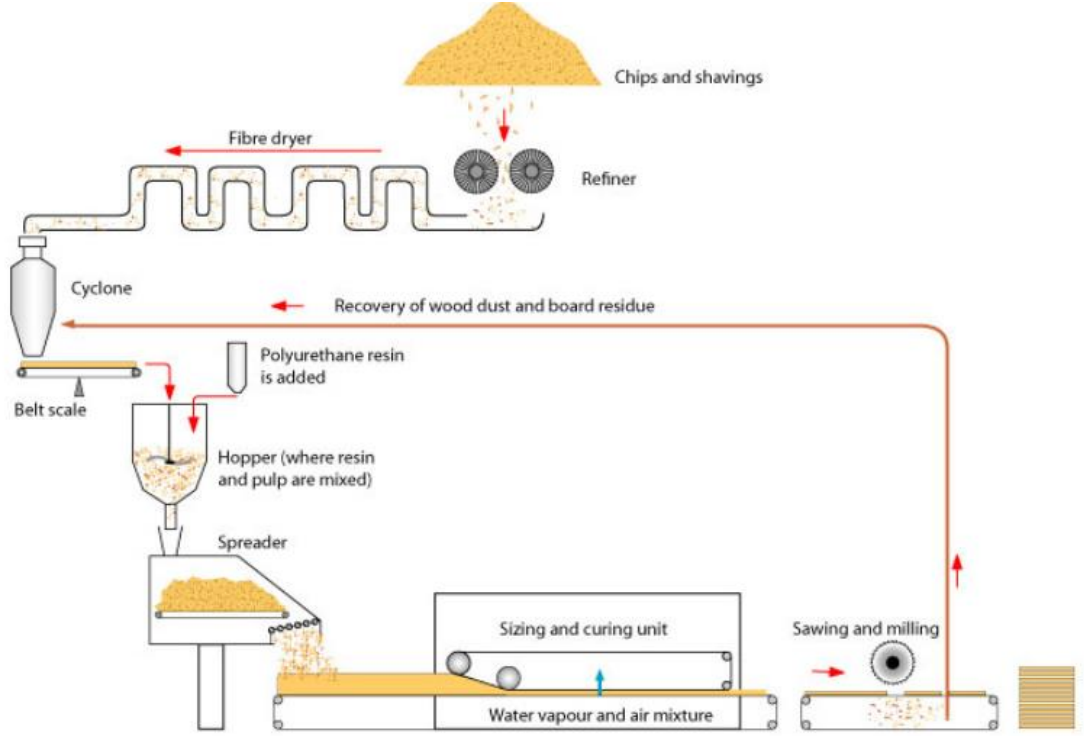


Şekil 2.22: levha üretimi ıslak işlem şeması (URL-6)

- 1- Genellikle köknar ve ladin ağacı kullanılmaktadır. Kereste üretimi sırasında meydana gelen atık yan ürünler kullanılarak geri kazandırılır.
- 2- Yonga ve atık talaşlar odun lifi hamuruna öğütülür.
- 3- Hamur su ile karıştırılır. Bağlayıcı olarak parafin veya lateks eklenir.
- 4- Karışım şekillendirilmek üzere preslenir.
- 5- Karışımındaki suyun bir kısmı presleme ve vakumlu pompalama yolu ile uzaklaştırılır.
- 6- Daha sonra levha malzemeye kurutma işlemi uygulanır.
- 7- Levhalar boyuta göre kesilir ve kenarları frezelenir.

Islak işlem ile üretilen levhalarda yapıştırıcı kullanımına gerek duyulmadan, ahşaba uygulanan işlemlerde kendi doğal lignini ile de panellerin yapışması sağlanabilmektedir (Şekil 2.22). Maksimum levha kalınlıkları yaklaşık 25mm'dir. Daha kalın levhalara ihtiyaç duyulması halinde kuru işlem ile elde edilebilir veya ıslak işlem ile üretilen levhaların birbirine yapıştırılması ile elde edilir (URL-6).

Kuru işlem:



Şekil 2.23: Odun lifi levha üretimi, kuru işlem şeması (URL-6)

- 1- Kereste üretim sürecinde atık olarak çıkan yan ürünler, talaş ve yongalar geri kazanılarak liflerine ayrılır.
- 2- Liflere parafin püskürtülür.
- 3- Lifler sıcak hava kullanılarak kurutulur.
- 4- Bağlayıcı olarak poliüretan reçinesi püskürtülür.
- 5- Lifler, reçinenin hava ve su buharı ile kürlenmesi ve sertleşmesi için ilgili üniteye yerleştirilir.

Bu yolla elde edilen paneller ıslak işlem ile elde edilene göre daha hafiftir. Yapı ağırlığı önemli olan uygulamalarda tercih edilir (Şekil 2.23). Kuru proses ile hava enjeksiyonlu izolasyon elyafları, esnek yalıtım örtüleri veya katı izolasyon panelleri üretilir. Kuru işlem ile 240mm kalınlığa kadar tek katlı levhalar üretilir (URL-6). Ahşap lifli yalıtım panelleri yangına karşı dayanıklıdır. Yüzey üzerinde kömürleşerek alevin ilerlemesini önler. Erime yapmaz, sentetik malzemelerin aksine dayanıklıdır ve çok az duman oluşturur (Şekil 2.24) (URL-7).



Şekil 2.24: ahşap lifi yalıtım malzemesi yangın deneyi (URL 22)

Meşe Mantarı-Isı Yalıtım Levhası

Yapı malzemesi olarak kullanılan ahşap teknolojilerinden, yalıtım amacı ile de kullanılan bir önemli ürün ise mantardır. Bir tür Meşe ağacı çeşidi olan Meşe Mantarının kabuğundan elde edilir (Şekil 2.25). İlk hasat 25 yıl sonra gerçekleştirilirken sonraki hasatlar 9 yılda bir gerçekleştirilebilir. Ortalama 200 yıllık ömrü olan ağaç, yaklaşık olarak 17 kez hasat edilir . Yapıda taşıyıcı eleman dahil (yığma yapım sistemi) döşeme, cephe kaplama, sıva, boya, ısı ve ses yalıtım malzemesi gibi çeşitli amaçlarda kullanılmaktadır (Şekil 2.26). Herhangi bağlayıcı madde olmadan %100 mantardan elde edilen malzeme (yüksek buhar ile ısıtılarak genişletilmiş mantar) bünyesinde doğal olarak bulunan ‘suberin’ sayesinde birbirine bağlanmaktadır. Mantar atıklarının kullanımı ile üretilen bu malzemeler, bünyelerinde tuttıkları yüksek CO₂ sayesinde karbon negatif malzemeler olarak bilinmektedir (Wilton ve Howland, 2020).



Şekil 2.25: Mantar meşesi gövde hasadı (Amorim Cork Solutions, n.d.)

Hiçbir ağaç kesimi olmadan, ağacın gövde kabuğu hasat edilerek elde edilen malzeme (şekil 2.25) oldukça dayanıklı, yangına karşı dirençlidir. Karbon negatif malzeme olduğu ve doğal bir ürün olduğundan, çevresel etkisi olumlu anlamda oldukça yüksektir. Ayrıca düzenli yapılan mantar hasadı; yenilenme süreci ile meşe ağaçlarının daha fazla mantar üretmesine olanak sağlayarak, CO₂ tutma kapasitesinin arttığı da bilinmektedir. Bir kg mantar malzemenin 1.83kg CO₂ tuttuğu belirtilmiştir (Luis Gil, 2011; Koçak, 2022). Mantar ormanlarının her yıl 14milyon tona kadar CO₂ tuttuğu tahmin edilmektedir (Amorim Cork Solutions, t.y.).



Şekil 2.26 (a) Mantar zemin kaplama malzemesi (Reinhardt, t.y.) ve (b) Sagrada Familia Katedrali'nde uygulanan mantar zemin kaplama (c) mantar paneli cephe kapla (Koçak, 2022)

2.4.1.2. Kenevir

Cambridge Üniversitesi araştırmacısı Darshil Shah'a göre, kenevir son derece hızlı büyüyen ve karbonu ayırmada "ağaçlardan daha etkili" olan bir bitkidir (Şekil 2.27). Yadav ve Agarwal, (2021) ise keneviri dünyadaki en hızlı büyüyen biyokütle kaynağı olarak değerlendirmiştir. Kenevir; kâğıt, tekstil, biyo-plastik, gıda ve biyo-yakıtın yanı sıra, endüstriyel ve inşaat ürünleri de dahil olmak üzere çeşitli ticari mallarda işlenebilir (Ergün, 2022).



Şekil 2.27: Kendir (Endüstriyel Kenevir)



Şekil 2.28: kenevir sapı- kenevir ve bağlayıcılar ile elde edilen malzeme örnekleri- kenevir betonu (Demir, 2023)

Kenevir sapı çoğunlukla atık olarak görülür. Ancak köpüksü yapıdaki malzeme; hafif, gözenekli, düşük çürüme oranı, yangına ve haşerelere karşı dayanıklılık gibi özelliklere sahiptir. Güçlü ve dayanıklı yapısından dolayı yetiştiriciliğinde herhangi bir kimyasal kullanımına ihtiyaç yoktur. Kenevir bitkisinin boyu, 4 ay gibi kısa bir sürede 4-5m'ye ulaşabilmektedir. Ağaca kıyasla çok daha fazla oksijen üretir. Yaşam döngüsü sürecinde ise oldukça az su tüketir, buna karşılık CO₂ depolama kapasitesi oldukça yüksektir. Kenevir yetiştirilmesinde kimyasal ilaç kullanımına gerek olmadığı için toksik değildir, biyolojik olarak parçalanabilir, tekrar tekrar kullanılabilir, dönüştürülebilir ve sürdürülebilir özelliktedir. Kenevirden elde edilen yapı malzemesi dolgu duvar veya yalıtım malzemesi olarak kullanılabilir (Şekil 2.28) (Yöney, 2019).

Kenevir önemli bir biyokütle kaynağıdır. Biyoyakıt eldesinde önemli rolü vardır. Kenevirde bulunan hidrokarbonlar yakıt peletleri, sıvı yakıt ve gaz gibi çok çeşitli biyokütle enerji kaynaklarına dönüştürülür (Biyodizel ve etanol gibi alternatif yakıtlar). Bu özelliği ile fosil yakıt ve nükleer enerji tüketimi önemli ölçüde azaltılabilir. Bunların üretiminde hem lifleri hem de tohumları kullanılabilir (Şekil 2.29) (Gizlenci vd., 2019).

Kenevirin Yapısal Özellikleri

Kenevir bitkisini 3 kısımda incelemek mümkündür. Bunlar;

1. Kenevir Lifi
2. Odunsu gövde
3. Tohum



Şekil 2.29: kenevir bitkisi özellikleri ve sağladığı avantajlar (URL 8)

1.Kenevir Lifi: Kenevir bitkisinin sap kısmında bulunan lifler: uzun, dayanıklı ve esnek yapıya sahiptir. Tekstilde (ayakkabı, çuval, ip, halat, ağ, kumaş...vb.) otomotiv sanayi, inşaat sanayi (kompozit yapı malzemeleri, ısı ve ses yalıtımı amacı ile) biyokompozit ürünler (sandalye, otomobil üretiminde kullanılan kompozit paneller vb.) gibi pek çok alanda kullanılır. Petrol türevli her türlü liflerin yerine doğal bir alternatif olarak karşımıza çıkmaktadır. Anti-mikrobiyal özelliktedir. Mikroorganizmalara karşı dayanıklıdır. Rami lifinden sonra en kuvvetli lif olarak bilinir. Kenevir lifleri %70-75 oranında selüloz içermektedir. Bu sebeple inorganik asitlerden etkilenirler. Sıcaklık artışı ile zayıf asitler liflerde mukavemet kaybına neden olur. Alkalilerle işlem görmüş lifler ise yüksek dayanım özelliğine sahiptir. Bazik işlemlerde kotonize uygulanmış kenevir liflerinin mukavemetleri iyidir. Sıcak ve yoğun bazik ortamlarda lifler erir, soğuk ve yoğun bazik ortamlarda ise lifler merserize olur (Gedik vd., 2010 akt. Demirek ve Oktav Bulut, 2021).

Kenevir Lifinin Fiziksel ve Kimyasal Özellikleri

Kenevir lifi, Rami lifinden sonra en güçlü ve dayanıklı lifler arasındadır. Nefes alabilir, biyolojik olarak parçalanabilir, dönüştürülebilir, yüksek mukavemete sahip doğal bir selüloz lifidir. Yüksek sıcaklıklara dayanıklıdır. 20 °C’de %65 bağıl nem

altında %12, %95 bağıl nem altında %30 nem çekme kabiliyeti vardır. Bu değerler pamuk ve ketenden yüksektir (Özdemir ve Tekoğlu, 2012; Gedik vd., 2010 akt; Demirebek ve Oktav Bulut, 2021). Çizelge 2.4'te bazı bitkisel liflere ait fiziksel özellikler aktarılmıştır.

Çizelge 2.4: Kenevir ve diğer liflerin fiziksel özellikleri (Manai vd., 2019 akt; Demirebek vd., 2021)

Lif	Uzunluk (mm)	Yoğunluk (g/cm ³)	Gerilme Direnci (Mpa)	Young Modülü (Gpa)	Nem İçerik (%)
Kenevir	5-55	1,4	550-1110	30-70	8
Jüt	2-120	1,3-1,5	393-800	10-55	12
Sisal	900	1,3-1,5	507-855	9,4-28	11
Keten	5-900	1,5	345-1830	27-80	7
Rami	900-1200	1,5	400-938	44-128	12-17
Cam Lifi	-	2,5	2000-3000	70	<0,1

%100'e yakını selüloz olan pamuk lifinden en önemli farkı selülozla beraber önemli miktarda farklı maddeler de içermesidir (Çizelge 2.5). Pamuk kullanılarak elde edilen ürünler yerine kenevir kullanılarak, Dünya'ya daha az etki ile üretim yapılması mümkündür. Doğal elyaflar içerisinde en düşük uzama yüzdesine sahip elyaftır. Yalıtım özelliğine sahip lifler içerisinde en iyi ısı kapasitesine sahip olan lifdir (URL-9).

Çizelge 2.5: doğal liflerin içerik yüzdeleri (Kenevir Yetiştiriciliği, 2019)

Lif Cinsi	Selüloz%	Hemiselüloz%	Lignin%	Pektin%
Pamuk	92	6		<1
Jüt	72	13	13	
Keten	81	14	3	4
Sisal	73	13	11	2
Kenevir	74	18	4	1
Rami	76	15	1	2
Kapok	13			

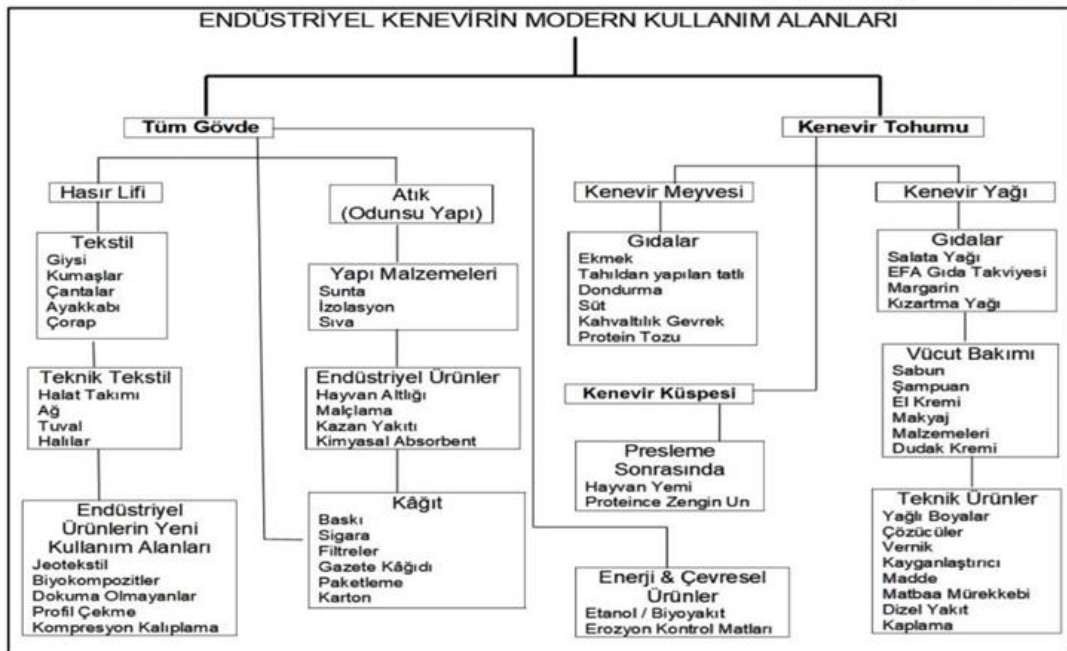
Kenevir sapının kabuğunda "sak" adı verilen, selüloz açısından zengin, dünyanın en uzun, doğal yumuşak lifleri arasında yer alan lifler bulunur. İç odunsu çekirdeğinde bulunan selüloz ve hemi-selüloza ise "hurd" denir. Kenevir lifi, pamuk lifine göre daha güçlü, uzun, emici ve daha yalıtıcıdır (Çizelge 2.6) (URL-9).

Çizelge 2.6: Bazı Selülozik Liflerin Fiziksel Özellikleri (Gedik, 2012 akt; Kenevir Yetiştiriciliği, 2019)

Lif Cinsi	Teknik Lif Uzunluğu (cm)	İşlem Görmüş Lif Uzunluğu (cm)	Kuru Özgül Mukavemet(cN/Dtex)	Yaş Özgül Mukavemet (%kuru)	E-modül(Mpa)	Yıllık Lif Verimi (kg/hektar)
Pamuk		1-6	25-50	105	11	800-1000
Kenevir	100-300	65-75	35-70	105	12,7	3000
Jüt	160-360	65-75	30-34	100	19-35	2200
Keten	20-40	10-40	30-55	105	12-26	2000

2.Kırtık / Odunsu Yapı: Hafif ve dayanıklıdır. Kenevir sapından lifler ayrıldıktan sonra kalan, odunsu, kırık (talaş) halde kalan kısımdır. Bu kısım biyoplastik, yakıt, biyoenerji, yapı malzemeleri (kenevir betonu, izolasyon, sıva ... vb.) gibi ürünlerin üretiminde kullanılır. Kenevir sapının lifleri ayrılmadan tüm hali ile de kâğıt ve pelet, briket etanol, biyoyakıt, enerji üretimi gibi çeşitli kullanım amaçları bulunmaktadır (Gizlenci vd. 2019)

3.Tohum: Kenevir bitkisinin tohum kısmı ile; gıda sektöründe kullanılacak yağlar ve preslenmesi ile elde edilen un, kozmetik ürünleri, yağ eldesi, biyoplastik (tesisat borusu...vb.), doğal boya, hayvan yemi, biyodizel/biyoyakıt eldesi gibi çok amaçlı kullanım imkânı bulunmaktadır (Gizlenci vd. 2019). Şekil 2.30'da kenevir bitkisinin kısımları ve kullanım alanları ifade edilmiştir.

**Şekil 2.30:** Kenevir bitkisinin kullanım alanları (Gizlenci vd., 2019)

Kenevir Yapı Malzemeleri

Kenevir bazlı malzemeler; sürdürülebilir, gözenekli dokusu sayesinde nefes alabilir, biyolojik olarak parçalanabilir, dayanıklı, hafif ve çevre dostu malzemelerdir. Yapıda ısı ve ses yalıtımı sağlar. Kenevir, yüksek miktarlarda CO₂ absorbe edebilir, karbon negatif özelliğe sahiptir. Kenevir bitkisinden oldukça dayanıklı, uzun ömürlü ve güçlü malzemeler elde edilmektedir. Hızlı büyümesi, az su gereksinimi, güçlü ve dayanıklı özelliği ile haşerelere karşı ilaç kullanımı gerektirmemesi gibi özellikleri sayesinde ekonomik açıdan avantajlıdır, bakım maliyetleri oldukça düşüktür (Eci, n.d.).

Yapıda en yaygın kullanılan formu; talaş halde(kıtık), su ve kireçle karıştırılarak elde edilen kenevir beton blokları, ahşap çerçeve içine duvar dolgusu olarak kullanılır (Yöney, 2019). Kireçle karıştırıldığı zaman yanmaz özellik kazanmaktadır. Ayrıca zaten karbon tutucu malzeme olan kenevir, bağlayıcı olarak kireç ile birleştğinde, kirecin CO₂ ile reaksiyon vermesi ile de karbon bağlama kapasitesini artırmaktadır. Bu malzeme metreküp başına yaklaşık olarak 16kg CO₂ tutmaktadır (Koçak, 2022). Ayrıca döşeme, duvar ve çatıda ısı yalıtımı malzemesi olarak kullanılmak üzere; blok, levha veya sıva olarak üretilip uygulanmaktadır (Pedernana, 2023).

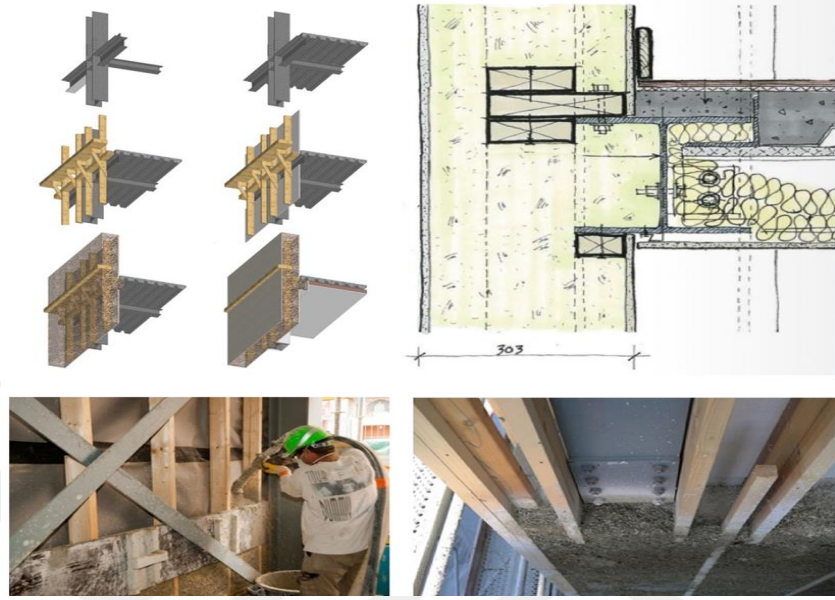
Kenevir malzemesi yapıda 3 formda kullanılmaktadır. Bunlar;

- A. Kenevir beton
- B. Kenevir yalıtım ve sıva malzemeleri
- C. Kenevir kompozitler

A. Kenevir Beton

Kenevir bitkisinin odunsu, kırtık adı verilen parçaların su ve kireç bazlı bağlayıcı (hidratlı kireç veya doğal hidrolik kireç) ile karıştırılması sonucu elde edilen kompozit bir malzemedir. Gözenekli yapısı sayesinde nefes alabilir ve yapıda nem kontrolü sağlar. Yapıda ısı ve ses yalıtımı sağlar. Betondan yaklaşık sekiz kat daha hafiftir, böylelikle yapı yükünü hafifletir. (Yadav ve Agarwal, 2021). Yapısal olarak tek başına kullanılamamaktadır, yük taşıyıcı özelliği yoktur (Pedernana, 2023). İki farklı teknik ile inşaatta kullanılmaktadır. Bunlardan ilki yerinde dökme ve püskürtme tekniği

(Şekil 2.31), ikincisi ise önceden hazırlanmış prefabrik blokların istiflenerek kullanılmasıdır (Şekil 2.32). Duvar, döşeme, yalıtım sıvası, çatı dahil olmak üzere çeşitli yerlerde kullanılır (Ergün, 2022).



Şekil 2.31: 5 katlı bir yapıda, ahşap-çelik strüktüre basınçlı püskürtme tekniği ile kenevir betonu uygulaması (Pedernana, 2023)



Şekil 2.32: kenevir beton uygulama teknikleri: yerinde dökme(a), püskürtme (b), prefabrik (c) (Ergün, 2022)

B. Kenevir Bazlı Yalıtım ve Alçı-Sıva Malzemeleri

Kenevir liflerinin kalsiyum kireç ve kum ile karıştırılmasıyla üretilir. Hafif ve nefes alabilir bir malzemedir. Esnek ve sağlam yapısı uygulamada kolaylık sağlar. Biyolojik olarak geri dönüştürülebilir, çevre dostudur. Montajı sırasında kesilerek istenilen şekil ve boyutta kullanılabilir. Üretimi esnasında kimyasal kullanımına gerek olmadığı için toksik madde içermez. Duvar, döşeme, çatı kaplama gibi çeşitli alanlarda kullanılabilir. Mineral yalıtım malzemelerine kıyasla ısı miktarının iki katını emer. Gözenekli yapısı sayesinde, herhangi yapısal bozulmaya uğramadan %20'ye kadar hava ve nem bünyesine nüfuz eder. Mineral yalıtım ise %2'lik orandan sonra bozulmaya başlar. Gözenekli yapısı hava sirkülasyonuna izin vererek iç mekân havasını, sağlanan sirkülasyon ile hep taze tutar. Kullanılan bu yalıtım malzemesi aynı zamanda ses dalgalarını da zayıflatarak akustik yalıtım da sağlar (URL-10; Eci, n.d.).

C. Kenevir Kompozitler

Yapısal paneller, biyoplastikler, dekoratif elemanlar, sağlık sektörü, otomotiv sektörü...vb. gibi çeşitli amaçlarla kullanımı mümkündür. Petrol türevli liflerin yerine kenevir lifi kullanılarak, ilgili tüm malzemelerin üretimi mümkündür. Çevre dostu ve sürdürülebilir kompozit malzemelerde kenevir lifleri mukavemet artırıcı olarak kullanılan, doğal takviye liflerinden biridir. Yüksek mukavemet ve sertlik kazandırması, biyolojik olarak parçalanabilirliği, düşük yoğunluk ve maliyete sahip olması gibi avantajlarından dolayı son zamanlarda bitkisel lifler, kompozit malzemelerde takviye olarak kullanımda oldukça ilgi toplamıştır. Özellikle hafifliği sebebiyle de yapıya yük olmaması gereken uygulamalarda ön plana çıkmaktadır. Kenevir lifi diğer doğal liflerden, üretiminde kimyasal gübre ve tarım ilacı kullanımı gerektirmemesi özelliği ile ön plana çıkmaktadır (Eci, n.d.).

2.4.1.3. Keten

Doğal bir lif olan Keten ekolojik, sürdürülebilir, biyolojik olarak çözünebilir, dönüştürülebilir, doğa dostu bir yapı malzemesi kaynağıdır. Yetiştiriciliğinde çok su kullanılmamakla beraber kimyasal gübre ve böcek ilacı kullanımı gereksinimi de

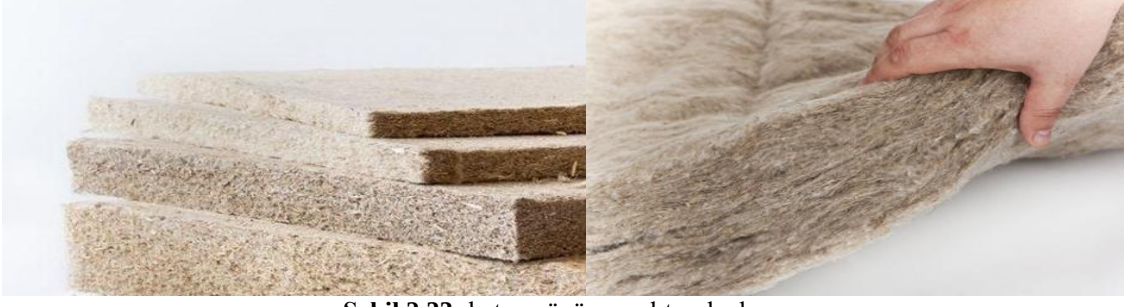
oldukça azdır. Bu sayede çevresel ayak izi düşüktür. Yapıda ısı ve ses yalıtımı amacıyla kullanılır, enerji tasarrufu sağlar. Nefes alabilir yapısı sayesinde iç mekânda nem kontrolü sağlar, küf oluşumunu engeller. Keten lifleri mekanik olarak oldukça güçlü yapıdadır. Yüksek çekme mukavemetine sahiptir, dayanıklıdır (Eci, n.d.).

Ketenin Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı

Keten bitkisinin tohum ve lifleri ayrıldıktan sonra kalan odunsu sap kısmı dolgu malzemesi, sunta imalatı ve briket yapımı gibi çeşitli üretimlerde kullanılır. Keten lifleri ise çeşitli bitkisel lifler (ahşap lifi, kenevir lifi vb.) ve bağlayıcılar ile birleştirilerek kompozit veya saf hali ile yapıda; yalıtım levhası, kaplama malzemesi, çimento esaslı kompozit malzemelerde katkı maddesi olarak kullanılmaktadır. Yapısal malzeme değildir, yük taşıyıcı özelliği yoktur. (Yadav ve Agarwal, 2021).

-İzolasyon Malzemesi:

Düşük yoğunluklu ve yapısal olarak esnek bir malzeme olan keten yünü yalıtımı, keten bitkisinin liflerinden üretilen sürdürülebilir, dönüştürülebilir, doğal bir elyaf yalıtımıdır. Bünyesinde nem tutabilme özelliği ile iç mekân hava ve nem dengesi sağlar. Gözenekli yapısı sayesinde nefes alabilir bir malzemedir. Çürümeye ve haşerelere karşı dayanıklıdır. Havadaki VOC ve toksinleri emer. Ketenden elde edilen yalıtım panelleri ve dolgu malzemeleri ısı ve ses izolasyonu sağlamaktadır. Çatı, duvar ve zemin yalıtımlarında kullanılır (Şekil 2.33). Isıl kapasitesi cam yünü ve taş yününe kıyasla çok daha yüksek olduğundan daha yüksek yalıtım özelliğine sahiptir (Eci, n.d.). Yangına karşı dayanıklı olması için sodyum boraks veya amonyum tuzları gibi yangın geciktiricilerle işleminden geçirilir. Isı iletkenlik kat sayısı yaklaşık olarak 0,038 W/mK'dır. Keten yünü yalıtım malzemesi, mineral yün yalıtıma göre daha pahalı maliyete sahip olmasına karşın, üretim aşamasında daha az enerji gerektirmesi ve geri dönüşüm potansiyeline sahip olması gibi nedenlerden sürdürülebilir tasarımlarda tercih edilmektedir (Al-Qahtani vd. 2023).



Şekil 2.33: keten yünü ısı yalıtım levhası

2.4.1.4. Saman

Yapı sektörü ve yapı malzemelerinin sebep olduğu çevresel etkileri azaltma amacı ile kullanılan yapı malzemelerinden biri de saman balyasıdır. Saman balyası; arpa, buğday, yulaf gibi tahılların hasat edilmesi sonrası kalan kısımların balyalama makinası ile sıkıştırılması sonucu elde edilir. Yeteri kadar ve doğru sıkıştırıldığında oldukça dayanıklı hale gelir. Her iki yüzeyi de sıva ile kaplanmış ve sıkı balyalanmış samandan yapılmış bir yapı, balya içlerinde hava boşlukları kalmayacağından dolayı yangına karşı dayanıklı olur (Koçak, 2022).

Saman balyası; sürdürülebilir, doğal, nefes alabilir, yerel temin edilebilir, ulaşımı kolay ve düşük maliyetli malzemedir. Düşük yoğunluklu ve hafif bir malzemedir. Yapı yükünü azaltır. Yüksek ısı ve ses yalıtım özelliğine sahiptir. Sıcak ve soğuk bölgelerde güçlü yalıtım özelliği sayesinde enerji tasarrufu sağlamaktadır. Havadaki fazla nemi bünyesinde tutup bırakabilir, bu sayede ortamın hava kalitesini dengeler. Atmosferdeki karbondioksiti yakalayarak bünyesinde depolar. Böylece küresel karbon ayak izini azaltır. Yapılarda çatı ve duvarlarda beton, alçı, sıva gibi yapı malzemeleri yerine kullanılabilir (Şekil 2.34). Ahşap gibi malzemelerle beraber kullanımında saman balyası ile doldurulan kısım esnek davranış göstereceği için kırılmaları önlemektedir. Depreme karşı esnek yapısı sayesinde dayanıklıdır (URL-11).



Şekil 2.34: yapılarda saman kullanımı ve toprak sıvama uygulama örneği (UR-11)

2.4.1.5. Çim

Çim atıkları kullanılarak günümüzde biyo-polimer madde üretimi ve yapı malzemelerinde katkı maddesi olarak kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Buna ek olarak, günümüzde yapılarda sıklıkla yeşil duvar, yeşil çatı, yeşil bahçe gibi uygulamalarla karşımıza çıkmaktadır. Yapı malzemesi hammadde kaynağı olarak kullanımı üzerine çeşitli çalışmalar da bulunan çim, günümüzde ısı yalıtım levhası olarak kullanılmak üzere üretilen endüstriyel ürünlere sahiptir (Şekil 2.35) (Gramitherm, n.d).



Şekil 2.35: GramiTherm çim yalıtım levhası

2.4.2. Hayvansal Bazlı Biyo Malzemeler

Bu bölümde ısı yalıtım amacı ile kullanılan ve endüstriyel üretime sahip hayvansal bazlı biyomalzeme kaynağı anlatılmıştır.

2.4.2.2. Hayvan Tüyleri

Çeşitli hayvan tüyleri lifleri, kompozit halde ısı ve ses yalıtımı malzemesi olarak kullanılmaktadır. Ayrıca haşerelerin kompozit yapıya zarar vermesini de önlemektedir. Örnek olarak; tavuk tüyünden elde edilen yalıtım malzemesi, bitkisel kaynaklı, Selüloz lifli yalıtım yünlerine göre daha üstün performans sergilediği görülmüş ve tavuk lifleri ile yapılan kompozit yapıların haşerelerden korunduğu tespit edilmiştir. Keratin yapısından dolayı da plastik üretiminde bağlayıcı malzeme olarak kullanılmaktadır.

Tavuk tüyü ayrıca pek çok açıdan yüne benzeyen malzeme olduğundan tekstil sektöründe kullanımı üzerine de çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca betonun dayanıklılığının artırılması içinde belli yüzdelerde hayvan tüyleri eklenebilmektedir.

Yalıtım amacı ile kullanılan hayvan tüylerinden bazıları; koyun yünü, at-keçi kılı, kuş tüyü...vb. şeklinde örneklendirilebilir. Bu ürünler doğrudan yalıtım malzemesi olarak kullanılamamaktadır. Ürünlerin temizliği ve dezenfeksiyon işlemleri sonrasında bağlayıcı malzemeler ile birleştirilerek kompozit malzemeler elde edilmektedir. Duvar, zemin ve çatı yalıtımında kullanılır. Biyolojik olarak parçalanabilir, geri dönüştürülebilir malzemelerdir. Haşerelere karşı koruyucu işlemler uygulanması gerekir. Alerjen özellik gösterebilmektedir. Sentetik yapı malzemelerine kıyasla üretim maliyetleri daha yüksek olabilmektedir.

2.4.3. Biyomalzeme Üretiminde Kullanılan Mikroorganizmalar

Bu bölümde biyo-bazlı malzeme üretiminde kullanılan ve yapıda ısı yalıtımı görevi gören algler ve mantarlara yer verilmiştir.

2.4.3.1. Algler

Algler, geleneksel yapı malzemelerinin çevresel etkilerini azaltma amacı ile izlenen alternatif ve sürdürülebilir çözümler arasında oldukça yüksek potansiyele sahip biyomalzemelerdir. Fotosentez yaparak oksijen üretiminin yaklaşık %50'sinden sorumlu olan algler, hızlı büyür ve ekstrem koşullara uyum sağlayabilir. Kozmetik, gıda ve ilaç sanayisinde, atık su arıtımı, biyogaz üretimi, endüstri sektörü ve yapı sektörü gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Şekil 2.36) (Devrim, 2023). Yapıda izolasyon amaçlı cephe panellerinde, biyo-plastik ve biyo-kompozit malzeme üretimlerinde ve biyoyakıt eldesi gibi çeşitli amaçlar için kullanılabilir. Günümüz yapılarında "Fotobiyoreaktör (FBR)" olarak adlandırılan cephe tasarımı uygulamaları mevcut olup, düşey yapı kabuğunda ikinci bir cephe olarak kullanılmakta ve hareketli panellerden oluşmaktadır. Bu paneller yapılarda ısı yalıtımı sağlarken biyokütle üretimi ve biyoyakıt kaynağı olarak biyoenerji eldesi de sağlanmaktadır. Dışarıdan ek bir enerji girdisine ihtiyaç duyulmadan yapılarda ısı konfor sağlanarak biyokütle üretimi gerçekleştirilmektedir (Köktürk, vd., 2022).



Şekil 2.36: (a): alglerden elde edilen biyopolimer malzeme ile tasarlanmış tekstil ürünü (Ekoyapı, 2022)
(b): biyogaz üretim tesisi (Atçı, t.y)

Bu cephe sistemlerinde iklim koşulları ve ısı-enerji ihtiyacı doğrultusunda istenilen yoğunlukta alg kullanılabilir. Bu sayede ihtiyaç doğrultusunda ısı ve enerji tasarrufu sağlanırken, sistemde alg üretimi de eş zamanlı ve hızlı bir şekilde devam etmekte olup biyokütle üretimi gerçekleştirilmektedir. Üretilen algler biyoyakıt üretiminde kullanılmaktadır. Güneş yoğunluğunun artması ile alglerin boyutlarında büyüme gözlenir. Böylelikle biyokütle yoğunluğunda artış meydana gelerek yapıda güneş kırıcı görevi görmektedir. Güneş doğrudan yüzeye gelmediğinde ise algler daha küçük ebatlarda olup ışığın içeri girmesine olanak sağlar. Bu sayede cephede doğal olarak gölgelendirme sağlanmış olur (Şekil 2.37) (Köktürk, vd., 2022). Ayrıca yetiştirilen algler biyogaz üretimi için de kullanılmaktadır. Elde edilen biyogaz ile yapının ısı ve elektrik ihtiyacı karşılanarak ‘Net Sıfır Enerji’ ve karbon tutma özellikleri sayesinde ‘Karbon Nötr’ hedeflerine ulaşmak için önemli bir biyo malzeme kaynağı olarak görülmektedir. 1ton alg ile yaklaşık 2500-3000kWh enerji elde edilebilmektedir (Atçı, t.y.).



Şekil 2.37: Expo Milano 2015’te sergilenen yosun örtüsü/algae canopy

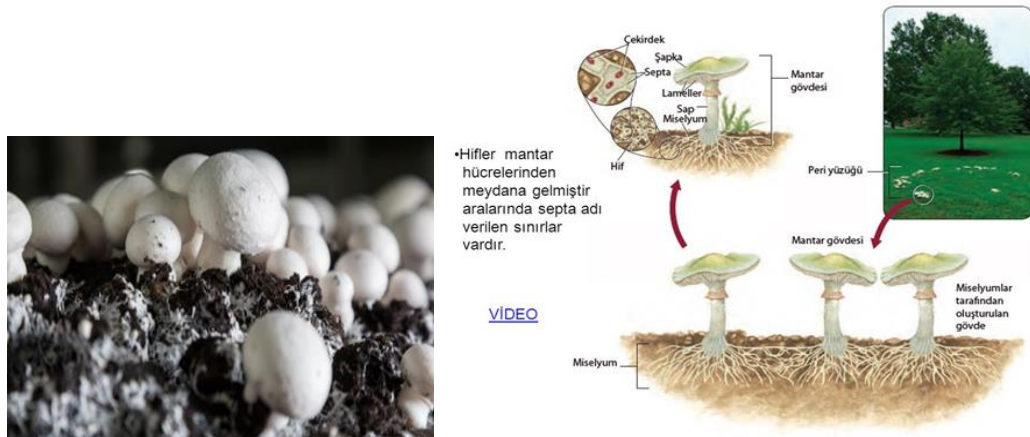
2015 Expo da sergilenen örnekte, özel olarak tasarlanmış, yumuşak katmanlı ETFE kaplama sistemi içerisine yerleştirilen ve burada yetiştirilen alglerden oluşan yosun örtüsü kullanılmıştır. Fotosentez aracılığıyla biyokütle miktarı değişen hareketli cephe oluşturulmuştur. Yapılan fotosentez ile ısı üretimi de gerçekleştirilerek, yapıda

ısıtma ve soğutma için harcanacak enerjide ciddi tasarruf sağlanacağı bildirilmiştir (URL-12). Sergilenen yapının günde 1 hektar ormanlık alana eşdeğer oksijen ürettiği ve 25kg'a kadar alg üretimi gerçekleştirdiği aktarılmıştır (URL-13).

2.4.3.2. Mantarlar / Miselyum

Mantarlar doğadaki organik maddeleri ayrıştırarak beslenen ve karbon, azot gibi elementlerin toprağa geri kazanımını sağlayan çürükçül canlılardır. Bu özelliği ile organik atıkların doğada birikmesini engellerler. Fotosentez yaparak kendi besinlerini üretmedikleri için mikroorganizma sınıfında ele alınırlar. Büyüme ve ölü organizma-organik atık ayrıştırma süreçlerinde miselyum olarak bilinen beyazımsı renkte ipliksi filamentler üretirler. Miselyum: mantarların toprak altında kalan, hif adı verilen sürgün kısmıdır (Eyüboğlu ve Yanılmaz, 2023). Gelişen mantar ağı (miselyum) (Şekil 2.38), bitki sapları ve tohum kabuğu gibi tarımsal atıkları besin maddesi olarak öğütmekte, bu esnada da tutkal benzeri bir doku oluşturarak onları birbirine bağlamaktadır. Bu süreçte herhangi bir enerji girdisine ihtiyaç duymadan tarımsal atıkları kullanarak misel ağlarını geliştirmektedir (Tazeoğlu Filiz ve Yıldırım, 2023).

Sadece neme ve ısıya ihtiyaç duyan mantar miselyumunun büyüme süreci oldukça kolaydır. Çeşitli tarım ve endüstriyel atıkların küçük parçalar halinde, sterilize edilerek miselyum ile karıştırılması, kalıplara ya da tepsilere yerleştirilmesi ve yaklaşık on beş gün sonunda düşük ısıda kurutulmasını kapsamaktadır (Tazeoğlu Filiz ve Yıldırım, 2023). Ancak kompozit şekilde kullanılan miselyum kurutulmuş kullanıldığı gibi kurutulmadan canlı olarak da kullanılabilir. Doğal bir bağlayıcı olma niteliği ile miselyumlar; hızlı ve kolay üretilebilir, ekonomik, doğa dostu, yenilenebilir ve dönüştürülebilir bir biyo-malzemedir (Eyüboğlu ve Yanılmaz, 2023).



Şekil 2.38: Mantara ait gövde ve kök bölümü (miselyum hifleri) şeması

Miselyum, mimaride cephe tasarımı, yapı malzemesi üretimi (örn; yalıtım malzemeleri, tuğla) ve endüstriyel tasarımda kullanılmaktadır. Ayrıca beton gibi yapı malzemelerinde katkı malzemesi olarak da kullanılabilen miselyum; aktif sporları sayesinde malzemede oluşan çatlakları onarmaktadır (Sarıay, vd. 2023). Miselyum basınç dayanımı ve doğal yapıştırıcı özelliği sayesinde tekstil (vegan deri üretimi), mobilya, otomotiv, roket, uçak, ambalaj gibi farklı sektörlerde de kullanılmaktadır (Tazeoğlu Filiz ve Yıldırım, 2023). Toprak altında bulunan miselyum ağları farklı yoğunluklara sahiptir ve bir gram toprakta 600km hif ağı bulunabilmektedir (Bıyık ve Özgür, 2024). Lifli miselyum daha esnek olduğundan deri alternatifi için uygun olup, yoğun yapıya sahip misel ağları ise yapı malzemeleri kullanımı için uygundur.

- Yapı Malzemesi Olarak Miselyum

Miselyum, fungusların(mantar) hif adı verilen kök benzeri yapısıdır. Çevresel etkisi düşük ve biyolojik olarak parçalanabilir doğal bir biyomalzeme kaynağıdır. Yaşam döngüsü sürecinde ihtiyaç duyulan besinin karşılanabilmesi için hifler yardımı ile organik atıklar ayrıştırılır. Bu işlem toprağın verimini artırmaktadır. Doğada bulunan bu atıklar miselyumun yapışkan dokusu ile birleşerek yoğun ve gözenekli bir yapı oluşturur. Oluşan yapı oldukça dayanıklı, hafif ve çevre dostu bir biyomalzemeye dönüştürülür. Yapılan bir çalışmada miselyum bazlı malzemenin polistiren köpüğe alternatif olarak kullanılabileceği ve üretimi esnasında on kat daha az karbon salınımına sebep olduğu ve daha az enerji tükettiği, toksik madde içermediği, biyo-çözünür olduğu belirtilmiştir. Çeşitli substratlarla birleşimi ile geliştirilebilir bir geniş yelpazeye sahip miselyum bazlı biyomalzemeler yangın direnci açısından, fosil yakıt kaynaklı sentetik malzemelere karşı da daha güvenli ve ekonomiktir (Kutbay, 2022).

Mantar bazlı malzemeler yapıda; duvar paneli, miselyum tuğlası, yalıtım levhaları ve döşeme malzemesi gibi çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Poliüretan ve polistiren gibi petrol türevli malzemelere doğal bir alternatiftir. Mekanik dayanımları yüksek olmadığı için yapıda taşıyıcı olarak kullanılamazlar. Üretimleri kaynaklı karbon ayak izi oldukça düşüktür. Tamamen atık malzemeler ile (saman, mısır sapı, talaş vb.) birleştirilerek üretildiği için atık dönüşümüne katkı sağlar. Atıkların tekrar kullanımı sağlandığı için, bu malzemelerin bertarafı sırasında (Örn; yakma ile) depoladıkları CO₂'nin atmosfere salınımının önüne geçilmiş olur. Miselyum bazlı malzemeler, kullanım ömürleri sonunda, doğada biyolojik olarak parçalanabilmektedir. Toksik

madde salınımına sebep olmazlar. Bu özellikleri doğrultusunda miselyum bazlı malzemeler birçok sentetik yapı malzemelerine kıyasla avantajlı hale gelmektedir (Tazeoğlu Filiz ve Yıldırım, 2023).

-Yalıtım Malzemesi Miselyum

Fosil yakıtlara dayalı ve üretim süreçlerinde yüksek enerji tüketimine sebep olan geleneksel yalıtım malzemelerine alternatif biyo bazlı malzeme kaynaklarından birisi de miselyumdur. Organik atıklarla birleştirilmesi sonucu elde edilen miselyum bazlı kompozit malzeme, gözenekli yapıya sahiptir. Hafif ve dayanıklıdır. Yalıtkan özelliği sayesinde yapıda ısı ve ses yalıtımı amacı ile kullanılır. Hipoalerjenik bir malzemedir. Toksin salmazlar. Karbon negatiftir. Kullanım döngüsü sonunda biyolojik olarak parçalanabilir, atık üretmezler. Doğal olarak yangın geciktiricidir. Miselyum yalıtım panelleri üreten bir biyomalzeme şirketi tarafından üretilen bir proje için; üretiminin karbon negatif olduğu ve ayda en az 16 ton karbon tuttuğu belirtilmiştir (Çamuşoğlu, 2023).

- Miselyum Bazlı Yapı Malzemesinin Üretim Süreci

- Miselyum organik atıklar (mısır sapı, buğday samanı, talaş vb.) ile beslenerek büyüyen bir yapıya sahiptir.

- Organik atıklar, mikroorganizmaların yok edilmesi için sterilizasyon işleminden geçirilir. Bu işlem mantarın sağlıklı büyümesini sağlamaktadır.

- Sterilize edilen organik atıklar 0,6-5 cm aralığında küçük parçalara bölünür, mantar miselleri ile homojen olarak birleştirilir. Mantar büyümeye başlar (Kutbay, 2022).

- Elde edilen karışım, ihtiyaç duyulan formda kalıplara (tuğla, yalıtım paneli veya prefabrik panel gibi) dökülür, istenilen şekilde sıkıştırılarak yoğunlaştırılır. Bu işlem ile elde edilecek yapı malzemesinin dayanıklılığı artırılmaktadır.

- Yerleştirilen kalıplar, uygun sıcaklık (20–30°C) ve nem (%60–80) koşullarında, karanlık ortamda birkaç gün bekletilir. Bu süreçte miselyum, organik malzeme üzerinde yayılır ve onu birleştirici bir yapıştırıcı gibi bağlar.

- Miselyum tüm yüzeyi kapladığında ve malzeme sertleştiğinde büyüme süreci tamamlanır.

- Sonraki aşama olan kurutma ile miselyum, yüksek sıcaklıkta kurutularak stabilize edilir. Daha fazla büyümesi durdurulan malzemenin kurutma işlemi ile

malzemenin dayanıklılığı artar, çürüme ve küflenmeye karşı koruma sağlanır. Üretilen malzeme testlerden geçirildikten sonra ihtiyaca göre kesilebilir ve yapıda kullanıma hazır hale gelir (Tazeoğlu Filiz ve Yıldırım, 2023).

2.5. Biyo-Bazlı Malzemeler ile İlgili Yapılmış Çalışmalar

Abu-jdayil, B. vd. (2019) çalışmalarında yapı sektörünün ısıtma ve soğutma için yoğun enerji tükettiğini ve yapıya uygulanacak yalıtım malzemesi ile bu enerji tüketiminin büyük ölçüde önlenebileceğini belirtmiştir. İklim değişikliğine karşı uygulanacak etkin eylemler arasında ‘yalıtımın optimum kullanılması ile enerji verimli binaların üretimi’ olduğu savunulmuştur. Yalıtım malzemelerinin doğal malzemelerden kullanılacak olması ile de hem üretim maliyetlerinin düşeceği hem de CO₂ emisyonlarını azaltacağı belirtilmiştir. Bu kapsamda çalışmada, literatürde yer alan, doğal liflerden oluşturulmuş yalıtım malzemelerine ait çalışmalar incelenmiştir. İncelenen çalışmalarda yer alan bilgilere göre; mantar malzemenin duvar elemanı olarak kullanıldığı yapının iç mekân termal dengesi için tüketilen enerji kaynaklı CO₂ emisyonu, tuğla duvarlı aynı eve kıyasla dörtte bir orana sahiptir. Doğal lifler; hafif, ekonomik, düşük yoğunluklu ve yenilenebilir malzemelerdir. Yaşam döngüsü sonunda kolay ve düşük enerji ile dönüştürülebilir, bertaraf edilen atıkların çevresel etkileri diğer yapı malzemelerine kıyasla çok daha düşüktür.

Atılğan, I.A. (2022), yüksek lisans tezi çalışmasında endüstriyel üretimi olan ekolojik ısı yalıtım malzemelerinden; “expanded insulation corkboard, MDFacade, Corkoco, CelluBOR” olmak üzere dört adet seçmiş, sırasıyla malzemelere ait ısı iletkenlik değerleri; 0.040W/mK-0.045W/mK-0.044W/mK-0.038W/mK olduğu belirtilmiştir. Bu malzemelerin numunelerini üretici firmalardan temin etmiş ve malzemeleri laboratuvar ortamında fiziksel-termal ve higrik özellikleri açısından deneylere tabi tutmuştur. Yapmış olduğu laboratuvar deneyleri ile malzemelere ait ısı iletkenlik değerlerini sırasıyla; 0.173W/mK-0.177W/mK-0.232W/mK-0.150W/mK olarak bulmuştur. Üretici firmaların analiz raporlarında paylaşmış olduğu değerlerden oldukça yüksek olarak elde edilen değerlerin sebebi olarak; yapmış olduğu laboratuvar testlerinin uygun koşullara sahip olmadığı ve anlık ısı iletecek deney düzeneğine sahip olmadığı şeklinde açıklamıştır. Ahşap çerçeveli bir konut üzerinden binanın higrotermal ve enerji performansının analizi için WUFI Plus yazılımını kullanmıştır. Simülasyon programı ile analizlerini yapmıştır.

Demir, İ. ve Elmalı, M. (2020) çalışmalarında; inşaat sektöründe çimento fabrikalarının, üretim süreçlerinde sebep oldukları CO₂ salınımı nedeniyle hava kirleticileri arasında ilk sırada yer aldığını belirtmiştir. Demir ve Elmalı'ya göre; 2017 yılında dünyada 4.1 milyar ton çimento üretilmiş olup, çimentoya talepte artış meydana gelmiştir. 1 ton çimento üretimi kaynaklı 1 ton CO₂ salınımı meydana gelmektedir. Bunlara ek olarak çevre için çeşitli zararlarının yanında dolaylı yoldan insan sağlığı için de ciddi tehlike arz etmektedir. Çimentoya duyulan ihtiyacın azaltılması ve bu olumsuz çevresel etkileri önleyebilmek için beton üretiminde kullanılan çimento ile ikame edilen ve çeşitli yapı malzemelerine katkı maddesi olarak kullanılan organik atıklar (pirinç kabuğu, şeker kamışı küspesi, odun lifleri, buğday samanı, mısır koçanı, çay atıkları, talaş, çim vb.) üzerine literatürde yer alan çalışmaları incelemiştir. Organik atıkların selüloz barındırması ve bu sayede çimento matrisini güçlendirmesi sayesinde çimento kompozitlerde sıkça tercih edildiğini, bu uygulama ile çimento üretimi azaltılarak karbon emisyonunun azaltılabileceğini belirtmiştir.

Bıyık, H.H. ve Özgür, A. (2024), makale çalışmalarında miselyum kompozitlerin çeşitli alanlarda kullanıldığını ve petrol kökenli polimerlere doğal alternatif biyopolimer üretildiğini belirtmiştir. Günümüzde kullanılan geleneksel yalıtım malzemelerinin olumsuz çevresel etkilerine karşın miselyum bazlı malzemelerin onlara doğal bir alternatif olarak görüldüğünü aktarmıştır. Miselyum kaynaklı üretilen malzemelerin; fungus türlerine ve kullanılan substrat çeşitlerine bağlı mekanik ve termal özelliklerinin değiştiği belirtilmiş ve çalışmada üç farklı mantar türü ve substrat olarak buğday samanı kullanılarak kalıplarda kompozit malzeme yetiştirilmiştir.

Demirbek, D.M. ve Oktav Bulut, M. (2021), çalışmalarında sürdürülebilir ve yenilenebilir yaklaşıma sahip malzeme seçimlerinde kenevir bitkisini ele almış, yapısal özelliklerine ayrıntılı olarak yer vermiştir. Kenevirin lif, tohum ve odunsu yapısının kullanım alanlarına tablo halinde değinmiştir. Kenevir bazlı kompozit yapı malzemelerini ve malzemelere ait fiziksel ve mekanik özellikleri deneysel analizler eşliğinde tablo olarak sunmuştur.

Devrim, B. (2023), yüksek lisans tezi çalışmasında biyomalzemelerin yapı sektöründe kullanımının yaygınlaştırılması amacı ile ülkemiz genelinde konu hakkında çalışmaların az olduğu ve bu eksikliğin giderilmesi adına biyomalzemelerin ulusal ve uluslararası projeler ile sektörde kullanımını örnek yapılar üzerinden sürdürülebilirlik bağlamında incelemiştir. Çalışma kapsamında biyomalzemeleri; geleneksel biyomalzemeler (bitkisel ve hayvansal), canlı organizma kullanılarak üretilen

biyomalzemeler olmak üzere iki grupta ele almıştır. Bu iki ana başlık altında söz konusu malzemeleri genel özellikleri ile aktarmıştır. Çalışma içerisinde bazı biyobazlı yapı örnekleri ve yapı malzemeleri sürdürülebilirlik kriterleri kapsamında incelenmiştir.

Ergün, B. (2022), çalışmasında kenevir+kireç karışımında bağlayıcı olarak kullanılan kirecin yüksek enerji tüketimi ile malzemenin gömülü enerjisini artırdığını, kireç yerine kil kullanımı ile elde edilecek malzemenin, birleşim oranlarındaki değişken değerlerin enerji verimi üzerine çalışma yapmıştır. Çalışmasında; günümüzde kullanılan dolgu duvar malzemeleri ile kenevir+kil yapı malzemesini karşılaştırmıştır. Literatür taraması kapsamında söz konusu malzemelerin mekanik özelliklerinin; birleşim oranlarına ve bağlayıcı türlerine göre değişkenlik gösterdiğini, standarda sahip olmadığını belirtmiştir.

Islam, S. ve Bhat, G. (2019), makale çalışmasında yapı sektörünün küresel düzeyde yüksek olumsuz etkilerinin bulunduğunu, kaynakların tüketimine sebep olan sektörlerin başında geldiğini belirtmiştir. Enerji tüketiminin %40'ından, CO₂ emisyonlarının ise %36'sından sorumlu olan yapı sektöründe enerji tüketiminin azaltılması gerektiği, yapıya uygulanacak yalıtım malzemeleri ile enerjide %65 oranda tasarruf sağlanabileceği vurgulanmıştır. Küresel CO₂ emisyonlarını azaltma yöntemi olarak da 'yapılara CO₂ azaltan yalıtım malzemelerinin kullanılması' yaygın olarak kullanılan bir teknik olarak değerlendirilmiştir. Günümüzde yoğun olarak kullanılan ısı yalıtım malzemeleri (EPS, XPS, mineral yünler vb.) yenilenemez ve tek kullanımlık olmalarına ek olarak, çevre ve sağlık açısından da sebep olduğu çeşitli sorunların çevre dostu yalıtım malzemelerine talebi artırdığını belirtmiştir. Ancak doğal ve geri dönüştürülmüş malzemelerden yapılmış ürünlerin piyasada çok az olduğu, büyük çoğunluğunun araştırma ve geliştirme sürecinde olduğunu vurgulamıştır.

Koçak, A.B. (2022), yüksek lisans tez çalışmasında kenevir liflerinin yangına ve haşerelere karşı güçlendirilmesi için borik asit çözeltisi ile katkılanmış (%10 ve %15 derişimli) ve katkılanmamış kenevir lifleri ile ağırlıkça 1:4 oranda kireç bağlayıcı ile elde edilmiş üç farklı numuneyi incelemiştir. Çalışmasında ayrıca yapı sektöründe kullanılan biyomalzemelere değinmiştir.

Kutbay, N.H. (2022), doktora tezi çalışmasında, miselyum malzeme üretimi için çeşitli substratlar ile çalışmalar yapmış üretimi başarılı olan buğday samanı ile çalışmaya devam etmiştir. Miselyum ve substrat olarak buğday samanı kullanılarak numuneler elde etmiştir. Numuneler kalıplama aşamasında üç farklı bekleme süreleri (32-36 ve 40gün) doğrultusunda gelişimleri tamamlanmış büyüme devam etmemesi için

süre sonunda fırınlanmıştır. Elde edilen numunelerin bekleme sürelerindeki etkisinin tespiti için göstermiş olduğu fiziksel-mekanik ve ısı testleri ile farklılıklarını incelemiştir. Bekleme süresinin malzeme yoğunluğuna etkisi olmadığı izlenmiştir. Çekme dayanımı en yüksek kırk gün bekletilende izlenmiştir (miselyum gelişimi süreye bağlı daha çok olduğu için). Miselyum yoğunluğu arttıkça yangın dayanımının da arttığı gözlenmiştir. Çalışmada; kompozit malzemede miselyum yoğunluğunun artırılmasının malzemede fiziksel ve mekanik anlamda avantaj sağladığı tespit edilmiştir.

Magwood, C., vd. (2021), “*Achieving Real Net-Zero Emission Homes: Embodied Carbon Scenario Analysis Of The Upper Tiers Of Performance In The 2020 Canadian National Building Code*” adlı teknik raporda; Kanada’da beş farklı şehir seçilmiş, bu şehirlerde aynı büyüklük ve performansa sahip, farklı malzemelerden yapılmış örnek yapıların karbon emisyonları kıyaslanmıştır. Net sıfır emisyonu ulaşılabilmesi için operasyonel karbon emisyonlarıyla beraber malzeme karbon emisyonlarının da ele alınması gerektiğini vurgulamıştır. Yalıtım, dış kaplama ve yapıda kullanılan betonun MCE (malzeme karbon emisyonu) üzerinde en etkili olan yapı malzemeleri olduğu aktarılmıştır. Enerji mevzuatı gereği yapıda kullanılan yalıtım malzemesinin kalın olması gerektiği, bunun da karbon yayan malzemeler (geleneksel yalıtım malzemeleri) ile yapılması sonucu binanın MCE’ sini artıracak ya da biyo-tabanlı, karbon depolayan malzemelerin kullanımı ile yapı karbon emisyonunu düşüreceği belirtilmiştir. En düşük emisyonu sahip malzemelerden en yüksek emisyonu sahip malzemeler olmak üzere malzemeleri dört sınıfta gruplandırmıştır. Bu malzemelerden oluşturulan 196 yapı senaryosu, aynı performans ve forma sahip iken, yüksek karbon emisyonlu ve düşük karbon emisyonlu olmak üzere farklı yapı malzemeleri kombinasyonları ile elde edilmiş, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Kullanılan yapı malzemeleri kaynaklı bina emisyon değerleri; $+758 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ ile $-84 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$ gibi çok geniş aralığa sahip sonuçlar meydana getirmiştir. Bu çalışma ile, yapılarda aynı büyüklük ve performans elde edilmesine rağmen, kullanılan malzemelerin emisyon değerleri dikkate alınmadan, yalnızca termal özellik ve maliyet gözetildiğinde çok yüksek karbon emisyonuna sebep olduğu gösterilmiş, yapıda kullanılacak malzemenin MCE değerleri açısından ne kadar önemli olduğunu ortaya koyulmuştur. Modellerde kullanılan, karbon negatif değerlerin elde edildiği biyo bazlı malzemeler ve geleneksel malzemelere ait CO_2 emisyon değerleri ve maliyetlerine ise tablo olarak yer verilmiştir. Magwood vd.,’ye göre; Biyo-bazlı malzemelerin büyük çoğunluğu tarımsal atıklardan elde edilir ve bitkiler fotosentez yoluyla CO_2 ’yi yakalayarak biyokütle

dönüştürür. Bir bitkinin kütlege %50'sini karbon oluşturur ve yanma-çürüme gerçekleşmediği sürece karbon biyoküttele tutulmaya devam eder. Bu özellikleri ile söz konusu biyokütle kaynaklarının yapıda kullanılması, önemli miktarlarda karbonun depolanarak yapı kullanım ömrü boyunca atmosfere geri dönmesini önleyerek, binayı karbon yutağı haline dönüştürmek için fırsat sunmaktadır. Bu bağlamda söz konusu malzemeler, net sıfır karbon veya negatif karbon yapılara ulaşmanın aracı olarak gösterilmiştir.

Olier, C.A.G. vd. (2024), makale çalışmalarında; doğal elyaflardan üretilen yalıtım panellerinin, ısı yalıtkanlık düzeylerini; okalıptüs kabuğu paneli, karton ve alfa elyaf atık paneli ile jüt ve polipropilenden yapılmış panel olmak üzere 3 adet yalıtım panelli ve 1 modül de yalıtım paneli uygulanmamış örnek ile olmak üzere 4 örnek üzerinden deneysel yöntem ile analiz etmiştir. Çalışma sonucunda okalıptüs kabuğu ve jüt panellerinin en iyi yalıtkan özellik gösterdiği tespit edilmiştir. 3 panelinde ısı transferini azaltma konusunda büyük potansiyele sahip oldukları aktarılmıştır. Ayrıca geleneksel yapı malzemelerine biyo bazlı tarımsal ve endüstriyel atıkların ilave edilmesi ile mekanik ve termal özelliklerinin güçlendiği, beton gibi ağır malzemelerin yükünün hafifletildiği aktarılmıştır.

Penaloza, vd. (2016), makale çalışmalarında biyo bazlı malzemelerin ve yapıda kullanılan biyo bazlı malzeme miktarının artırılmasının, iklim üzerindeki etkisini incelemektedir. Bu kapsamda 1)biyo bazlı malzeme içermeyen, 2)CLT-ağşap tasarım yapı, 3) artırılmış biyo malzemelerin kullanıldığı ağşap tasarım olmak üzere üç farklı yapı tipi incelenmiştir. Yapılar 50 ve 70 yıllık kullanım ömürlü olmak üzere malzemelerin 300 yıllık yaşam döngüsü analizi (malzemelerin kullanım ömrü sonu yakılması ve çöpe atılması gibi farklı kriterler eşliğinde) yapılmıştır. Çalışma sonucunda binada kullanılan biyo bazlı malzeme içeriğinin artmasının, yapı yaşam döngüsü değerlendirmesinde iklim etkisini azaltıcı eğilim gösterdiği belirtilmiştir.

Pittau, vd. (2018), makale çalışmalarında beş farklı teknikte yapılmış dış duvar çeşitlerinin gömülü karbon emisyonları üzerine inceleme yapılmıştır. Bu çalışma ile yapıda seçilecek olan malzemelerin yapı karbon emisyonu miktarına etkisi ve küresel emisyonu azaltma potansiyelinin gösterilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada incelenen beş duvar tipi şu şekildedir; Hızlı büyüyen biyojenik malzemenin (hasat edilen malzemenin yaklaşık bir yılda tekrar aynı miktar biyokütleye ulaşmasını ifade eder) ısı yalıtımı olarak kullanıldığı duvar tipleri; 1)STR(saman)- 2) HEM (kenevir), 3)cam yünü (mineral) yalıtımlı ağşap çerçeve sistemi duvar tipi ile EPS yalıtımı uygulanmış 4) tuğla

(BRI)- 5) betonarme sistem ile üretilmiş duvar tipidir. Ahşap yapı malzemeleri üretim ve inşa süreci kaynaklı karbon salınımı telafi etmesi için hasat edilen malzemenin aynı oranda biyokütleyle ulaşma süresi 90 yıl kabul edildiğinden, saman ve kenevir malzemeler küresel emisyonu azaltma açısından daha yüksek performansa sahip olarak değerlendirilmiştir. 4 ve 5 numaralı geleneksel inşaat yöntemleri biyojenik malzeme içermediğinden, yalnızca kullanılan kireç malzemenin karbonatlaşması sonucu CO₂ bağladığı, bağlanan miktarın ise çok az kalması nedeniyle yüksek başlangıç emisyonuna sahip oldukları belirtilmiştir. 1 ve 2 numaralı duvar sistemlerinde kullanılan hızlı büyüyen biyojenik malzemelerin en üst performans gösterdiği, kullanım miktarlarının yapılarda artırılması gerektiği belirtilmiştir.

Raja, P., vd. (2023), makale çalışmasında sürdürülebilir bir gelecek için, yapılarda enerji verimliliği sağlamanın yolu olarak geleneksel ısı yalıtım malzemeleri yerine biyo bazlı yalıtım malzemelerinin kullanımı olduğunu açıklamıştır. Biyo bazlı malzemelerin kullanımı ile 'küresel ısınma potansiyeli (GWP)'nin önemli ölçüde azaldığı ve söz konusu malzemelerin daha büyük ölçekte kullanımı ile GWP'nin daha da azaltılabileceği belirtilmiştir. Biyo bazlı malzemeler; yenilenebilir, sürdürülebilir, enerji verimli, oldukça düşük olumsuz çevresel etkili, antialerjik ve toksik madde içermeyen çevre dostu, doğal malzemeler olarak değerlendirilmiş ve çoğunlukla atık ürünlerden elde edildikleri için verimli bir atık yönetimi stratejisi sunduğu savunulmuştur. Sürdürülebilirlik ve çevresel sorumluluğun önemi hakkında farkındalığın artması ile, biyo bazlı malzemelere olan talebin artacağı vurgulanmıştır.

Xia, Q. (2024), çalışmasında miselyum malzemenin inşaat sektöründe kullanımının CO₂ emisyonları üzerindeki etkisi üzerine literatür taraması yapmıştır. Xia (2024)'ya göre miselyum bazlı malzemeler, düşük üretim enerjisi ve minimum çevresel etkiye sahiptir. Organik madde tüketerek büyüme sağlar ve bu süreçte karbonu biyokütleyle dönüştürerek bünyesinde etkin bir şekilde depolar. Bu sayede net CO₂ emisyonlarını azaltmaktadır. Yüksek mukavemete ve yalıtkan özelliğe sahiptir. Kullanım ömürleri sonunda biyolojik olarak parçalanabilir veya kompostlanabilir, atık oluşumunun önüne geçilir. Bu avantajları dolayısıyla, sürdürülebilir inşaat için umut verici özelliktedir.

Yadav, M., ve Agarwal, M. (2021), makale çalışmalarında yapı sektörünün küresel emisyonlara katkısının %50 orana sahip olduğunu ve yapı stoğunun hızlı bir artış gösterdiğini belirtmiştir. Dünyamızda zaten tükenmiş olan doğal kaynaklara talep oluşturmada bu yapı stoğu ihtiyacını karşılamada çevre dostu bir yolu olarak

biyobazlı yapı malzemelerinin kullanımı ile sürdürülebilir yapılar oluşturmak olduğunu savunmuştur. Biyo bazlı malzemeler, geleneksel malzemelere göre daha az enerji tüketerek enerji kaynaklı emisyonları düşürdüğü ve termal konfor sağlamaları dolayısıyla küresel sorunlara karşı eşsiz bir alternatif olarak değerlendirilmiştir. Geleneksel yapı malzemelerinin çevre üzerindeki etkileri; yüksek enerji tüketimi, sera gazı emisyonu, doğal kaynakların tüketimi ve yüksek miktarda atık üretimi gerçekleştirmektedir. Bunlara karşın biyo bazlı yapı malzemeleri ise karbon tutucu, sağlıklı ve ekolojik olarak değerlendirilmiştir. Biyo bazlı malzemeler oluşum süreci kaynaklı karbon ve enerji emisyonlarını azaltmasına ek olarak binaların kullanım süreçlerinde de termal konfor sağlayarak daha az enerji tüketimi gerçekleştirerek, geleneksel malzemelerin yerini alabilecek eşsiz malzemeler olarak değerlendirilmiştir.

Yıldız, B. (2022), yüksek lisans tezinde; Sürdürülebilirlik, ekoloji gibi kavramların tanımlarını yapmış, bitkisel esaslı malzemeleri bambu, kenevir, saman, mantar ve kamış esaslı malzemeler olarak beş alt başlıkta ele alarak; hammadde kaynaklarının yetiştirilmesi, üretim süreçleri, yapısal özellikleri ve yapı malzemesi olarak yapıda kullanım alanlarını incelemiştir. Ayrıca ekolojik olarak avantajları ve dezavantajlarına değinmiştir.

Yöney, E.G. (2019), tez çalışmasında iki farklı iklim bölgesinde, kerpiç yapıda kullanılan doğal duvar malzemeleri ve enerji tüketimleri arasındaki ilişkiyi incelemiştir. Kerpiç, tuğla, kalker taşı, kenevir tuğla ve saman balyası malzemelerinin 0.30m ve 0.50m kalınlıklarda yalıtımsız ve keten yünü yalıtım malzemesi (0.05m kalınlığında) uygulanmış çeşitleri ile toplam 20 farklı duvar seçeneği oluşturulmuş, çalışmada iklime bağlı duvar yönlerinde de değişiklikler gerçekleştirerek binaların enerji verimliliği incelenmiştir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, tez çalışmasında kullanılan materyal ve uygulanan yönteme ilişkin bilgiler ortaya konulmaktadır.

3.1. Materyal

Bu bölümde, çalışma çerçevesini oluşturan yüksek enerji tüketimi ve gömülü karbon değerine sahip yapı malzemelerinden ısı yalıtım malzemeleri üzerine alan çalışmasında kullanılacak, EPD belgesine sahip biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerine yer verilmektedir. Bu malzemelerin seçiminde, GYM ile verimli karşılaştırılabilmesi için yalnızca gömülü karbon ayak izleri bakımından değil, yapı kullanım süreçlerinde de eş veya benzer termal performans sergileyebilmesi için 0,032-0,041 W/m.K ısı iletkenlik değerlerini karşılaması referans alınmıştır. Hem benzer termal özellikte olması hem de endüstriyel ürün olmaları söz konusu malzemelerin mevcut piyasada GYM yerine kullanımlarına da avantaj sağlayacaktır. Söz konusu bu malzemelerinin ana hammaddeleri ile endüstriyel olarak üretilen ısı yalıtım malzemelerine aşağıda yer verilmiştir.

3.1.1. Kenevir Lifi

Kenevir lifi karbon tutucu görevi gören önemli biyokütle kaynaklarından biridir. 1hektar kenevir tarlası atmosferden yılda yaklaşık olarak 14,5 tCO₂ uzaklaştırır ve 90 m³'e kadar yalıtım malzemesi üretilir. Herhangi kimyasal ilaç gerektirmediği için zararlı gaz salınımına sebep olmaz. Mantara ve çürümeye karşı dayanıklıdır. Oldukça hızlı büyüdüğü için sürdürülebilirdir (Thermo-Hanf, t.y.). EPD belgesi bulunan ve alan çalışmasında kullanılmak üzere incelenen endüstriyel ısı yalıtım malzemeleri aşağıda detaylı olarak açıklanmaktadır.

❖ IndiBreathe Flex®

- İçerik; %68 kenevir lifi+ %22 geri dönüştürülmüş jüt+%9 polimer bağlayıcı+%1 sodyum karbonat(yangın geciktirici)'den elde edilmiştir.
- Kullanım ömrü sonunda tekrar işlenebilir veya geri dönüştürülebilir.

- Somutlaşmış ve kullanım karbon emisyonlarını azaltır.
- Yapıda termal ve akustik yalıtım sağlar.
- Çökmeye karşı dayanıklıdır.
- Nem ve küfe karşı dayanıklıdır (IndiNature, t.y.).

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 370x1200mm, 40-60-80-100-140mm
570x1200mm, 40-60-80-100-140mm
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.039W/m.K (20-100mm)
0.042W/m.K (120-140mm)
- Yoğunluk (ρ): 34 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): 2370 J/(kgK)
- Buhar difüzyon direnci (μ): 1.3
- Yangın Sınıfı: E – PASS
- Net somut karbon: -0,51 kgCO₂eq/kg (A1-3, LCA)
- Ses azaltma: Min 41dB (50mm+)
- Ses emilimi: Class C (40mm) – Class A (100mm) (IndiNature, t.y.).

❖ **IndiTherm**

- İçerik; %90 kenevir lifi +%9 polimer bağlayıcı+<%1 sodyum karbonat(yangın geciktirici)'den elde edilmiştir.
- Kullanım ömrü sonunda tekrar işlenebilir veya geri dönüştürülebilir.
- Somutlaşmış ve kullanım karbon emisyonlarını azaltır.
- Yapıda termal ve akustik yalıtım sağlar.
- Çökmeye karşı dayanıklıdır.
- Nem ve küfe karşı dayanıklıdır.
- Malzeme hizmet ömrü, yapı hizmet ömrü (ortalama 60 yıl) kadar kabul edilir (IndiNature, t.y.).

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 370x1200mm, 20-30-50-80-100-140mm
570x1200mm, 20-30-50-80-100-140mm

- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.039W/m.K (20-100mm)
- Yoğunluk (ρ): 45 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): 2100 J/(kgK)
- Buhar difüzyon direnci (μ): 1.3
- Yangın Sınıfı: E – PASS
- Net somut karbon: -0,79 kgCO₂eq/kg (A1-3, LCA)
- Ses azaltma: Min 40dB (50mm+) (IndiNature, t.y.).

❖ Thermo Hemp Combi Jute

Kenevir lifi ve geri dönüştürülmüş katkı liflerinden (jüt+ bağlayıcı lif) üretilen yalıtım battaniyesi hem eski yapıların onarımında hem de yeni yapılarda duvar, çatı, asma tavan, çatı arası boşluğu gibi alanlarda kolaylıkla kullanılabilir. Kenevir lifli bu yalıtım malzemesi;

- Kullanım ömrü sonunda tekrar işlenebilir veya geri dönüştürülebilir.
- Somutlaşmış ve kullanım karbon emisyonlarını azaltır.
- Yapıda termal ve akustik yalıtım sağlar.
- Çökmeye karşı dayanıklıdır.
- Nem, küf ve yangına karşı dayanıklıdır.
- Malzeme hizmet ömrü, destek lifli kenevir yalıtım levhaları için 50yıl olarak bilinir, ancak yapı hizmet ömrü kadar kabul edilir. (Ecological, t.y.).

1m³ yalıtım malzemesi için EPD belgesi beyan edilmiştir. Beyan edilen ürüne ait içerik; %66 kenevir lifi+ %22 geri dönüştürülmüş jüt lifi+%8 polimer bağlayıcı lif +%4 soda (yangın geciktirici)'dan oluşmaktadır.

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 580 x 375mm x 30-40-50-60-80-100-120-140-160-200-220mm
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.040W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 36 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): 2300 J/(kgK)
- Buhar difüzyon direnci (μ): 1-2

- Yangın Sınıfı: E
- Net somut karbon: -20,30 kgCO₂eq/m³ (A1-3, LCA)
- Ses azaltma: -
- Ses emilimi: Class C (40mm) – Class A (100mm) (Ecological, t.y.).

3.1.2. Ahşap Lifi

Ahşap lifli yün paneller, üstün yalıtım performanslarının yanında başka birçok avantaja sahiptir. Nem ve küfe dayanıklı, hafif, güçlü, sağlam, uzun ömürlü, çeşitli yüzey dokusu-renk ve boyut imkânı, kolay kurulum, sürdürülebilir ve düşük çevresel etkiye sahip olma şeklinde sıralanabilir. Uzun yıllar çok sayıda farklı iklim koşullarında çalışılmış ve denenmiştir. Referans hizmet ömrü 50 yıldır, kullanım ömrü boyunca bakıma ihtiyaç duymaz, yangına dayanıklıdır (Heraklith, t.y.). Alan çalışmasında kullanılmak üzere incelenen yalıtım malzemeleri aşağıda belirtilmiştir.

❖ Gutex ThermoWall-L

Gutex ahşap lifi yalıtım malzemeleri ahşap ve çelik strüktür yapılarda, kolon-kiriş-tavan-çatı arası boşluklarda, beton-tuğla duvar gibi dış cephe elemanlarında kullanıma uygundur. Çeşitli alanlar için farklı form ve kalınlıklarda üretilir. Bu levhalar;

- Kullanım ömrü sonunda tekrar işlenebilir veya geri dönüştürülebilir.
- Somutlaşmış ve kullanım karbon emisyonlarını azaltır.
- Yapıda termal ve akustik yalıtım sağlar.
- Kolay ve hızlı kurulum sağlar.
- Nem ve küfe karşı dayanıklıdır.
- Malzeme hizmet ömrü ortalama 40yıl kabul edilmektedir (Gutex, t.y.).

1m³ birim ve 167 kg/m³ yoğunluğa sahip ahşap elyaf yalıtım malzemesi için EPD belgesi beyan edilmiştir. Beyan edilen ürüne ait içerik; %95 köknar/ladin + %4 PUR reçine +%1,5 parafinden oluşmaktadır.

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 580 x 375mm x 20-240mm arası kalınlığa sahiptir.

- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.037W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 167 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): 2100 J/(kgK)
- Buhar difüzyon direnci (μ): -
- Yangın Sınıfı: E
- Net somut karbon: -198,40 kgCO₂eq/m³ (A1-3, LCA) (Gutex, t.y.).

❖ Heratecta

Ahşap lifi yalıtım levhası EPS ve çimento harcı ile üretilmiş kompozit ahşap lifli yalıtım panelidir. Kg karşılığı olarak yalıtım levhası bileşim yüzdeleri;

- Çimento %44-46
- Ladin ağacı %15-22
- EPS %13-16
- Su %9
- Boya %2
- Koruyucu %0,5-2

Yalıtım paneli için 1m² heratecta, 100mm kalınlık, 70 kg/m³ yoğunluk ve 3,02 m²K/W R değerine sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiş, ısı iletkenlik değeri yaklaşık olarak=0.032W/m.K olarak ifade edilmiştir.

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 985x585x50-75-100-125-150-175mm
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.033W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 70 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): -
- Buhar difüzyon direnci (μ): -
- Yangın Sınıfı: A2
- Net somut karbon: 13,20 kgCO₂eq/ m² (A1-3, LCA)
- Ses azaltma: - (Heraklith, t.y.).

❖ Heraklith, Tektalan

Ahşap lifi ve taş yünü ile üretilmiş kompozit yalıtım panelidir. Kg karşılığı olarak yalıtım levhası bileşim yüzdeleri;

- Taş yünü %51-57
- Çimento %11
- Ladin ağacı %23
- Kum %0-6
- Su %5
- Boya %1
- Kalsiyum karbonat tozu %1

Yalıtım paneli için; 1m² Tektalan, 100mm kalınlık, 170 kg/m³ yoğunluk ve 2,67 m²K/W R değerine sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiştir. $R=d/\lambda$ formülünden $[2,67= 0.1m/\lambda]$, (λ) ısı iletkenlik değeri yaklaşık olarak=0.037W/m.K bulunmaktadır.

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 1000x600x50-75-100-125-150-175-200-225mm
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.0375W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 170 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): -
- Buhar difüzyon direnci (μ): -
- Yangın Sınıfı: A2
- Net somut karbon: 26,50 kgCO₂eq/ m² (A1-3, LCA)
- Ses azaltma: - (Heraklith, t.y.).

3.1.3. Çim Lifi

Biyomalzeme çeşitlerinden çim, son yıllarda çeşitli amaçlarla kullanımı üzerine çalışmaların olduğu biyokütle kaynağıdır. Yapı endüstrisinde kullanımı üzerine AR-GE çalışmaları yapılmaktadır. Kullanım alanı henüz diğer bitkisel lifler gibi yoğun değildir.

EPD belgesi olan endüstriyel ürün örneği “Gramitherm”; yüksek termal performans ve oldukça düşük çevresel etki sunmaktadır (Gramitherm, t.y.).

❖ GramiTherm

Mevcut biyokütleyi tehdit etmeden, biçilmiş atık çimlerin geri dönüştürülmüş jüt lifleri ile bağlayıcı kullanılarak birleştirilmesi ile elde edilir. Üretilen malzeme kullanım ömrü sonunda atık oluşturmada geri dönüştürülebilir veya kompostlanabilir. Bir hektar çimden 200m³ yalıtım ürünü elde edilmekte ve 3,6t CO₂ bağlanmaktadır. Yapıda termal ve akustik yalıtım sağlar. Mantara ve yangına karşı dayanıklıdır. Yangın esnasında alev oluşturmaz ve yüzeyde meydana gelen kömürleşme ile ilerlemesi önlenir. Yalıtım battaniyesi, ahşap çerçeve sistem duvarda, çift katmanlı duvar boşluklarında, tavan-kiriş boşlukları, eğimli zemin ve çatı araları için kullanıma uygundur. Referans hizmet ömrü 60yıldır. Çim ve jüt lifli yalıtım paneli, kg karşılığı olarak bileşim yüzdeleri;

- Çim lifi %72
- Geri dönüştürülmüş jüt lifi %20
- Polietilen bağlayıcı %8 (Gramitherm, t.y.).

Yalıtım paneli için; 1m² Gramitherm, 100mm kalınlık, 40 kg/m³ yoğunluk ve 2,47 m²K/W R değerine sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiştir.

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 1200x600mmx45-60-70-80-90-100-120-140-160-180-200-240mm
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.041W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 40 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): 1560 J/kg.K
- Buhar difüzyon direnci (μ): 2
- Yangın Sınıfı: EuroClass E
- Net somut karbon: -5,01 kgCO₂eq/m² (A1-3, LCA)
- Ses azaltma: - (Gramitherm, t.y.).

3.1.4. Mantar

Alan çalışmasında kullanılmak üzere incelenen EPD belgesine sahip mantar bazlı endüstriyel ısı yalıtım malzemeleri özellikleri, aşağıda ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

❖ Expanded Insulation Corkboard (Genleştirilmiş mantar yalıtım levhası)

%100 dönüştürülebilir malzeme olan mantardan üretilmiştir. Yüksek termal ve akustik yalıtım performansına sahiptir. İç ve dış mekanlarda kullanıma uygundur. Çatı, tavan, duvar, döşeme ve zeminde kullanılır (şekil 4.34). Oldukça düşük gömülü enerjisi vardır. Karbon negatif malzemedir. Hava kalitesini dengeler. Dayanıklısıdır (ThermaCork, t.y.).

Yalıtım levhası için; 1 m³ Expanded Insulation Corkboard, 1000x500x300mm kalınlık, 115 kg/m³ yoğunluğa sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiştir. Her 100mm malzeme için 2,50m²K/W=R değerine sahiptir (ThermaCork, t.y.).

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 1000 x 500mm x 20-300mm aralığında kalınlığa sahiptir.
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.040W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 115 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): -
- Buhar difüzyon direnci (μ): -
- Yangın Sınıfı: -
- Net somut karbon: -2040.00 kgCO₂eq/m³ (A1-3, LCA) (ThermaCork, t.y.).

❖ Expanded cork granules;

Mantar yalıtım levhaları üretimi sırasında açığa çıkan atık mantar malzemelerden elde edilen yan üründür. Granül halde bulunur, şap, döşeme ve duvar boşluklarında dolgu olarak kullanılır. %100 doğal ve tamamen geri dönüştürülebilir olan malzeme, yapıda ısı ve ses yalıtımı açısından yüksek performans sergiler. Karbon negatiftir.

Yalıtım malzemesi için; 1m³ Expanded Cork Granules, 70 kg/m³ yoğunluğa sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiştir. Her 100mm malzeme için 2,50m²K/W=R değerine sahiptir (ThermaCork, t.y.).

Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 1-3,3-5,3-10,3-15mm granüller
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.041W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 70 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): -
- Buhar difüzyon direnci (μ): -
- Yangın Sınıfı: -
- Net somut karbon: -2520.00 kgCO₂eq/m³ (A1-3, LCA) (ThermaCork, t.y.).

3.1.5. Hayvan Tüyü

Alan çalışmasında kullanılmak üzere incelenen hayvansal kaynaklı koyun yünü ısı yalıtım malzemesi aşağıda belirtilmiştir.

Koyun Yünü Yalıtım levhası / ThermaFleece UltraWool

Koyun yünü yalıtım levhası için; 1m² birim ve 1 m²K/W R değerine sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiştir. $R=d / \lambda$ formülünden [$1= d / 0.035$], beyan edilen ürününe ait kalınlık (d) =0.035m'dir.

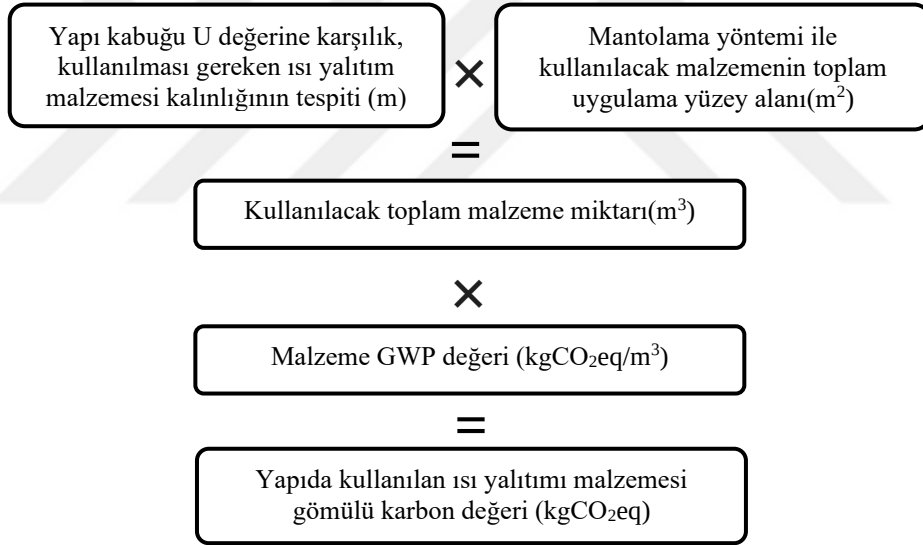
Teknik Özellikler;

- Malzeme boyutları: 390x590x50-70-90mm
- Isıl İletkenlik Katsayısı (λ): 0.035W/m.K
- Yoğunluk (ρ): 31 kg/m³
- Özgül ısı kapasitesi (C): 1800 J/kgK
- Buhar difüzyon direnci (μ): -
- Yangın Sınıfı: E
- Net somut karbon: 0,0461 kgCO₂eq/ m² (A1-3, LCA) (Thermafleece, t.y.).

3.2. Yöntem

Bu bölümde, yüksek enerji tüketimi ve küresel etkiye sebep olan güncel ısı yalıtımı malzemelerinin, biyo-bazlı malzemeler ile gömülü karbon değerleri bağlamında karşılaştırmalı analizi için uygulanacak yöntem anlatılmıştır.

Materyal bölümünde ele alınan ve değişken veri olarak kabul edilen ısı yalıtım malzemelerinin, yaklaşık aynı U değerine sahip referans bina yapı kabuğunda kullanımları sonucu gerekli toplam malzeme miktarları m^3 cinsinden hesap edilmiştir. Elde edilen bu veriler ve EPD belgesinde beyan edilen GWP değerleri kullanılarak malzemelerin gömülü karbon değeri hesaplanmıştır. Referans bina yapı kabuğundaki katmanlardan yalnızca ısı yalıtım malzemeleri için hesap yapılmıştır. Hesap yöntemi akış şeması Şekil 3.1 ile ifade edilmiştir.



Şekil 3.1: Malzeme gömülü karbon emisyonu hesap yöntemi

3.2.1. Referans Bina (Ref-B)

Referans bina, Türkiye'deki mevcut yapı stoğunda en yoğun kullanılan yapıım sistemi referans alınarak, tek katlı yapı ölçeğinde çalışılmak üzere iskelet yapıım sistemi ile oluşturulmuştur. Bu doğrultuda alan çalışmasında kullanılmak üzere standart konut büyüklüğünde, tek katlı betonarme karkas yapı tasarlanmıştır. Alan çalışması verileri tek kat ölçeğinde somutlaştırılmış olup ulaşılan veriler çok katlı yapılara kat adedince

uyarlanabilecektir. Tasarlanan söz konusu referans bina, çalışmada “Ref-B” kısaltmasıyla kullanılmıştır.

Referans Bina Özellikleri

Taban alanı: 96m^2 (8m x 12m)

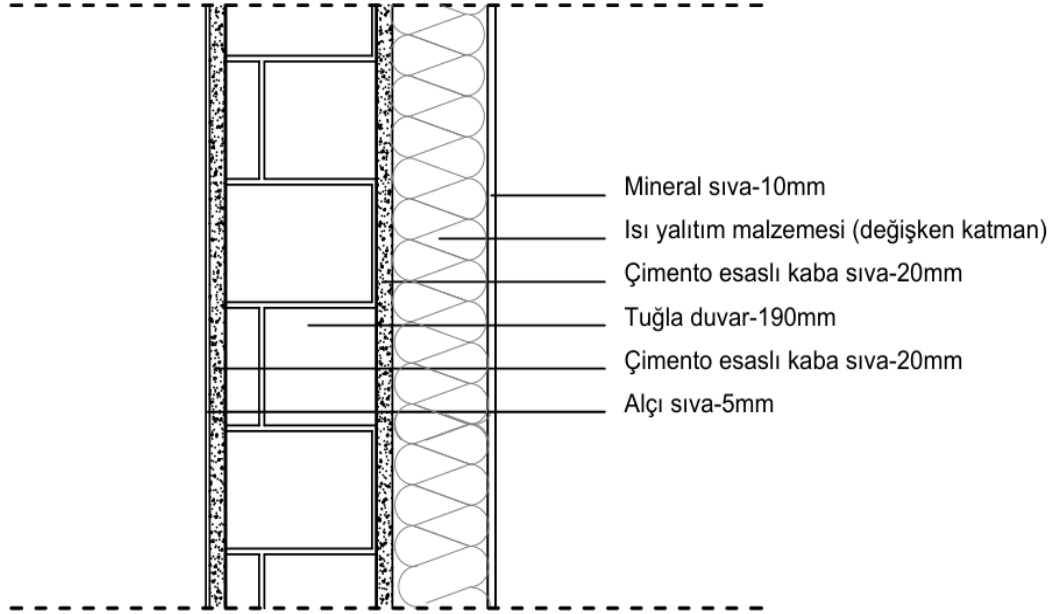
Kat yüksekliği: 3m

Dış cephe, toplam yüzey alanı: 120 m^2

Dış cephe doluluk/boşluk oranı: %30

Dış cephe, toplam yüzey alanı (kapı-pencere boşlukları hariç): 84m^2

Yapıya uygulanacak ısı yalıtım malzemelerinin toplam yüzey alanı 84 m^2 olarak ölçülmüştür. Isı yalıtım malzemelerinin uygulanacağı, Ref-B düşey yapı kabuğuna ait kesit detayı Şekil 3.2 ile ifade edilmiş olup Türkiye’de uygulanan TS-825’de yer alan duvar katmanları ile oluşturulmuştur.



Şekil 3.2: Ref-B duvar kesit detayı

3.2.2. Isı Yalıtım Malzemeleri Metraj Hesabı

Ref-B duvar modülleri; düşey yapı kabuğunda belirtilen sabit katmanlar ve değişken katmanda söz konusu ısı yalıtım malzemeleri kullanılarak $U_{\max}:0,250\text{ W/m}^2\text{K}$

değeri çerçevesinde oluşturulmuş, malzeme kalınlıkları U değeri sınırlarında tespit edilmiştir. Bu veriler ile Ref-B yüzey alanı verisi kullanılarak malzeme metraj hesapları m^3 birim cinsinden yapılmıştır.

3.2.3. Isı Yalıtım Malzemeleri GWP Değeri Birim Dönüşümü

Yapı kabuğunda kullanılacak ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon hesabının kolay yapılabilmesi için bütün malzemelere ait GWP değerleri aynı birime dönüştürülerek m^3 cinsinden hesaplanmıştır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1: Malzeme örnekleri GWP birim dönüşümü

Malzeme	Birim	GWP değeri
IndiBreathe Flex®	m^3	-17,34 $kgCO_2eq/m^3$ (1kg ürün için -0,51 $kgCO_2eq$ bildirilmiş, (p): 34 kg/m^3 'ten 1 m^3 malzeme için -17,34 $kgCO_2eq$ hesaplanır).
IndiTherm	m^3	-35,55 $kgCO_2eq/m^3$ (1kg ürün için -0,79 $kgCO_2eq$ bildirilmiş, (p): 45 kg/m^3 'ten 1 m^3 malzeme için -35,55 $kgCO_2eq$ hesaplanır).
Thermo Hemp Combi Jute	m^3	-20,30 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^3 ürün için -20,30 $kgCO_2eq/m^3$ bildirilmiştir).
Gutex ThermoWall-L	m^3	-198,40 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^3 ürün için -198,40 $kgCO_2eq/m^3$ bildirilmiştir).
Heratecta	m^3	132,00 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^2 ve 0,1m kalınlığa sahip ürün için 13,20 $kgCO_2eq/ m^2$ bildirilmiş, beyan edilen birim 0,1 m^3 malzemeye eştir).
Heraklith, Tektalan	m^3	264,30 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^2 ve 0,1m kalınlığa sahip ürün için 26,43 $kgCO_2eq/ m^2$ bildirilmiş, beyan edilen birim 0,1 m^3 malzemeye eştir).
GramiTherm	m^3	-50,12 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^2 ve 0,1m kalınlığa sahip ürün için -5,012 $kgCO_2eq/ m^2$ bildirilmiş, beyan edilen birim 0,1 m^3 malzemeye eştir).
Expanded Insulation Corkboard	m^3	-2040,00 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^3 ürün için -2040,00 $kgCO_2eq/m^3$ bildirilmiştir).
Expanded cork granules	m^3	-2520,00 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^3 ürün için -2520,00 $kgCO_2eq/m^3$ bildirilmiştir).
ThermaFleece UltraWool	m^3	1,317 $kgCO_2eq/m^3$ (1 m^2 ve 0,035m kalınlığa sahip ürün için 0,0461 $kgCO_2eq/ m^2$ bildirilmiş, beyan edilen birim 0,035 m^3 malzemeye eştir).

3.2.4. Isı Yalıtım Malzemelerinin Gömülü Karbon Değeri Tespiti Yöntemi

Tez çalışması kapsamında yaklaşık aynı U değerine sahip ve aynı büyüklükteki yüzeye uygulanmaları durumunda, kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin küresel etkisinin karşılaştırmalı analizi için Yaşam Döngüsü Değerlendirmesi (YDD-LCA Life Cycle Assessment) metodolojisinde A1-A3 aşamaları baz alınmıştır. Bu verilerin tespiti için yalnızca EPD (Environmental Product Declaration) belgesi olan ısı yalıtım malzemeleri çalışmaya dahil edilmiştir. Çalışmaya dahil edilen her bir ısı yalıtım malzemesi için EPD belgelerinde beyan edilen Küresel Isınma Potansiyeli (GWP: Global Warming Potential) verileri A1-A2-A3 aşamaları için toplam emisyon değerleri kgCO_2eq karşılığı olarak beyan edilen birim ile malzeme verilerinde aktarılmıştır. GWP değerleri her bir malzeme için m^3 birime dönüştürülmüştür. Yaklaşık aynı U değeri ile oluşturulan referans bina duvar katmanlarında kullanılacak malzeme kalınlıkları tespit edilmiş, toplam malzeme miktarı m^3 cinsinden hesaplanmıştır. Metraj hesabı ile ulaşılan bu değerler ve m^3 birime çevrilen GWP değerleri kullanılarak, yapıda kullanılmaları halinde ilgili yapı malzemelerinin sebep olacağı gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, tez çalışmasının temel amacı kapsamında GYM ve biyo-bazlı malzemelerin referans binada, yaklaşık aynı U değerine sahip oluşturulan yapı kabuğuna uygulanmaları sonucu ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon değeri kaynaklı küresel etkilerinin analizi yer almaktadır. Bir önceki bölümde aktarılan referans bina bilgileri ve yapı malzemelerinin EPD belgelerinden elde edilen veriler doğrultusunda yapı kabukları oluşturulmuş, malzeme kalınlıkları tespit edilmiştir. Bu bilgiler ile her bir yapı kabuğundaki ısı yalıtım malzemelerinin m³ birim karşılığı gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır. Referans bina terimi için Ref-B kısaltması kullanılmıştır.

4.1. Referans Bina Duvar Modülleri

Bu bölümde, betonarme karkas binada kullanılacak düşey yapı kabuğu katmanları belirtilmiştir. Bütün ısı yalıtım malzemelerinin uygulanacağı düşey yapı kabuğundaki sabit katmanlar Çizelge 4.1’de paylaşılmış, ısı yalıtım malzemeleri değişken katman olarak ifade edilmiştir. Her bir yalıtım malzemesinin sabit katmanlı yapı kabuğuna uygulanması ile taban değeri U: 0,250 W/m²K olmak üzere, ($\pm 1\%$) yaklaşık aynı U değerine sahip yapı kabuklarında kullanılabilecek malzeme kalınlıkları hesap edilmiş, malzemenin uygulanacağı toplam yüzey alanı doğrultusunda toplam kullanım miktarları / metrajı m³ cinsinden tespit edilmiştir. EPD belgelerinden elde edilen GWP değerleri kullanılarak, ilgili malzemelerin Ref-B’de kullanımları sonucu oluşan gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır.

Çizelge 4.1: Ref-B yapı kabuğu, sabit katmanlar ve değişken katman

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)
R_{iç}		
Alçı sıva (sabit katman)	0,005	0,51
Çimento esaslı kaba sıva (sabit katman)	0,02	1,60
Tuğla duvar (sabit katman)	0,19	0,32
Çimento esaslı kaba sıva (sabit katman)	0,02	1,60
Yalıtım malzemesi (değişken katman)	-	-

Mineral sıva (sabit katman)	0,01	0,35
$R_{dış}$		

4.1.1. Ref-B1 Duvar Modülü (IndiBreathe Flex®)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2: Ref-B1 Duvar modülü-kenevir bazlı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
$R_{iç}$			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
IndiBreathe Flex (değişken katman)	0,125	0,039	3,205	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
$R_{dış}$			0,04	
Toplam			4,034	0,248

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 12,5cm kalınlığında uygulanan kenevir bazlı ısı yalıtım malzemesi ile U:0,248 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 12,5cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı / Malzeme metraj hesabı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,125m=10,5m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: -17,34 kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir.

Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,5m³ x -17,34 = -182,07 kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur.

İncelenen kenevir bazlı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosferde bulunan CO₂e sera gazlarından 182,07 kg gazı bünyesinde tutmuştur.

4.1.2. Ref-B2 Duvar Modülü (IndiTherm)

Isı yalıtım malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.3).

Çizelge 4.3: Ref-B2 Duvar modülü-kenevir bazlı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
IndiTherm (değişken katman)	0,125	0,039	3,205	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,034	0,248

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 12,5cm kalınlığında uygulanan kenevir bazlı ısı yalıtım malzemesi ile U:0,248 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 12,5cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,125m=10,5m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: -35,55 kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir.

Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,5m³ x -35,55 = -373,275 kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen kenevir bazlı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosferde bulunan CO₂e sera gazlarından 373,275 kg gazı bünyesinde tutmuştur.

4.1.3. Ref-B3 Duvar Modülü (Thermo Hemp Combi Jute)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.4).

Çizelge 4.4: Ref-B3 Duvar modülü-kenevir bazlı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Thermo Hemp Combi Jute (değişken katman)	0,13	0,040	3,25	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,08	0,245

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 13cm kalınlığında uygulanan kenevir bazlı ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,245 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit

edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 13cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,13m=10,92m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı;

GWP: -20,30 kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,92m³ x -20,30 = -221,68 kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen kenevir bazlı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosferde bulunan CO₂e sera gazlarından 221,68 kg gazı bünyesinde tutmuştur.

4.1.4. Ref-B4 Duvar Modülü (Gutex ThermoWall-L)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.5).

Çizelge 4.5: Ref-B4 Duvar modülü-ahşap lifli yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Gutex ThermoWall-L (değişken katman)	0,12	0,037	3,243	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,072	0,246

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 12cm kalınlığında uygulanan ahşap lifi bazlı ısı yalıtım malzemesi ile $U:0,246 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 12cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m^3):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m^2) x malzeme kalınlığı (m); $84\text{m}^2 \times 0,12\text{m}=10,08\text{m}^3$ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: $-198,40 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$ 1m^3 malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m^3) x GWP değeri (m^3) formülü kullanılır.

$10,08\text{m}^3 \times -198,40 = -2000\text{kgCO}_2\text{eq}$. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen ahşap lifi bazlı yalıtım malzemesi, Ref-B’de kullanılarak atmosferde bulunan CO_2 e sera gazlarından 2000 kg gazı bünyesinde depolamıştır.

4.1.5. Ref-B5 Duvar Modülü (Heratecta)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Ref-B5 Duvar modülü-ahşap lifli kompozit yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	U ($\text{W/m}^2\text{K}$)
$R_{iç}$			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Heratecta (değişken katman)	0,10	0,032	3,125	

Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4	0,25

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 10cm kalınlığında uygulanan ahşap lifli bazlı kompozit ısı yalıtım malzemesi ile $U:0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 10cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); $84\text{m}^2 \times 0,10\text{m} = 8,4\text{m}^3$ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı;

GWP: $132,00\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

$8,4\text{m}^3 \times 132,00 = 1108,8\text{kgCO}_2\text{eq}$. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen ahşap lifli bazlı kompozit yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosfere 1108,8 kgCO₂e sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.6. Ref-B6 Duvar Modülü (Tekalan)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.7: Ref-B6 Duvar modülü-ahşap lifli kompozit yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	

Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013
Tektalan (değişken katman)	0,125	0,037	3,378
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029
R _{dış}			0,04
Toplam		4,207	0,238

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 12,5cm kalınlığında uygulanan ahşap lifi bazlı kompozit yalıtım malzemesi ile U: 0,238 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 12,5cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,125m=10,5m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı;

GWP: 264,30kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,50m³ x 264,30 = 2775,15kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen ahşap lifi bazlı kompozit yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosfere 2775,15 kgCO₂e sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.7. Ref-B7 Duvar Modülü (Gramitherm)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8: Ref-B7 Duvar modülü-çim lifi yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
GramiTherm (değişken katman)	0,13	0,041	3,17	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,00	0,250

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 13cm kalınlığında uygulanan çim lifi bazlı ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,250 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 13cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,13m=10,92m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: -50,12 kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,92m³ x -50,12 = -547,31kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen çim lifi bazlı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosferde bulunan CO₂e sera gazlarından 547,31 kg gazı bünyesinde depolamıştır.

4.1.8. Ref-B8 Duvar Modülü (Expanded Insulation Corkboard)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.9).

Çizelge 4.9: Ref-B8 Duvar modülü-mantar bazlı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Expanded Insulation Corkboard (değişken katman)	0,13	0,040	3,25	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,08	0,245

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 13cm kalınlığında uygulanan mantar bazlı ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,245 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 13cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,13m=10,92m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: -2040,00kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

$10,92\text{m}^3 \times -2040,00 = -22276,80\text{kgCO}_2\text{eq.}$ toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen mantar bazlı ısı yalıtım malzemesi, Ref-B’de kullanılarak atmosferde bulunan CO_2 e sera gazlarından $22276,80\text{kg}$ gazı bünyesinde depolamıştır.

4.1.9. Ref-B9 Duvar Modülü (Expanded Cork Granules)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.10: Ref-B9 Duvar modülü-mantar bazlı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Expanded Cork Granules (değişken katman)	0,13	0,041	3,17	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,00	0,250

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 13cm kalınlığında uygulanan mantar bazlı ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,250 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 13cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); $84\text{m}^2 \times 0,13\text{m}=10,92\text{m}^3$ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: -2520,00 kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir.

Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,92m³ x -2520,00 = -27518,4 kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen mantar bazlı ısı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosferde bulunan CO₂e sera gazlarından 27518,4 kg gazı bünyesinde depolamıştır.

4.1.10. Ref-B10 Duvar Modülü (ThermaFleece UltraWool)

Isı yalıtım malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.11).

Çizelge 4.11: Ref-B10 Duvar modülü-koyun yünü yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
UltraWool (değişken katman)	0,115	0,035	3,28	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,11	0,244

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 11,5cm kalınlığında uygulanan koyun yünü ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,244 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 11,5cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,115m=9,66m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: 1,317kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

9,66m³ x 1,317 = 12,72kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen koyun yünü ısı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosfere 12,72 kgCO₂e sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.11. Ref-B11 Duvar Modülü (Jackofoam 300-XPS)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.12). 1m² XPS yalıtım levhası için, 0,034m kalınlık ve R:1 m²K/w değerine sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiş, EK-1 de paylaşılmıştır. λ:0,034W/m.K olan ürünün 0,034m³ miktarı için belirtilen toplam GWP (A1-A3): 2,812 kgCO₂eq'dir. 1m³ GWP (A1-A3):82,706 kgCO₂eq hesaplanmıştır.

Çizelge 4.12: Ref-B11 Duvar modülü-XPS ısı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Jackofoam 300-XPS (değişken katman)	0,11	0,034	3,23	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,06	0,246

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 11cm kalınlığında uygulanan XPS ısı yalıtım malzemesi ile $U: 0,246 \text{ W/m}^2\text{K}$ değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 11cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m^3):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m^2) x malzeme kalınlığı (m); $84\text{m}^2 \times 0,11\text{m}=9,24\text{m}^3$ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: $82,706\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$ 1m^3 malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m^3) x GWP değeri (m^3) formülü kullanılır.

$9,24\text{m}^3 \times 82,706\text{kg}=764,20\text{kgCO}_2\text{eq}$. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen XPS ısı yalıtım malzemesi, Ref-B’de kullanılarak atmosfere $764,20 \text{ kgCO}_2\text{e}$ sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.12. Ref-B12 Duvar Modülü (Jackopor 80 EPS)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.13). 1m^2 EPS yalıtım levhası için, $0,038\text{m}$ kalınlık ve $R:1 \text{ m}^2\text{K/w}$ değerine sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiş EK-1 de paylaşılmıştır. $\lambda:0,038\text{W/m.K}$ olan ürünün $0,038\text{m}^3$ miktarı için belirtilen toplam GWP (A1-A3): $1,726 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ ’dir. 1m^3 GWP (A1-A3): $45,421 \text{ kgCO}_2\text{eq}$ hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13: Ref-B12 Duvar modülü-EPS ısı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R ($\text{m}^2\text{K/W}$)	U ($\text{W/m}^2\text{K}$)
$R_{iç}$			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	

Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013
Jackopor 80 EPS (değişken katman)	0,12	0,038	3,157
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029
R _{dış}			0,04
Toplam		3,99	0,250

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 12cm kalınlığında uygulanan EPS ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,250 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 12cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,12m=10,08m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı;

GWP: 45,421kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,08m³x45,421kg=457,84kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen EPS ısı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosfere 457,84 kgCO₂e sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.13. Ref-B13 Duvar Modülü (Taş Yünü)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.14). 1m² birim ve 0,12m kalınlığa sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiş EK-1 de paylaşılmıştır. λ:0,035W/m.K olan ürünün 0,12m³ miktarı için belirtilen toplam GWP (A1-A3): 29,90kgCO₂eq'dir. 1m³ GWP (A1-A3):249,17 kgCO₂eq hesaplanmıştır.

Çizelge 4.14: Ref-B13 Duvar modülü-Taş yünü ısı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Taş yünü (değişken katman)	0,115	0,035	3,28	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,11	0,244

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 11,5cm kalınlığında uygulanan taş yünü ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,244 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 11,5cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,115m=9,66m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: 249,17kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

9,66m³ x 249,17kg=2409,98kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen taş yünü ısı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosfere 2409,98 kgCO₂e sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.14. Ref-B14 Duvar Modülü (Cam Yünü)

Isı yalıtımı malzemesi, betonarme karkas yapı sisteminde mantolama tekniği ile kullanılmıştır (Çizelge 4.15). 1m² birim ve 0,05m kalınlığa sahip ürün için EPD belgesi beyan edilmiş, EK-1 de paylaşılmıştır. λ :0,037W/m.K olan ürünün 0,05m³ miktarı için belirtilen toplam GWP (A1-A3): 0,722kgCO₂eq'dir. 1m³ GWP (A1-A3):14,44 kgCO₂eq hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15: Ref-B14 Duvar modülü-Cam yünü ısı yalıtım malzemesi kullanımı

Yapı Kabuğu Katmanları	d (m)	λ (W/m.K)	R (m ² K/W)	U (W/m ² K)
R _{iç}			0,13	
Alçı sıva	0,005	0,51	0,01	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Tuğla duvar	0,19	0,32	0,594	
Çimento esaslı kaba sıva	0,02	1,60	0,013	
Cam yünü (değişken katman)	0,12	0,037	3,243	
Mineral sıva	0,01	0,35	0,029	
R _{dış}			0,04	
Toplam			4,07	0,246

Mantolama sistemi kullanılan yapıda, 12cm kalınlığında uygulanan cam yünü ısı yalıtım malzemesi ile U: 0,246 W/m²K değerine ulaşılmış olup, uygunluğu tespit edilmiştir. Gömülü karbon hesabında, yapıda kullanılacak malzeme kalınlığı 12cm üzerinden hesaplanmıştır.

Toplam kullanılan malzeme miktarı (m³):

Malzemenin uygulanacağı yüzey alanı (m²) x malzeme kalınlığı (m); 84m² x 0,12m=10,08m³ bulunmuştur.

Yapı malzemesi gömülü karbon hesabı:

GWP: 14,44kgCO₂eq/m³ 1m³ malzeme için beyan edilen karbon değeridir. Yapı malzemesi toplam gömülü karbon değeri için;

Yapıda kullanılan malzeme miktarı (m³) x GWP değeri (m³) formülü kullanılır.

10,08m³ x 14,44kg = 145,56kgCO₂eq. toplam gömülü karbon değeri bulunmuştur. İncelenen cam yünü ısı yalıtım malzemesi, Ref-B'de kullanılarak atmosfere 145,56 kgCO₂e sera gazı salınımına sebep olmuştur.

4.1.15. Türkiye Ölçeğinde GYM Kaynaklı Gömülü Karbon Hesabı

Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımcıları Derneği (İZODER) tarafından 2023 yılında yayınlanan dergide belirtilen rakamlara göre 2022 yılında binalarda kullanılan GYM miktarları;

EPS: 6.600.000m³

XPS: 1.437.500m³

Taş yünü: 2.359.760m³

Cam yünü: 3.264.249m³ olacak şekilde toplam 13.661.509m³ olduğu belirtilmiştir (Diz, 2023). Bu kullanılan ısı yalıtım malzemelerinin sebep olduğu gömülü karbon değerleri, tez eki EK-1 de paylaşılan ısı yalıtım malzemelerinin EPD beyanları doğrultusunda hesaplanmıştır.

EPS malzeme gömülü karbon hesabı:

1m³ için GWP (kgCO₂e) (A1-A3): 45,421kg

6.600.000m³ (6,6milyon m³) için toplam GWP;

6.600.000 x 45,421 = 299.778.600 kgCO₂eq

XPS malzeme gömülü karbon hesabı:

1m³ için GWP (kgCO₂e) (A1-A3): 82,706kg

1.437.500m³ (~1,5milyon m³) için toplam GWP;

1.437.500 x 82,706 = 118.889.875 kgCO₂eq

Taş yünü malzeme gömülü karbon hesabı:

1m³ için GWP (kgCO₂e) (A1-A3): 249,17kg

2.359.760m³ (~2,4milyon m³) için toplam GWP;

2.359.760 x 249,17=587.981.399 kgCO₂eq

Cam yünü malzeme gömülü karbon hesabı;

1m³ için GWP (kgCO₂e) (A1-A3): 14,44kg

3.264.249m³ (~3,3milyon m³) için toplam GWP;

3.264.249 x 14,44=47.135.756 kgCO₂eq

Tüm GYM kaynaklı sebep olunan toplam gömülü karbon;

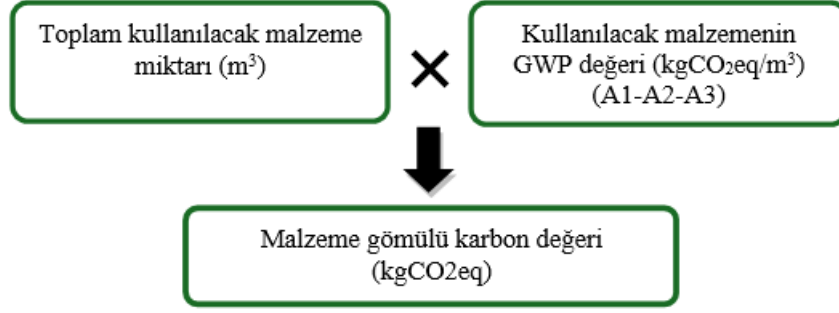
299.778.600 +118.899.875+ 587.981.399 + 47.135.756= 1.053.796.000kgCO₂eq

1.053.796.000 kgCO₂eq = 1.053.796 tCO₂eq

2022 yılında binalarda kullanılan GYM kaynaklı gömülü karbon emisyonu, toplamda 1.053.796 ton (~1,054 Mt) olarak hesaplanmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) tarafından yayımlanan verilere göre, aynı yıl Türkiye'nin toplam sera gazı emisyonu 558,3 milyon ton (Mt) olarak bildirilmiştir (TÜİK, 2024). Bu bağlamda, söz konusu ısı yalıtım malzemelerine atfedilen gömülü karbon emisyonu toplam ulusal sera gazı emisyonlarının %0,19'unu, yani yaklaşık %0,2'sini oluşturduğu sonucuna ulaşılmıştır. Tüm faaliyet alanlarının toplam sera etkisinin 2/1000'ini yalnızca GYM kaynaklı gömülü karbon emisyonunun oluşturduğu göz önüne alındığında bu veri, söz konusu malzemelerin gömülü karbon açısından kayda değer düzeyde küresel etkiye sahip olduğunu ortaya koymaktadır.

4.1.16. 2022 Yılı Verileri Çerçevesinde GYM Yerine Biyo-bazlı Malzeme Kullanımının Gömülü Karbon ve Toplam Sera Gazı Emisyonlarına Etkisi

Bu çalışmada, GYM yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanıldığı varsayılarak oluşturulan senaryoda, toplam malzeme gömülü karbon değerleri ve bu değişimin ulusal sera gazı emisyonları üzerindeki etkisi hesaplanmıştır. Hesaplamalar, materyal bölümünde ifade edilen biyo-bazlı malzemelerin kullanımı varsayımı ile 2022 yılında kullanılan toplam GYM miktarı esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Materyalde paylaşılan sentetik katkılı kompozit biyomalzemeler hesaplamaya dahil edilmemiş, yalnızca biyolojik kökenli ısı yalıtımı malzemeleri için hesap yapılmıştır. Malzeme gömülü karbon hesaplama yöntemi, Şekil 4.1'de ifade edilmiştir.



Şekil 4.1: Malzeme gömülü karbon hesabı yöntemi

Hesaplamanın yapılacağı biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri ise Çizelge 4.16’da ifade edilmiştir.

Çizelge 4.16: Hesaplamaya dahil edilen biyo-bazlı malzemeler ve GWP değerleri

Biyo-bazlı ısı yalıtım malzemesi	GWP (A1-A3) kgCO ₂ eq/m ³
IndiBreathe Flex	-17,34
IndiTherm	-35,55
Thermo Hemp Combi Jute	-20,30
Gutex ThermoWall-L	-198,40
GramiTherm	-50,12
Expanded Insulation Corkboard	-2040,00
Expanded Cork Granules	-2520,00
ThermaFleece Ultra Wool	1,317

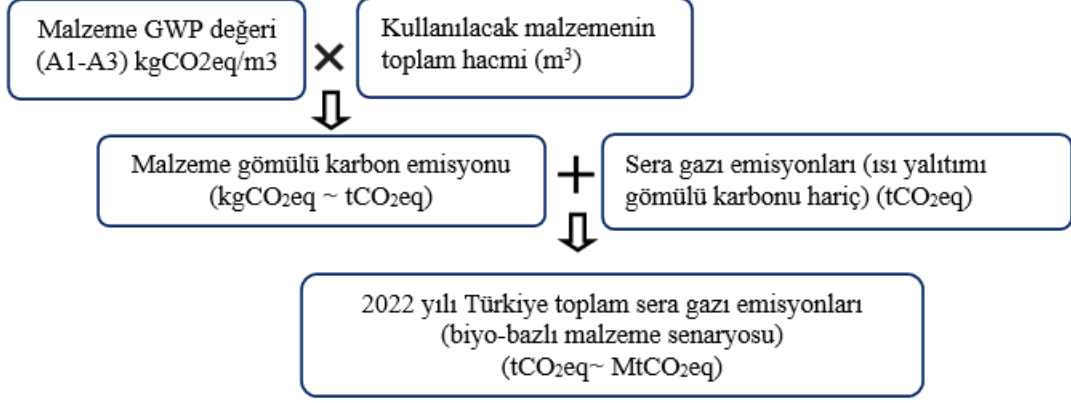
Biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin uygulanması sonucunda oluşacak toplam ulusal karbon emisyonlarına etkisinin analiz edilebilmesi amacıyla, 2022 yılına ait GYM kaynaklı gömülü karbon emisyonları hariç olmak üzere toplam sera gazı emisyonu verisine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kapsamda hesaplamalarda kullanılacak veriler Çizelge 4.17’de sunulmuştur.

- 2022 yılına ait, toplam sera gazı emisyonları (GYM gömülü karbon emisyonları hariç)= 558.300.000t-1.053.796t= 557.246.204t CO₂eq (Bkz: 5.1.15).

Çizelge 4.17: hesaplamada kullanılacak veriler

Toplam kullanılacak malzeme miktarı	13.661.509m ³
Hesaplamaya dahil edilecek ulusal sera gazı emisyonu (GYM malzemeleri gömülü karbon değeri hariç)	557.246.204 tCO ₂ eq

Biyo-bazlı malzemelerin kullanıldığı varsayılan senaryoda, toplam ulusal sera gazı emisyonları hesaplamasında kullanılan net hesap şeması ise Şekil 4.2 ile ifade edilmiştir.



Şekil 4.2: Türkiye, toplam sera gazı emisyonu hesap yöntemi (2022 yılı, biyo-bazlı ısı yalıtımı malzemeleri kullanımı senaryosu)

4.1.16.1. IndiBreathe Flex Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

- IndiBreathe Flex GWP (A1-A3): $-17,34 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$
- Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509 \text{ m}^3$
- Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-17,34 \times 13.661.509 = -236.890.566 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
Birim dönüşümü; $-236.890.566 \text{ kgCO}_2 = -236.891 \text{ tCO}_2$
- Malzeme gömülü karbon miktarı= -236.891 tCO_2
- Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç)= $557.246.204 \text{ tCO}_2$
- Toplam sera gazı emisyonu; $-236.891 + 557.246.204 = 557.009.313 \text{ tCO}_2$
 $= 557.009.313 \text{ tCO}_2 \sim 557,009 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.2. IndiTherm Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

- IndiTherm GWP (A1-A3): $-35,55 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$
- Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509 \text{ m}^3$
- Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-35,55 \times 13.661.509 = -485.666.645 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
Birim dönüşümü; $-485.666.645 \text{ kgCO}_2 = -485.667 \text{ tCO}_2$
- Malzeme gömülü karbon miktarı= -485.667 tCO_2
- Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç)= $557.246.204 \text{ tCO}_2$

-Toplam sera gazı emisyonu; $-485.667+557.246.204= 556.760.537 \text{ tCO}_2$
 $=556.760.537 \text{ tCO}_2 \sim 556,761 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.3. Thermo Hemp Combi Jute, Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

-Thermo Hemp Combi Jute GWP (A1-A3): $-20,30\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$
 -Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509\text{m}^3$
 -Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-20,30 \times 13.661.509 = -277.328.633 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
 Birim dönüşümü; $-277.328.633 \text{ kgCO}_2 = -277.329 \text{ tCO}_2$
 -Malzeme gömülü karbon miktarı= -277.329 tCO_2
 -Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç)= $557.246.204 \text{ tCO}_2$
 -Toplam sera gazı emisyonu; $-277.329+557.246.204= 556.968.875 \text{ tCO}_2$
 $=556.968.875 \text{ tCO}_2 \sim 557 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.4. Gutex ThermoWall-L Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

-Gutex ThermoWall-L GWP (A1-A3): $-198,40\text{kgCO}_2\text{eq/m}^3$
 -Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509\text{m}^3$
 -Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-198,40 \times 13.661.509 = -2.710.443.000\text{kgCO}_2\text{eq}$
 Birim dönüşümü; $-2.710.443.000 \text{ kgCO}_2 = -2.710.443 \text{ tCO}_2$
 -Malzeme gömülü karbon miktarı= $-2.710.443 \text{ tCO}_2$
 -Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç)= $557.246.204\text{tCO}_2$
 -Toplam sera gazı emisyonu; $-2.710.443+557.246.204= 554.535.761 \text{ tCO}_2$
 $=554.535.761 \text{ tCO}_2 \sim 554,536 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.5. GramiTherm Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

-GramiTherm GWP (A1-A3): $-50,12 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$
 -Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509\text{m}^3$
 -Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-50,12 \times 13.661.509 = -684.714.831 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
 Birim dönüşümü; $-684.715.831 \text{ kgCO}_2 = -684.715 \text{ tCO}_2$
 -Malzeme gömülü karbon miktarı= -684.715 tCO_2
 -Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç)= $557.246.204 \text{ tCO}_2$

-Toplam sera gazı emisyonu; $-684.715 + 557.246.204 = 556.561.489 \text{ tCO}_2$
 $= 556.561.489 \text{ tCO}_2 \sim 556,561 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.6. Expanded Insulation Corkboard Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

-Expanded Insulation Corkboard GWP (A1-A3): $-2040,00 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$
 -Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509 \text{ m}^3$
 -Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-2040,00 \times 13.661.509$
 $= -27.869.478.000 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
 -Birim dönüşümü; $-27.869.478.000 \text{ kgCO}_2 = -27.869.478 \text{ tCO}_2$
 -Malzeme gömülü karbon miktarı $= -27.869.478 \text{ tCO}_2$
 -Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç) $= 557.246.204 \text{ tCO}_2$
 -Toplam sera gazı emisyonu; $-27.869.478 + 557.246.204 = 529.376.726 \text{ tCO}_2$
 $= 529.376.726 \text{ tCO}_2 \sim 529,377 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.7. Expanded Cork Granules Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

-Expanded Cork Granules GWP (A1-A3): $-2520,00 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$
 -Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509 \text{ m}^3$
 -Malzeme gömülü karbon hesabı ; $-2520,00 \times 13.661.509$
 $= -34.427.003.000 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
 -Birim dönüşümü; $-34.427.003.000 \text{ kgCO}_2 = -34.427.003 \text{ tCO}_2$
 -Malzeme gömülü karbon miktarı $= -34.427.003 \text{ tCO}_2$
 -Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç) $= 557.246.204 \text{ tCO}_2$
 -Toplam sera gazı emisyonu; $-34.427.003 + 557.246.204 = 522.819.201 \text{ tCO}_2$
 $= 522.819.201 \text{ tCO}_2 \sim 522,819 \text{ MtCO}_2$

4.1.16.8. ThermaFleece UltraWool Isı Yalıtım Malzemesi Kullanımı Senaryosu

-ThermaFleece UltraWool GWP (A1-A3): $1,317 \text{ kgCO}_2\text{eq/m}^3$
 -Toplam kullanılan malzeme hacmi: $13.661.509 \text{ m}^3$
 -Malzeme gömülü karbon hesabı ; $1,317 \times 13.661.509 = 17.992.207,4 \text{ kgCO}_2\text{eq}$
 Birim dönüşümü; $17.992.207,4 \text{ kgCO}_2 = 17.992 \text{ tCO}_2$

- Malzeme gömülü karbon miktarı= 17.992 tCO₂
- Sera gazı emisyonu (ısı yalıtımı gömülü karbonu hariç)= 557.246.204 tCO₂
- Toplam sera gazı emisyonu; 17.992+557.246.204= 557.264.196 tCO₂
- =557.264.196 tCO₂ ~ 557,264 MtCO₂

4.2. Bulguların Değerlendirilmesi

Bu bölümde, bölüm.1.2’de tanımlanan ve çalışma çerçevesini oluşturan problem neticesinde geliştirilen hipotezler, alan çalışması sonucu elde edilen gömülü karbon verileri kullanılarak test edilmiş, alan çalışmasında ulaşılan bulgular tablolar ile ifade edilmiştir.

4.2.1. Alan Çalışması; Ref-B Gömülü Karbon Hesabı Bulguları

Alan çalışmasında kullanılan GYM ve biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin Ref-B’de kullanılmaları halinde sebep oldukları gömülü karbon değerleri Çizelge 4.18 ile ifade edilmiştir. Çalışmanın amacını oluşturan GYM ve Biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon değerleri açısından birbirleri ile incelemesi ise Çizelge 4.19-4.22 ‘de değerlendirilmiştir.

DUVAR MODÜLÜ	Çizelge 4.18: Ref-B ısı yalıtımı malzemeleri gömülü karbon değerleri			
	λ (W/m.K)	ρ (kg/m ³)	MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	Yalıtım Malzemesi İçeriği
Ref-B1	0,039	34kg/m ³	-182,07kg	%68kenevir+%22jüt lifi
Ref-B2	0,039	45kg/m ³	-373,275kg	%90kenevir lifi
Ref-B3	0,040	36kg/m ³	-221,68kg	%66kenevir+%22 jüt lifi
Ref-B4	0,037	167kg/m ³	-2000,00kg	%95 köknar/ladin lifi
Ref-B5	0,032	70kg/m ³	1108,80kg	%44-46çimento+ %15-22 ladin+ %13-16 EPS
Ref-B6	0,037	170kg/m ³	2775,15kg	%51-57 Taş yünü+ %11 çimento+ %23 ladin
Ref-B7	0,041	40kg/m ³	-547,31kg	%72 Çim lifi + %20 jüt lifi
Ref-B8	0,040	115kg/m ³	-22276,80kg	Genleştirilmiş mantar levha
Ref-B9	0,041	70kg/m ³	-27518,40kg	Granül mantar
Ref-B10	0,035	31kg/m ³	12,72kg	Koyun yünü
Ref-B11	0,034	31,5kg/m ³	764,20kg	XPS

Ref-B12	0,038	15kg/m ³	457,84kg	EPS
Ref-B13	0,035	132kg/m ³	2409,98kg	Taş yünü
Ref-B14	0,037	85kg/m ³	145,56kg	Cam yünü

λ : Isıl İletkenlik Katsayısı

ρ : Yoğunluk

MCE: Malzeme karbon emisyonu (Gömülü karbon miktarı)

Çizelge 4.19: Ref-B’de kullanılan XPS ve biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri gömülü karbon değerleri karşılaştırması

Ref-B’de kullanılan GYM türü	GYM MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	Ref-B de GYM’ye alternatif kullanılan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemesi	MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	GYM ve biyo bazlı malzeme MCE karşılaştırması
XPS	764,20 kg	IndiBreathe Flex (Ref-B1)	-182,07 kg	%124 azalmıştır
		IndiTherm (Ref-B2)	-373,275 kg	%149 azalmıştır
		Thermo Hemp Combi Jute(Ref-B3)	-221,68 kg	%129 azalmıştır
		Gutex ThermoWall-L(Ref-B4)	-2000,00 kg	%362 azalmıştır
		Heratecta(Ref-B5)	1108,80 kg	%45 artmıştır
		Tektalan(Ref-B6)	2775,15 kg	%263 artmıştır
		Gramitherm(Ref-B7)	-547,31 kg	%172 azalmıştır
		Expanded insulation corkboard(Ref-B8)	-22276,80kg	%3015 azalmış
		Expanded Cork Granules(Ref-B9)	-27518,40kg	%3700 azalmış
		ThermaFleece UltraWool(Ref-B10)	12,72 kg	%98 azalmıştır

MCE: Malzeme karbon emisyonu (Gömülü karbon miktarı)

Çizelge 4.20: Ref-B’de kullanılan EPS ve biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri gömülü karbon değerleri karşılaştırması

Ref-B’de kullanılan GYM türü	GYM MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	Ref-B de GYM’ye alternatif kullanılan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemesi	MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	GYM ve biyo bazlı malzeme MCE karşılaştırması
EPS	457,84 kg	IndiBreathe Flex (Ref-B1)	-182,07 kg	%140 azalmıştır
		IndiTherm (Ref-B2)	-373,275 kg	%182 azalmıştır
		Thermo Hemp Combi Jute(Ref-B3)	-221,68 kg	%148 azalmıştır
		Gutex ThermoWall-L(Ref-B4)	-2000,00 kg	%537 azalmıştır
		Heratecta(Ref-B5)	1108,80 kg	%142 artmıştır
		Tektalan(Ref-B6)	2775,15 kg	%506 artmıştır

		Gramitherm(Ref-B7)	-547,31 kg	%220 azalmıştır
		Expanded insulation corkboard(Ref-B8)	-22276,80kg	%4966 azalmıştır
		Expanded Cork Granules(Ref-B9)	-27518,40kg	%6110 azalmıştır
		ThermaFleece UltraWool(Ref-B10)	12,72 kg	%97 azalmıştır

MCE: Malzeme karbon emisyonu (Gömülü karbon miktarı)

Çizelge 4.21: Ref-B’de kullanılan taş yünü ve biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri gömülü karbon değerleri karşılaştırması

Ref-B’de kullanılan GYM türü	GYM MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	Ref-B de GYM’ye alternatif kullanılan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemesi	MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	GYM ve biyo bazlı malzeme MCE karşılaştırması
Taş Yünü	2409,98kg	IndiBreathe Flex (Ref-B1)	-182,07 kg	%108 azalmıştır
		IndiTherm (Ref-B2)	-373,275 kg	%115 azalmıştır
		Thermo Hemp Combi Jute(Ref-B3)	-221,68 kg	%110 azalmıştır
		Gutex ThermoWall-L(Ref-B4)	-2000,00 kg	%183 azalmıştır
		Heratecta(Ref-B5)	1108,80 kg	%54 azalmıştır
		Tektalan(Ref-B6)	2775,15 kg	%15 artmıştır
		Gramitherm(Ref-B7)	-547,31 kg	%123 azalmıştır
		Expanded insulation corkboard(Ref-B8)	-22276,80kg	%1024 azalmış
		Expanded Cork Granules(Ref-B9)	-27518,40kg	%1242 azalmış
		ThermaFleece UltraWool(Ref-B10)	12,72 kg	%99 azalmıştır

MCE: Malzeme karbon emisyonu (Gömülü karbon miktarı)

Çizelge 4.22: Ref-B’de kullanılan cam yünü ve biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri gömülü karbon değerleri karşılaştırması

Ref-B’de kullanılan GYM türü	GYM MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	Ref-B de GYM’ye alternatif kullanılan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemesi	MCE (CO ₂ eq) (A1-A3)	GYM ve biyo bazlı malzeme MCE karşılaştırması
Cam Yünü	145,56kg	IndiBreathe Flex (Ref-B1)	-182,07 kg	%225 azalmıştır
		IndiTherm (Ref-B2)	-373,275 kg	%356 azalmıştır
		Thermo Hemp Combi Jute(Ref-B3)	-221,68 kg	%252 azalmıştır
		Gutex ThermoWall-L(Ref-B4)	-2000,00 kg	%1474 azalmıştır
		Heratecta(Ref-B5)	1108,80 kg	%662 artmıştır
		Tektalan(Ref-B6)	2775,15 kg	%1807 artmıştır

		Gramitherm(Ref-B7)	-547,31 kg	%476 azalmıştır
		Expanded insulation corkboard(Ref-B8)	-22276,80kg	%15404 azalmış
		Expanded Cork Granules(Ref-B9)	-27518,40kg	%19000 azalmış
		ThermaFleece UltraWool(Ref-B10)	12,72 kg	%91 azalmıştır

MCE: Malzeme karbon emisyonu (Gömülü karbon miktarı)

4.2.1.1. Hipotez-1 sınaması

Hipotez-1 “Yaklaşık aynı ısıl geçirgenlik katsayısına (U : $W/m^2.K$) sahip yapı kabuğunda kullanılan GYM’ye kıyasla biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri daha düşük gömülü karbon değerine sahiptir. Biyo-bazlı malzemeler sentetik katkı içerse dahi içeriğinde bulunan biyo-bazlı malzeme kaynaklı sentetik GYM alternatiflerine kıyasla daha düşük karbon emisyonuna sebep olması beklenmektedir.” olarak ifade edilmiştir.

Çizelge 4.23: Ref-B’de kullanılan GYM ve kompozit ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon değerleri

Referans bina modülü	Gömülü karbon değeri	Yapı malzemesi içeriği
Ref-B5	1108,8 kgCO ₂ eq	%44-46çimento+ %15-22 ladin+ %13-16 EPS
Ref-B6	2775,15 kgCO ₂ eq	%51-57 Taş yünü+ %11 çimento+ %23 ladin
Ref-B11	764,20 kgCO ₂ eq	XPS
Ref-B12	457,84 kgCO ₂ eq	EPS
Ref-B13	2409,98 kgCO ₂ eq	Taş yünü
Ref-B14	145,56 kgCO ₂ eq	Cam yünü

Ref-B modelinde, yaklaşık aynı U değerine sahip duvar katmanlarında kullanılan GYM ve biyo-bazlı malzemelerin gömülü karbon değerleri karşılaştırıldığında, GYM’nin (Ref-B11-12-13-14) veya biyo-bazlı içeriğe sahip sentetik katkılı kompozit ısı yalıtım malzemelerinin (Ref-B5-6) oldukça yüksek gömülü karbon değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.23). Buna karşın, sentetik katkı içermeyen biyolojik kökenli tüm biyo-bazlı malzemelerin GYM’den daha düşük gömülü karbon emisyonuna sebep olduğu sonucuna ulaşılmış, karbon tutucu özelliğe sahip malzemeler ise önemli miktarda atmosferik karbonu yakalayarak bünyelerinde depolamışlardır (Çizelge 4.18). Bu veriler doğrultusunda biyo-bazlı malzemelerin GYM’ye kıyasla daha düşük gömülü karbona sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ancak biyo-bazlı malzeme içeriğine sahip sentetik katkılı kompozit malzemeler ise beklenenin aksine sentetik GYM örneklerine kıyasla daha yüksek miktarda karbon emisyonuna sebep olmuştur. Bu durum kompozit malzemenin üretim enerjisinin çok daha yüksek olması ile ilişkilendirilmiş, hipotez kısmen doğrulanmıştır.

4.2.1.2. Hipotez-2 sınaması

Hipotez-2 “Biyo-bazlı malzemeler %100 biyolojik kökenli üretilebildiği gibi, farklı malzemeler ve değişken birleşim oranları ile kompozit formda da kullanılabilir. İçeriklerindeki biyolojik malzeme oranı arttıkça, biyo-bazlı malzemelerin gömülü karbon değerlerinde anlamlı bir azalma sağlanacağı öngörülmektedir.” olarak ifade edilmişti.

Çalışmada incelenen ahşap lifi (köknar/ladin) örneği (Ref-B4-5-6) biyolojik kökenli ve sentetik katkı olmak üzere üç farklı formu incelenmiştir. Tamamen biyolojik kökenli olan malzeme önemli miktarda karbonu bünyesinde depolayarak karbon negatif oluşuma sahip iken sentetik katkı kompozit örnekleri yüksek miktarda karbon salınımına sebep olmuştur. Biyolojik kökenli malzeme miktarının fazla olduğu Ref-B4’te gömülü karbon değeri bakımından önemli ölçüde azalma meydana gelmiş, atmosferik karbon tutularak küresel emisyonların azaltılmasına da katkı sağlamıştır (Çizelge 4.24).

Çizelge 4.24: Ref-B’de kullanılan biyo-bazlı ve kompozit ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon değerleri

Referans bina modülü	Gömülü karbon değeri	Yapı malzemesi içeriği
Ref-B4	-2000,00kgCO ₂ eq	%95 köknar/ladin lifi
Ref-B5	1108,8 kgCO ₂ eq	%15-22 ladin+ %44-46çimento+ %13-16 EPS
Ref-B6	2775,15 kgCO ₂ eq	%23 ladin+ %51-57 Taş yünü+ %11 çimento

Ayrıca biyolojik malzemelerden oluşan kompozit ısı yalıtım malzemesi Ref-B1 ve Ref-B3 ile biyolojik katkı lifi içermeyen tek hammadde kaynaklı Ref-B2 incelendiğinde, üç malzeme örneği de tamamen biyolojik kökenli olmasına rağmen, katkı lifi içermeyen, sadece kenevir lifinden oluşan malzemenin daha yüksek karbon tutucu özelliğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 4.25). Karbon tutucu özelliği daha yüksek olduğu anlaşılan kenevir lifinin malzeme birleşim oranı arttıkça gömülü karbon değerleri açısından daha olumlu sonuç elde edildiği görülmüş, hipotez doğrulanmıştır.

Çizelge 4.25: Ref-B’de kullanılan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin gömülü karbon değerleri

Referans bina modülü	Gömülü karbon değeri	Yapı malzemesi içeriği
Ref-B1	-182,07 kgCO ₂ eq	%68kenevir+%22jüt lifi
Ref-B2	-373,275 kgCO ₂ eq	%90kenevir lifi
Ref-B3	-221,68 kgCO ₂ eq	%66kenevir+%22 jüt lifi

4.2.1.3. Hipotez-3 sınaması

Hipotez-3 “GYM’nin yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanılması gömülü karbon emisyonlarını azaltacağından, toplam küresel sera gazı emisyonlarında anlamlı bir azalma sağlanabilir.” olarak ifade edilmişti.

Bu hipotezin test edilebilmesi için Türkiye ölçeğinde ısı yalıtım malzemeleri üzerine alan çalışması yapılmıştır. 2022 yılına ait toplam kullanılan güncel ısı yalıtım malzemeleri metrajlarına ulaşılmış, tez çalışması EK-1 de paylaşılan ısı yalıtım malzemelerinin EPD beyanları baz alınarak toplam malzeme gömülü karbon değerleri hesaplanmıştır. Ulaşılan sonuç aynı yıla ait toplam ulusal sera gazı emisyonları ile karşılaştırıldığında %0,2’sini yalnızca bu dört ısı yalıtım malzemesinin (GYM) gömülü karbonunun oluşturduğu tespit edilmiştir. Aynı yıla ait malzeme metraj verisi ve GYM gömülü karbon hariç toplam ulusal sera gazı emisyonu verileri kullanılarak materyal bölümünde ele alınan biyolojik kökenli ısı yalıtım malzemelerinin kullanılmış olması durumunda oluşturacağı gömülü karbon ve toplam ulusal sera gazı emisyonları hesaplanmıştır (Çizelge 4.26). İncelenen malzemeler birbirinden farklı gömülü karbon değerleri göstermiş olup, bütün biyo-bazlı malzemeler, 2022 yılı mevcut toplam sera gazı emisyonunun azaltılmasına anlamlı bir katkı sağlamıştır. Ulaşılan bulgular, sonuç bölümünde değerlendirilmiş olup çizelge ile ifade edilmiştir. Biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı ile ulusal sera gazı emisyonlarının %0,19 ile %6,36 oranında azalma gösterdiği sonucuna ulaşılmış olup, ilgili hipotez desteklenmiştir.

4.2.2. Türkiye Ölçeğinde; Biyo-Bazlı Malzemelerin GYM Yerine Kullanımı

Senaryosu Sonuçları

Bu bölümde, 2022 yılına ait ulaşılan mevcut veriler doğrultusunda GYM kaynaklı küresel emisyonlar değerlendirilmiş, söz konusu malzemelerin gömülü karbon değerleri hesaplanarak bu değer, 2022 yılı toplam ulusal sera gazı emisyonlarının %0,2’sini oluşturduğu tespit edilmiştir. Aynı yıl içerisinde GYM’ye ikame biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı varsayılarak, her bir malzeme için GYM yerine kullanılması durumunda oluşacak malzeme kaynaklı gömülü karbon emisyonları hesaplanmıştır. Bu alternatif senaryolara ilişkin oluşan yeni toplam ulusal sera gazı emisyonları da hesaplanarak, ulaşılan sonuçlar GYM verileri ile karşılaştırılmıştır.

Biyo-bazlı malzemelerin gömülü karbon bağlamında ulusal sera gazı emisyonlarını %6,36'ya varan oranlarda azalttığı tespit edilmiş, bu bulgular Çizelge 4.26-4.27-4.28'te ifade edilmiştir.

Çizelge 4.26: Biyo-bazlı malzemelerin kullanımı ile 2022 yılı sera gazı emisyonlarında elde edilecek yeni sonuçlar

Kullanılan ısı yalıtımı malzemesi	MCE (A1-A3) (tCO ₂ e)	Toplam sera gazı emisyonları MtCO ₂
IndiBreathe Flex	-236.891 tCO ₂	557,009 MtCO ₂ eq
IndiTherm	-485.667 tCO ₂	556,761 MtCO ₂ eq
Thermo Hemp Combi Jute	-277.329 tCO ₂	557 MtCO ₂ eq
Gutex ThermoWall-L	-2.710.443 tCO ₂	554,536 MtCO ₂ eq
GramiTherm	-684.715 tCO ₂	556,561 MtCO ₂ eq
Expanded Insulation CorkBoard	-27.869.478 tCO ₂	529,377 MtCO ₂ eq
Expanded Cork Granules	-34.427.003 tCO ₂	522,819 MtCO ₂ eq
ThermaFleece UltraWool	17.992 tCO ₂	557,264 MtCO ₂ eq
GYM'li mevcut veriler (2022)	1.053.796 tCO₂	558,3 MtCO₂eq

Çizelge 4.27: Mevcut toplam sera gazı emisyonu ve biyo-bazlı ısı yalıtımı kullanılması halinde oluşacak toplam sera gazı emisyonları

Mevcut kullanılan malzemeler	2022 yılı mevcut sera gazı emisyonu	GYM yerine kullanılacak malzeme	Toplam sera gazı emisyonu (yeni değer)	Kullanılan Biyo-bazlı malzeme içeriği
(GYM)		IndiBreathe Flex	557,009 Mt	%68kenevir+%22jüt lifi
Cam Yünü		IndiTherm	556,761 Mt	%90kenevir lifi
Taş Yünü	558,3 Mt	Thermo Hemp Combi Jute	557 Mt	%66kenevir+%22 jüt lifi
EPS		Gutex ThermoWall-L	554,536 Mt	%95 köknar/ladin lifi
XPS		Gramitherm	556,561 Mt	%72 Çim lifi + %20 jüt lifi
		Expanded insulation corkboard	529,377 Mt	Genleştirilmiş mantar levha
		Expanded Cork Granules	522,819 Mt	Granül mantar
		ThermaFleece UltraWool	557,264 Mt	Koyun yünü

Çizelge 4.28: Kullanılan Biyo-bazlı malzemeler ile oluşan toplam sera gazı emisyonlarının, GYM kullanımı ile oluşan mevcut emisyonlar ile karşılaştırılması

2022 yılı verileri baz alınarak kullanılan biyo-bazlı malzeme	Toplam sera gazı emisyonu (yeni değer)	2022 yılı mevcut sera gazı emisyonu	Sera gazı emisyonları karşılaştırması
			2022 mevcut sera gazı emisyonlarına kıyasla;
IndiBreathe Flex	557,009 Mt		↓%0,23 iyileşme sağlamıştır.
IndiTherm	556,761 Mt		↓%0,28 iyileşme sağlamıştır.
Thermo Hemp Combi Jute	557 Mt		↓%0,23 iyileşme sağlamıştır.
Gutex ThermoWall-L	554,536 Mt		↓%0,68 iyileşme sağlamıştır.
Gramitherm	556,561 Mt	558,3 Mt	↓%0,31 iyileşme sağlamıştır.
Expanded insulation corkboard	529,377 Mt		↓%5,18 iyileşme sağlamıştır.
Expanded Cork Granules	522,819 Mt		↓%6,36 iyileşme sağlamıştır.
ThermaFleece UltraWool	557,264 Mt		↓%0,19 iyileşme sağlamıştır.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

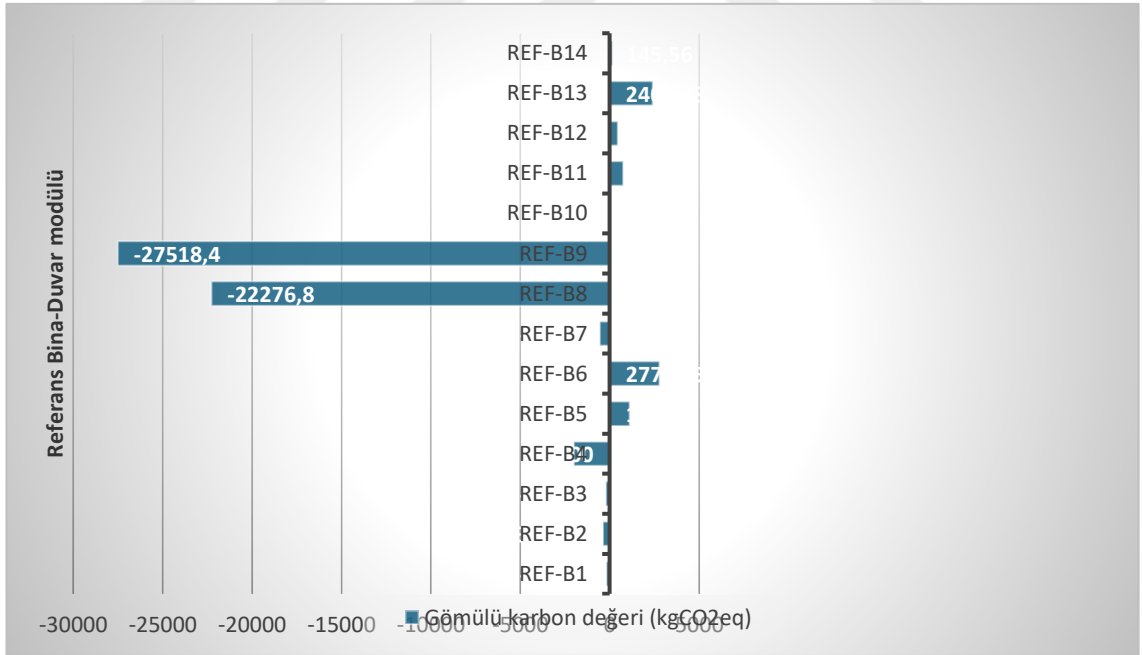
Bu bölümde, sonuçlar ve gelecekte yapılacak olan çalışmalar için önerilere yer verilmiştir.

5.1. Sonuçlar

Günümüzde doğa ve canlı çevre için büyük bir tehdit unsuru olan küresel ısınmanın başlıca sebebi olarak insan faaliyetleri kaynaklı oluşan sera gazlarının atmosfere yayılımı gösterilmektedir. Sera gazlarına sebep olan başlıca kaynak ise fosil yakıtlardır. Bölüm 1’de de belirtildiği üzere küresel etkiye sebep olan sektörler içerisinde yaklaşık %40 oran ile yapı sektörü ilk sıralarda yer almaktadır. Yoğun enerji tüketimi gerçekleştiren yapı sektöründeki başlıca etkiyi ise ısıtma ve soğutma için harcanan enerji oluşturmaktadır. Kullanılan bu enerjinin yaklaşık olarak %85’i fosil yakıt kaynaklı olduğu bu düzende yapılarda enerji tasarrufu sağlamak oldukça büyük öneme sahip bir konudur. Yapılara uygulanacak ısı yalıtımı ile %60’a varan oranlarda tasarruf sağlandığı belirtilmektedir. Kullanım enerjisi kaynaklı tasarruf sağlayan bu yaklaşım, daha az enerji tüketimi ile kullanım karbonunun azaltılmasına olanak sağlamakta, küresel emisyonları düşürmektedir. Günümüzde uygulanan küresel emisyonların azaltılmasına yönelik işlemler çoğunlukla yapıların kullanım süreci kaynaklı enerji tüketimlerine yöneliktir. Geri planda kalan gömülü karbon, kullanım karbonu gibi sonradan azaltılabilir bir değer olmadığı için ele alınması gereken önemli bir konu olarak karşımıza çıkmaktadır. Günümüzde yapı sektöründe kullanılan yapı malzemeleri, fosil yakıt kaynaklı enerjileri yoğun olarak kullanmakta veya malzeme için hammadde kaynağı olmaktadır. Bu durum hem kaynakların yoğun ve bilinçsiz bir şekilde tükenmesine hem de yüksek küresel ve çevresel etkilere neden olmaktadır. Bu kapsamda bu çalışmada en yoğun enerji tüketen ve yüksek tasarruf potansiyeli barındıran ısıtma ve soğutma eylemlerinde kullanılmak üzere sağlıklı ve çevreci yaklaşımlar incelenmiş, biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri araştırılmıştır. Karbon tutucu özelliğe de sahip biyo-bazlı malzemeler ile atmosferik karbonun yakalanarak yapı bünyesinde depolandığı ve yapı oluşumunu karbon negatif olarak tamamlamaya olanak sunduğu tespit edilmiştir. GYM’nin yüksek enerji tüketimine sebep olduğu ve karbon salınımı ile küresel etki oluşturduğu, sentetik kökenli türlerinin ise tüm bu etkilerinin yanında insan sağlığı ve canlı çevre için olumsuz etkilere sebep olduğu araştırmalar

neticesinde görülmüştür (Bkz: Bölüm.2). Tüm bu etkilerin karşısında, biyo-bazlı malzemeler eşsiz bir çözüm olarak görülmüş, küresel ölçekte çeşitli çalışmalara konu olmuştur. Bu tez çalışması kapsamında biyo-bazlı ısı yalıtımı malzemeleri ile GYM'nin malzeme gömülü karbon emisyonları bağlamında küresel etkisi araştırılmıştır. Seçilen malzemelerin benzer ısı iletkenlik değerlerine sahip olmasına dikkat edilmiştir. Böylelikle yapıda kullanımları halinde yaklaşık olarak aynı termal performansa sahip olmaları ile benzer veya eş enerji verimliliği sunmaları gerekliliği düşünülmüştür. Bu koşul ile söz konusu malzemeler benzer veya eş kullanım karbonuna sebep olurken küresel etkilerinin analizi bağlamında başlıca farkı malzeme oluşum süreçleri kaynaklı gömülü karbon değerleri oluşturmıştır. Bu değerlerin analizi için referans bina tasarlanmış, EPD belgesi olan biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri ve GYM, Ref-B'ye uygulanmıştır. Her bir malzeme için yaklaşık aynı U değerine sahip düşey yapı kabukları oluşturulmuştur. Söz konusu malzemelerin, yalnızca dış cephe kabuğunda kullanımları kaynaklı gömülü karbon değerleri hesap edilmiş, ulaşılan sonuçlar bu bölümde ifade edilmiştir.

Çizelge 5.1: Ref-B modülleri ve ısı yalıtımı malzemeleri gömülü karbon değerleri



- Ref-B'de incelenen 14 endüstriyel malzeme örneği, aynı veya yakın termal iletkenlik değerine sahiptir. Bu durum, yapıda aynı veya benzer termal performans ve enerji verimliliği sunarak, biyo-bazlı malzemelerin

GYM'nin yerine kullanılabilmesi ve malzeme seçiminde tercih için avantaj sağlamaktadır. Küresel etkileri bağlamında malzeme seçimi yapılırken, incelenen malzemeler yaklaşık aynı kullanım karbonlarına sebep olacakları için bu malzemelerin seçimindeki temel etkiyi gömülü karbon değerleri oluşturacaktır. Yapılan çalışmada biyo-bazlı malzemelerin GYM'nin sebep olduğu gömülü karbona kıyasla çok daha düşük olduğu görülmüştür. Biyo-bazlı karbon tutucu malzemelerin ise karbon negatif oluşum sergilediği, atmosferik karbonu önemli ölçüde azaltma potansiyeline sahip olduğu tespit edilmiştir (Çizelge 5.1).

- Biyo-bazlı içeriğe sahip sentetik katkılı kompozit malzemelerin GYM'ye kıyasla daha yüksek karbon emisyonu salınımı eğiliminde olduğu görülmüştür. Bu durum, kompozit malzemelerin üretim süreçlerinde daha yüksek enerji gerektirdiği şeklinde yorumlanmıştır. Biyolojik esaslı malzemelerin sentetik malzemeler ile kompozit formda üretimlerinin, söz konusu sentetik malzemelerin katkısız örneklerine kıyasla daha yüksek karbon salınımına sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- En yüksek gömülü karbon değeri taş yünü katkılı kompozit malzeme olan Ref-B6'da, en düşük gömülü karbon değeri ise mantar bazlı ısı yalıtım malzemesinin kullanıldığı Ref-B9'da elde edilmiştir.
- Biyo-bazlı malzemelerden “kenevir lifi, ahşap lifi, çim lifi, mantar ve hayvan tüyü/koyun yünü” incelenmiş, her bir malzemenin farklı miktarda gömülü karbon değeri gösterdiği ve farklı oranlarda karbon tutma kapasitesine sahip olduğu tespit edilmiştir. İncelenen biyo-bazlı malzemelerden, karbon tutma potansiyeli en yüksek olan malzemenin meşe mantarı ağacı kabuğundan elde edilen mantar bazlı ısı yalıtım malzemesi olduğu tespit edilmiştir. Biyolojik kökenli ısı yalıtım malzemesi kullanılacağı durumlarda maksimum fayda için mantar esaslı malzemelerin kullanılması kenevir, ahşap lifi, çim, koyun yünü gibi biyolojik malzemelere kıyasla optimum sonuca ulaştıracaktır.
- Ref-B8 ve Ref-B9 da incelenen mantar bazlı malzeme iki farklı formda incelenmiş, Ref-B9'da kullanılan, yan ürünlerden elde edilen granül mantar yalıtım bünyesinde daha fazla miktarda karbon depolamıştır. Bu

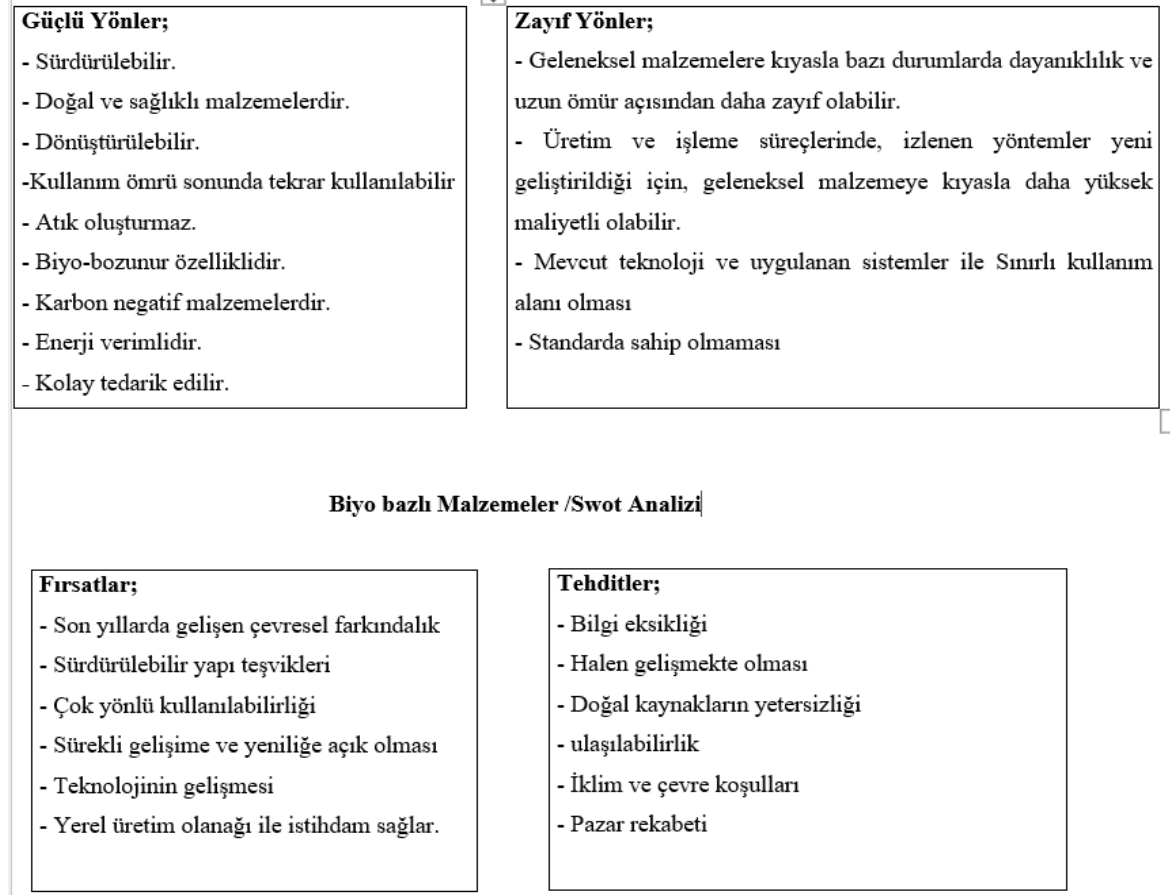
durumun başlıca sebebi olarak, malzemenin üretim sürecinde daha az enerji ihtiyacı gerektirdiği düşünülmüştür.

- Ref-B1, Ref-B2 ve Ref-B3'te kenevir lifi saf halde ve jüt lifi katkısı ile incelenmiş, katkı lifi olmayan kenevir bazlı malzeme Ref-B2'de yaklaşık iki kat daha fazla atmosferik karbonu bünyesinde depolamıştır. Kenevir lifinin, jüt lifine kıyasla karbon tutma potansiyelinin daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Ahşap lifi Ref-B4'te saf halde, Ref-B5 ve Ref-B6'da ise çeşitli katkılarla kompozit olarak incelenmiş, Ref-B4 karbon negatif ve önemli miktarda karbonu bünyesinde depolarken, Ref-B5 ve Ref-B6 yüksek miktarlarda karbon salınımına neden olmuştur. Ref-B6'da bulunan taş yünü katkısı, Ref-B5'te bulunan çimento katkısına kıyasla yaklaşık 2,5kat daha fazla karbon salınımına neden olmuştur. Taş yünü malzemenin çimento malzemeye kıyasla daha fazla karbon salınımına sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Ref-B10'da kullanılan koyun yünü yalıtım malzemesinin karbon tutucu özelliği olmaması kaynaklı karbon negatif oluşum göstermediği, ancak oldukça düşük üretim enerjisine ihtiyaç duyduğu ve bu bağlamda oldukça düşük miktarda karbon salınımına sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu durum sonucu biyo-bazlı malzeme olan Ref-B10, Ref-B11-12-13 ve Ref-B14'te kullanılan GYM'ye kıyasla yaklaşık %99 oranda daha az karbon salınımına sebep olmuştur.
- GYM'nin uygulandığı modüller incelendiğinde; en yüksek karbon salınımının taş yünü malzeme ile, en düşük karbon salınımının ise cam yünü malzeme ile gerçekleştiği tespit edilmiş, XPS-EPS-taş yünü-cam yünü malzemeleri içerisinde en yüksek küresel etkiye sebep olan malzemenin taş yünü olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca XPS ve EPS gibi petrol kökenli yalıtım malzemelerinin olumsuz çevresel etkisi ve sebep olduğu çeşitli sağlık sorunları kaynaklı kullanımı önerilmemekte, biyo-bazlı alternatiflerinin kullanımı önerilmektedir.
- 2022 yılına ait, Türkiye'de kullanılan toplam GYM miktarının gömülü karbon hesabı yapılmış, aynı yıla ait toplam sera gazı emisyonlarının 1000'de 2'sini(%0,2) oluşturduğu tespit edilmiştir. 2022 yılına ait veriler

ışığında, GYM yerine biyo-bazlı malzemelerin kullanılması durumunda oluşacak malzeme karbon emisyonları ve toplam ulusal sera gazı emisyonları hesaplanmış, “Bulgular ve Değerlendirme” bölümünde paylaşılmıştır. Ulaşılan sonuçlar, mevcut GYM verileri ile karşılaştırılarak biyo-bazlı malzemelerin toplam ulusal sera gazı emisyonlarına katkısı, % olarak ifade edilmiştir. Bu değerlendirme, biyo-bazlı malzeme kullanımının küresel emisyonlar üzerindeki potansiyel etkilerini vurgulamaktadır. Yalnızca GYM’ye alternatif biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı ile toplam ulusal sera gazı emisyonlarında %6,36’ya varan oranlarda azalma sağlanmıştır. GYM kaynaklı gömülü karbon emisyonlarının ulusal sera gazı emisyonlarında oldukça önemli bir paya sahip olduğu ve biyo-bazlı malzemelerin kullanılması halinde ulusal sera gazı emisyonlarında anlamlı bir azalma sağlanabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Yapılan analizler, GYM’nin gömülü karbon açısından çevresel etkisinin oldukça yüksek olduğunu, toplam ulusal sera gazı emisyonlarında önemli bir paya sahip olduğunu açıkça ortaya koymuştur. Buna karşılık, biyolojik kökenli malzemelerin GYM’lere kıyasla çok daha düşük gömülü karbona sebep olduğu, karbon tutucu biyo-bazlı malzemelerin ise atmosferik karbonu yapı bünyesinde depolayarak karbon negatif oluşum gösterdiği görülmüştür. Bu malzemelerin, karbon yönetimi açısından GYM’lere kıyasla, çevresel etki bağlamında daha avantajlı oldukları sonucuna ulaşılmıştır. Türkiye ölçeğinde yapılan sayısal analiz neticesinde, biyo-bazlı ısı yalıtım malzemelerinin kullanımı halinde ulusal sera gazı salınımlarını %0,19-%6,36 arasında değişen oranlarda azaltma potansiyeline sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bölüm.2’de de sunulan, literatür taramaları sonucu ulaşılan veriler ışığında GYM’nin fosil kaynaklı olması veya fosil yakıt kaynaklı enerjileri yoğun tüketmesi ile yüksek karbon salınımı gerçekleştirmesi, doğada önemli miktarlarda atığa sebep olması ve en önemlisi insan sağlığına zararlı kabul edilmesi gibi çeşitli olumsuzlukları bulunmaktadır. Buna karşılık biyo-bazlı malzemelerin; başta canlı ve doğa ile uyumlu doğal malzemeler olduğu, sürdürülebilir, dönüştürülebilir ve doğal olarak doğada çözünebilirliği sayesinde atık oluşumuna sebep olmadığı, düşük oluşum enerjileri sayesinde daha az miktarlarda karbon salınımına sebep oldukları, karbon tutucu özellikleri ile karbon negatif olarak

oluşum süreçlerini tamamladıkları sonuçlarına ulaşılmıştır. Tüm bu bilgilerin sentezi olarak biyo-bazlı malzemeler Şekil 5.1’de değerlendirilmiştir.



Şekil 5.1: Biyo-bazlı malzemeler swot analizi

5.2. Öneriler

İklim krizi ile mücadelede, yüksek enerji tüketimine bağlı olarak yoğun karbon salınımına sebep olan yapı sektörünün çevresel etkilerinin azaltılması, toplam küresel etkilerin yaklaşık %40’ını oluşturduğundan hayati bir önem taşımaktadır. 2024 verilerine göre Türkiye’de kullanılan toplam enerjinin %32,7’si binalarda tüketilmekte, bu enerjinin ise yaklaşık %80’i ısıtma ve soğutma işlemleri için kullanılmaktadır (Bkz: Bölüm 1.2). Bu bağlamda, enerji tasarruf potansiyeli %60’lara varan yalıtım uygulamalarının, doğal ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyo-bazlı malzemelerle gerçekleştirilmesi, yalnızca kullanım aşamasında enerji tasarrufu sağlamakla kalmayıp, aynı zamanda malzeme üretim süreçlerinden kaynaklanan yüksek enerji tüketimi ve karbon emisyonlarının da azaltılmasına olanak sunmaktadır. Bu

nedenle yeni yapılarda ya da mevcut yapıların iyileştirilmesinde, güncel ısı yalıtım malzemeleri (GYM) yerine biyo-bazlı ısı yalıtım malzemeleri tercih edilmelidir.

Mevcut çalışmada yalnızca EPD (Çevresel Ürün Beyanı) belgesi bulunan ve 0,032–0,041 W/m·K aralığında ısı iletkenlik değerine sahip olan biyo-bazlı endüstriyel ısı yalıtım malzemeleri değerlendirilmiş olup, bu koşullar dâhilinde sınırlı sayıda endüstriyel örneğe ulaşılabilmektedir. Ancak, küresel ölçekte önemi giderek artan biyo-bazlı yapı malzemelerinin geliştirilme süreci devam etmekte ve bu alandaki ürün çeşitliliği her geçen gün artmaktadır. Bu doğrultuda, ileride gerçekleştirilecek çalışmalara yönelik aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

1. **Malzeme Çeşitliliğinin Artırılması:** Endüstriyel biyo-bazlı malzeme örneklerinin artmasıyla birlikte, biyo-bazlı malzeme içeriklerinin gömülü karbon emisyonları ve malzeme performansı üzerindeki etkileri daha ayrıntılı şekilde incelenebilir; malzeme çeşitliliği artırılarak daha geniş kapsamlı karşılaştırmalı analizler yapılmalıdır.
2. **Yapının Tüm Bileşenlerine Yönelik Değerlendirme:** Gömülü karbon emisyonu hesaplamaları yalnızca ısı yalıtım malzemeleriyle sınırlı tutulmadan; farklı oranlarda biyo-bazlı içerik barındıran yapı elemanları (dolgu duvar, taşıyıcı sistem, cephe kaplaması vb.) dahil edilerek, tüm yapı bileşenleri üzerinden değerlendirmeler yapılmalıdır.
3. **Farklı Kullanım Senaryolarının Oluşturulması:** Biyo-bazlı malzemelerin farklı yapı sistemlerinde ve iklim bölgelerinde kullanımına yönelik örneklem yapılar üzerinden senaryolar oluşturularak, potansiyel enerji tasarrufu ve emisyon azaltım katkıları çok boyutlu olarak analiz edilmelidir.
4. **Yaşam Döngüsü Aşamalarının Genişletilmesi:** Gelecek araştırmalarda, “beşikten kapıya” yaklaşımı yerine tüm yaşam döngüsünü kapsayan “beşikten mezara” değerlendirmesi yapılabilir. Böylece, malzemelerin nakliye, uygulama, kullanım süreci ve ömür sonu aşamalarındaki çevresel etkileri de bütüncül bir yaklaşım ile ortaya konmalıdır.
5. **Yerel Üretim ve Kaynak Kullanımı:** Türkiye özelinde biyo-bazlı malzemelerin üretilebilirliğine ve kaynak çeşitliliğine yönelik araştırmalar yapılarak, biyo-bazlı malzemelerin üretim potansiyeli araştırılmalı, maliyet ve ulaşılabilirlik analizi yapılmalıdır.

Sonuç olarak, biyo-bazlı yapı malzemeleri hem çevresel hem de ekonomik boyutlarıyla sürdürülebilir yapılaşma adına önemli fırsatlar sunmakta olup, bu malzemelerin daha yaygın kullanımı için araştırma, standartlaşma ve endüstriyel üretim ölçeğinde yapılacak yatırımların desteklenmesi önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdel, H. (n.d.). *The Arc at Green School / IBUKU*. Archdaily.
<https://www.archdaily.com/964059/the-arc-at-green-school-ibuku> (09.05.2024)
- Abu-Jdayil, B., Mourad, A. H., Hittini, W., Hassan, M., & Hameedi, S. (2019). Traditional, state-of-the-art and renewable thermal building insulation materials: An overview. *Construction and Building Materials*, 214, 709-735. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.102>
- Ak, D. (2020, Şubat 23). *Biyomalzeme Nedir?* Medium.
<https://medium.com/@denizak/biyomalzeme-nedir-a3138e2869f6> (18.01.2024)
- Al-Qahtani, S.; Koç, M. (2023); Isaifan, R.J. Mycelium-Based Thermal Insulation for Domestic Cooling Footprint Reduction: A Review. *Sustainability* 2023, 15, 13217. <https://doi.org/10.3390/su151713217>
- Amorim Cork Solutions, (t.y.), Cork.
<https://www.amorimcorkinsulation.com/en/cork/presentation/> (15.10.2024)
- Ankara Üniversitesi Açık Ders. *Peyzaj tasarımı ve yapı malzemeleri*.
https://acikders.ankara.edu.tr/pluginfile.php/157134/mod_resource/content/1/KENTSEL%20TASARIM%2011-YAPI%20MALZEMELER%C4%B0.pdf
 25.01.2022
- AO, G.T. (2024). *Embodied Carbon Projections for Australian Infrastructure and Buildings*. Australian Government, Infrastructure Australia.
- Aras, B.B. (2019). Kentsel sürdürülebilirlik kapsamında yeşil çatı uygulamaları. *MANAS Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 8(1), 469-504.
- Atçı, E.B. (t.y.). *Yosunların enerji kaynağı olduğunu biliyor muydunuz?* Artemis Arıtım.
<https://www.artemisaritim.com/yosunlarin-enerji-kaynagi-oldugunu-biliyor-muydunuz> (02.02.2024)
- Atılğan, I.A. (2022). *Ahşap Karkas Yapılarda Kullanılan Ekolojik Isı Yalıtım Malzemelerinin Malzeme Özelliklerinin ve Isıl-Nemsel Performanslarının Değerlendirilmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi.]
- Avcı Özbakan, F., Akyol Altun, D., Tokuç, A., Andıç Çakır, Ö., Köktürk, G. Ve Şendemir, A. (t.y.). *Mimarlığın Doğa ile İlişkisinde Yeni Bir Boyut: Biyotasarım*. Yapı Dergisi. <https://yapidergisi.com/mimarligin-doga-ile-iliskisinde-yeni-bir-boyut-biyotasarim/> (18.01.2024)
- Avcıarchitects. *Yeni teknolojiler ve geleceğin mimarlığı arasındaki paradoks*
<https://avciarchitects.com/tr/yeni-teknolojiler-ve-gelecegin-mimarligi-arasindaki-paradoks/> 30.01.2022

- Aydın İpekçi, C., Coşkun, N. & Tıkansak Karadayı, T. (2017). İnşaat sektöründe geri kazanılmış malzeme kullanımının sürdürülebilirlik açısından önemi. *TÜBAV Bilim*, 10(2), 43-50.
- Aydın, M. (2016). Enerji Verimliliğinin *Sürdürülebilir Kalkınmadaki Rolü: Türkiye Değerlendirmesi. Yönetim Bilimleri Dergisi*, 14(28), 409-441.
- Berberoğlu, U. (2009). *Sürdürülebilir mimarlık anlayışı çerçevesinde enerji verimliliği kavramının güncel konumu ve yeni yaklaşımlar*. (Yayın no: 256604) [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi.]
- Bıyık, H.H. & Özgür, A. (2024). Bazı Mantar Miselyumlarından Yalıtım Malzemesi Üretimi Üzerine Bir Araştırma, *Mantar Dergisi*, 15(Özel sayı)73-82.
- Bider Mimarlık, (2018, Temmuz, 02). *Enerji etkin binalar* <http://bidermimarlik.com/enerji-etkin-binalar/> 30.01.2022
- Breton, C., Blanchet, P., Amor, B., Beauregard, R., & Chang, W.-S. (2018). Assessing the Climate Change Impacts of Biogenic Carbon in Buildings: A Critical Review of Two Main Dynamic Approaches. *Sustainability*, 10(6), 2020. <https://doi.org/10.3390/su10062020>
- Cancellato, P. & Haskan, B. (2012, Eylül 18). *Biyo-esaslı malzeme*. Yapı.com.tr http://www.yapi.com.tr/urunhaberleri/biyo-esasli-malzeme-_102121.html (23.01.2024)
- Cebeci, S. (2017). *Türkiye’de Güneş Enerjisinden Elektrik Üretim Potansiyelinin Değerlendirilmesi*. (Yayın no: 2977) [Planlama Uzmanlığı Tezi,T.C. Kalkınma Bakanlığı.]
- Çamuşoğlu, N. (2023, Ocak 06). *Sürdürülebilir mimaride miselyum nasıl kullanılır?* EkoYapı. <https://www.ekoyapidergisi.org/surdurulebilir-mimaride-miselyum-nasil-kullanilir> (02.02.2024)
- Demir, E. (2023, Ekim 11). *Kenevir sapından yapı malzemesi üretildi*. Demirören Haber Ajansı. <https://www.dha.com.tr/foto-galeri/kenevir-sapindan-yapi-malzemesi-uretildi-2325970/1> (23.01.2024)
- Demir, İ., & Elmalı, M. (2020). Organik atıkların yapı malzemesi olarak kullanılabilirliğinin araştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(4), 1303-1311. <https://doi.org/10.21923/jesd.781554>
- Demirbek, D.M. ve Oktav Bulut, M. (2021) Kenevir liflerinin eldesi, özellikleri ve kompozit uygulama alanları. *Bartın University International Journal of Natural and Applied Sciences*, JONAS, 4(2): 176-191
- Demirel, S., Gençaliolu, O., Aslan, M. & Kırıcı, H. (2022). Investigation of some mechanical properties of composite materials made of LDPE and bamboo at two different rates. *Ormancılık Araştırma Dergisi*, Karok 2021, 291-298. DOI: 10.17568/ogmoad.1093439

- Devrim, B. (2023). *Mimarlıkta biyomalzeme kullanımının sürdürülebilirlik üzerine değerlendirilmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi]
- Diasen, (t.y.). *Diathonite Thermactive.037*. <https://www.diasen.com/en/diathonite-thermactive-37/> (29.03.2025)
- Dikmen, Ç.B. (2011). Enerji etkin yapı tasarım ölçütlerinin örneklenmesi. *Politeknik Dergisi*, 14(2), 121-134
- Diz, T. (2023) İZODER Türkiye ısı yalıtımı raporu. *Isı, Su, Ses ve Yangın Yalıtımı Dergisi*. <https://www.izoder.org.tr/dergiler/izoder-164-e-dergi/#book/46> s:45 2458-8008 (07.04.2025)
- Duru, M.O. (2017). *Sürdürülebilirlik ve Enerji Korunumu Bağlamında Ülkemiz Konut Üretiminde Ahşap Malzemenin Önemi*. [Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi]
- Duru, M.O., Koç, İ. (2022). *Mimarlıkta Malzeme, bölüm xv, Mimari Tasarımda Gömülü Karbon Değerinin Azaltılmasında Yapı Malzemesinin Önemi*. (405-434. Ss.). Livre de lyon.
- Duru, M.O. (2024). *Mevcut konutların enerji iyileştirmesinde düşey kabuklar için düşük karbonlu çözüm alternatiflerinin analizi*. [Doktora Tezi, Konya Teknik Üniversitesi]
- Eci (t.y.). *Thermal properties of hemp/flax insulation batt*. <https://www.eci.com.tr/productdetail/hemp-wool-insulation-batt> Erişim: 08.03.2025
- Ecological, (t.y.). *Thermo Hemp Combi Jute*. Ecological Building System. <https://www.ecologicalbuildingsystems.com/product/thermo-hemp-combi-jute#technical-details> (29.03.2025)
- Ekoyapı, (2020, Şubat 01). *En Popüler 9 Biyomalzeme Türü ve Malzemelerin Tasarımda Kullanımı*. Grapido Yayıncılık. <https://www.ekoyapidergisi.org/en-populer-9-biyomalzeme-turu-ve-tasarimda-kullanimi> (18.01.2024)
- Ekoyapı, (2021, Aralık 30). *Sürdürülebilir Mimarinin Temel İlkeleri*. Grapido Yayıncılık. <https://www.ekoyapidergisi.org/surdurulebilir-mimarinin-temel-ilkeleri> (02.02.2024)
- Elsacker E, Vandeloock S, Brancart J, Peeters E, De Laet L. (2019) Mechanical, physical and chemical characterisation of mycelium-based composites with different types of lignocellulosic substrates. *PLoS ONE* 14(7): e0213954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0213954>
- Erdoğan, N.Ş., Koç, İ., ve Duru, M.O., (2024) *mimarlık alanında uluslararası araştırmalar – 1*. (47-76. ss.). Eğitim yayınevi.

- Erdoğmuş, İ. (2005). *Yapıda kullanılan malzemenin sürdürülebilirlik kapsamında oluşum enerjisi açısından incelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]
- Ergün, B. (2022). *Comparative Energy Performance Assessment of Hemp-Clay as Building Block Material*. [Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü]
- Eyüboğlu, H., Yanılmaz, Z. (2023, Aralık 22-24). Yaşayan Yapılar: Bir Yapı Malzemesi Olarak Miselyum. *Ege 10. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi*. İzmir.
- Gabel, E. (2024, August 06). *Mycelium insulation: everything to know about sustainable, fungi-based panels*. Revolutionized. <https://revolutionized.com/mycelium-insulation/> (08.11.2024)
- Gizlenci, A., Acar, M., Yiğen, Ç. ve Aytaç, S. (2019) Kenevir tarımı. Samsun: Karadeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü
- Gramitherm, (t.y.). *The gramitherm process*. Gramitherm Sustainable Grass Insulation. <https://gramitherm.eu/products/?lang=en> (28.03.2025)
- Gutex, (t.y.). *GUTEX Thermowall®-L*. GUTEX Holzfaserplattenwerk H. Henselmann GmbH & Co. KG. <https://gutex.co.uk/product-range/products/product/gutex-thermowall-1/> (30.03.2025)
- Gürel, J. ve Irlı Eryıldız, D. (2021). Ekolojik Yapıların Temel Tasarım Ölçütleri Açısından Değerlendirilmesi. *PEYZAJ- Eğitim, Bilim, Kültür ve Sanat Dergisi*, 3/1 (2021) 1-27
- Harboure, P. (2024, June 05). *Global temperature is likely to exceed 1.5°C above pre-industrial level temporarily in next 5 years*. World Meteorological Organization. <https://wmo.int/news/media-centre/global-temperature-likely-exceed-15degc-above-pre-industrial-level-temporarily-next-5-years> (12.03.2024)
- Mercan, H., (2016). *Yalıtım Sektöründe Pazar Araştırması ve Pazarlama Stratejilerinin İncelenmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Üniversitesi]
- Heraklith, (t.y.). *About Wood Wool*. KnaufInsulation. <https://www.heraklith.com/introducing-our-heraklith-range> (28.03.2025)
- HMONGWIKI. *Sürdürülebilir mimari*, https://tr.hmongwiki.com/wiki/Sustainable_architecture 30.01.2022
- IndiNature, (t.y.). *Natural fibre construction insulation*. Industrial Nature Ltd. <https://www.indinature.co/> (28.03.2025)
- IsoHemp, (t.y.). *By your side, let's accelerate your bio-based projects*. Isohemp Natural Building. <https://www.iso hemp.com/en/our-products> (11.03.2025)

- İslam, Ş. & Bhat, G. (2019). Environmentally-friendly thermal and acoustic insulation materials from recycled textiles. *Journal of Environmental Management*, Volume 251 <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109536>
- İZODER, (2024, 15 Mayıs). *Kamu binalarında enerji tasarrufunun yolu yalıtımdan geçiyor* [Basın bülteni]. Isı, su, ses ve yangın yalıtımcıları derneği.
<https://www.izoder.org.tr/dosyalar/Kamu%20Binalar%C4%B1nda%20Tasarruf%20ve%20Yal%C4%B1t%C4%B1m.pdf> (07.04.2025)
- Karahasan, Z. (t.y.). *Gömülü enerji nedir?* Yeşil Odak.
<https://www.yesilodak.com/gomulu-enerji-nedir> (15.10.2024)
- Kırbyık, E. (2012). *Ses ve ısı yalıtımlı ekolojik yapı malzemelerinin incelenmesi ve trakya bölgesinde yetiştirilen ayçiçeği bitkisinin yalıtım malzemesi olarak araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi]
- Kısa Ovalı, P. & Delibaş, N. (2016). Yerel mimarinin sürdürülebilirliği kapsamında Kayaköy'ün çözümlemesi. *MEGARON*, 11(4), 515-529.
- Koç, E., Kaya, K. 2015. "Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu," *Mühendis ve Makina*, cilt 56, sayı 668, s. 36-47.
- Koç, İ., Duru, M. O. ve Dinçer, S. G., (2022). Yapılarda gömülü ve kullanım enerjisi kavramlarının yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD) metodolojisiyle irdelenmesi. *Bâb Mimarlık ve Tasarım Dergisi*. 3 (1), s. 55-69.
- Koçak, A.B., (2022) *Borlu Bileşikler ile Katkılanmış Kenevir Liflerinin Yalıtım Amaçlı Yapı Malzemesi Üretiminde Kullanılabilirliğinin Araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi, Yozgat Bozok Üniversitesi]
- Kokulu, N., (2016). *Sağlıklı Yapı Tasarımında Malzeme Seçim Kriterlerinin Değerlendirilmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]
- Köktürk, G., Yaman, Y. Ve Tokuç, A., (2022). Ankara İkliminde Biyokütle Üreten Bir Cephe Elemanının Enerji, Aydınlatma ve Isıl Konfor Üzerine Etkisinin Parametrik Analizi. *Eksen Dokuz Eylül Üniversitesi Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 3(1), 20-33.
- Kulaksızoğlu, Z., (2006). *Isı Yalıtım Sektör Araştırması*. İstatistik Şubesi Raporu.
- Kumar, R. Ganguly, A. Purohit, R. (2023). Properties and applications of bamboo and bamboo fibre composites. *Materials Today: Proceedings* ISSN 2214-7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.08.162>.
- Kutbay, N.H., (2022) *Miselyum ile Geliştirilen Biyokompozit Malzemelerin Analizi ve Kullanım Alanlarının Değerlendirilmesi*. [Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi]
- Kürüm Varolgüneş, F., (2021). Yerel/vernaküler mimarinin sürdürülebilirlik bağlamında değerlendirilmesi: Geleneksel bingöl konutları örneği. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 14(76), 286-300.

- Magwood, C., Ahmed, J., Bowden, E., Racusin, J. (2021). Achieving real net-zero emission homes: Embodied carbon scenario analysis of the upper tiers of performance in the 2020 Canadian National Building Code
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü, (t.y.). *Enerji kaynakları ve elektrik*. T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. <https://www.mgm.gov.tr/genel/sss.aspx?s=enerjikaynaklari> (18.01.2025)
- Oktav Bulut M. ve Elibüyük U. (2017). Yengeç kitininden kitosan üretimi. *Erzincan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2017, 10(2), 213-219
- Olier, C.A.G., Koneo, J.E.G. & Beltran, K.T. (2024). Analysis of insulation panels made from agro-industrial waste for reducing heat transfer in colombian coastal cities: case study of the city of barranquilla. *Journal of Natural Fibers*, 21(1), <https://doi.org/10.1080/15440478.2024.2306130>
- Oran Kalkınma Ajansı (2019). Kenevir Yetiştiriciliği.
- Özmehmet, E. (2007). Avrupa ve Türkiye'deki sürdürülebilir mimarlık anlayışına eleştirel bir bakış. *Journal of Yasar University*, 2(7), 809-826.
- Özurgancı Eşkin, P. (2019, Kasım 01) *Sürdürülebilirlik Nedir?* Ekolojist.net <https://ekolojist.net/surdurulebilirlik-nedir/>
- Pedergrnana, M. (2023, Mart 20). *Yalıtım odaklı kenevir betonu uygulamasına apartman ölçeğinde güncel örnek*. Doğal Yapı Malzemeleri ve Yöntemleri Derneği. <https://www.dymd.org.tr/2023/03/20/yalitim-odakli-kenevir-betonu-uygulamasina-apartman-olceginde-guncel-ornek/> (28.01.2024)
- Penaloza, D., Erlandsson, M. & Falk, A. (2016). Exploring the climate impact effects of increased use of bio-based materials in buildings. *Construction and Building Materials*, 125(2016), 219-226. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.08.041>
- Pittau, F., Krause, F., Lumia, G. & Habert, G. (2018). Fast-growing bio-based materials as an opportunity for storing carbon in exterior walls. *Building and Environment*, 129 (2018), 117-129
- Raja, P., Murugan, V., Ravichandran, S., Behera, L., Mensah, R.A., Mani, S., Kasi, A., Balasubramanian, K., Sas, G., Vahabi, H., & Das, O. (2023). A Review of Sustainable Bio-Based Insulation Materials for Energy-Efficient Buildings. *Macromolecular Materials and Engineering*. <https://doi.org/10.1002/mame.202300086>
- Rathod, S. Parab, A. Tamkhane, A. Neharkar, A. Patil, A. & Gayake, P. (2022). A Comparative Study of Bamboo Reinforced Vs Steel Reinforced Concrete Structure. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering*

Technology (IJRASET), ISSN: 2321-9653; IC Value: 45.98; SJ Impact Factor: 7.538 Volume 10 Issue XII Dec 2022
DOI: <https://doi.org/10.22214/ijraset.2022.48070>

- Sarıay, E., Cörüt, A. ve Büyükakıncı, B.Y. (2023). Miselyum Kompozitlerinin Sürdürülebilir Yapı Malzemesi Olarak Kullanımı. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 14(1): 196-207.
<https://doi.org/10.29048/makufebed.1228676>
- Schröder, S. (n.d.). *Bamboo provides biomass for the production of renewable energy*. Guadua Bamboo. <https://www.guaduabamboo.com/blog/bamboo-provides-biomass-for-the-production-of-renewable-energy> (18.02.2024)
- Şenel, A. (2010). *Sürdürülebilir bina yapım ilkelerinin ve yeni yaklaşımların incelenmesi*. (Yayın no:283626) [Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi.]
- Şimşek, Z., (2019). Konut Yapılarında Kullanılan Isı Yalıtım Malzemelerinin İncelenmesi. *Technological Applied Sciences (NWSATAS)*, 14(4):147-162, DOI:10.12739/NWSA.2019.14.4.2A0177.
- Taşcı, B. & Pekdoğan, T. (2015, Mayıs 28-30). *Sürdürülebilirlik bağlamında kırsal alanlarda geleneksel konut mimarisinin irdelenmesi: Kozbeyli örneği*. Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Tatar, E. (2013). Sürdürülebilir Mimarlık Kapsamında Çalışma Mekanlarında Gün Işığı Kullanımı İçin Bir Öneri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 17(1). 147-162.
- Tazeoğlu Filiz, F. ve Yıldırım, Ö. (2023, Nisan 27-28). Miselyum Bazlı Biyokompozitlerin Ürün Tasarımında Kullanımı. *5. Uluslararası Sanat ve Tasarım Eğitimi Sempozyumu*. Ankara.
- Thermafleece, (t.y.) *Thermafleece UltraWool*. Eden Renewable Innovations Ltd 2024. <https://thermafleece.com/product/thermafleece-ultrawool-high-density-sheeps-wool-insulation> (31.03.2025)
- ThermoCork (t.y.). *ThermaCork Environmental Product Declaration*. <https://www.thermacork.com/thermacork-epd> (30.03.2025)
- Thermo-Hanf. (t.y.). *Thermo Hanf®Combi Jute Insulation Mats*. Hemp Flex. <https://www.thermo-hanf.de/en/products/thermo-hemp-combi-jute-insulation-mat/> (29.03.2025)
- TÜİK, (2024, Haziran 05). *Sera Gazı Emisyon İstatistikleri, 1990-2022*. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Sera-Gazi-Emisyon-Istatistikleri-1990-2022-53701> (06.04.2025)

- Ünlü Çelebi, G., Gültekin, A.B., Ulukavak Harputlugil, G., Bedir, M., ve Tereci, A. (2008, Ocak). *Yapı-çevre ilişkileri seminer notları*.
- Vural Grimoux, Ç.S. (2024), *Prefabrik, Ahşap ve Betonarme Konutların Karşılaştırmalı Yaşam Döngüsü Analizi*. [Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi]
- Xia, Q., (2024). Utilizing mycelium-based materials for sustainable construction. *Applied and Computational Engineering*, 63(1):10-15. DOI: 10.54254/2755-2721/63/20240967
- Yadav, M., ve Agarwal, M. (2021). Biobased building materials for sustainable future: An overview. *Materials Today: Proceedings*, 43, 2895–2902. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.165>
- YAPI. *Dünyanın çok farklı coğrafyalarından seçilen, farklı işlevlerde ve farklı çevresel yaklaşımlarla tasarlanıp inşa edilen 5 sürdürülebilir proje*. <https://yapidergisi.com/surdurulebilir-mimari-cozumler/> 30.01.2022
- Yeşilyurt, E. (2008). *Biyoloji temelli bilimsel kuramlar ile mimari tasarım ilişkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]
- Yıldız, B. (2022). *Bitkisel esash yapı malzemelerinin mimaride kullanımı ve ekolojik bağlamda değerlendirilmesi*. [Yüksek Lisans Tezi, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi]
- Yılmaz, Ö. (2023, Kasım 27). *Yaşam Döngüsü Analizi (YDA) Nedir? Amaç, Önem, Metodoloji*. Ankara. [Teknik destek projesi].
- Yöney, E.G. (2019). *Karasal ve Akdeniz İklimlerinde Doğal Duvar Malzemelerinin Enerji Tüketimi Üzerine Etkisi*. [Yüksek Lisans Tezi, İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü]
- WIKİPEDIA. (t.y.). *Sürdürülebilir Mimari*. https://tr.wikipedia.org/wiki/S%C3%BCrd%C3%BCr%C3%BClebilir_mimari 31.01.2022
- Wilton, O. ve Howland, M. B. (2020). Cork Construction Kit. *Journal of Architecture*, 25(2), 138–165. <https://doi.org/10.1080/13602365.2020.1733812>
- URL-1 https://tr.wikipedia.org/wiki/%C4%B0klim_de%C4%9Fi%C5%9Fikli%C4%9Fi (15.03.2024)
- URL-2 <https://350turkiye.org/parisionayla> (12.03.2024)
- URL-3 <https://www.saint-gobain.com.tr/surdurulebilirlik/daha-dusuk-gomulu-karbon-emisyonlari> (18.01.2025)
- URL-4 <https://www.dalmacyali.com.tr/isi-yalitim-rehberi/isi-yalitimi-faydalari-nelerdir> (03.09.2024)

- URL-5 <https://www.teknopanel.com.tr/tr-tr/urun-detay/binalarda-isi-yalitimi-isi-yalitim-terimleri> (03.09.2024)
- URL-6 <https://www.greenspec.co.uk/building-design/woodfibre-insulation-intro/> (23.07.2024)
- URL-7 <https://www.steico.com/en/solutions/product-advantages/steico-insulation-materials> (13.11.2024)
- URL-8 <https://interaktif.trthaber.com/2019/kenevir/> (02.02.2024)
- URL-9 <https://www.filofibra.com.tr/tr/blog/kenevir-lifi-uretimi-endustriyel-kullanimi> (13.02.2024)
- URL-10 <https://tr.wikipedia.org/wiki/Kendir> (02.02.2024)
- URL-11 <https://samanevim.com/index.php> (28.01.2024)
- URL-12 https://newatlas.com/urban-algae-canopy-milan-expo/37480/#gallery:10?itm_source=newatlas&itm_medium=article-body (09.05.2024)
- URL-13 https://beyond.iaac.net/project/21_urban-algae-canopy/ (09.05.2024)
- URL-14 <https://www.bbc.com/turkce/haberler-dunya-51120658> (12.03.2024)

EKLER

EK-1 Gömülü karbon hesabında kullanılan ısı yalıtım malzemeleri EPD belgeleri.



Environmental Product Declaration In accordance with ISO 14025 and EN 15804:2012+A2:2019 for: Thermafleece Cosywool, Ultrawool from Eden Renewable Innovations Limited therma fleece Renewable Wool Innovations Programme: EPD registration number: S-P-04468 Publication date: 2021-11-01 Valid until: 2026-10-31 The International EPD® System, www.environdec.com EPD International AB S-P-04468 2021-11-01 2026-10-31 An EPD should provide current information and may be updated if conditions change. The stated validity is therefore subject to the continued registration and publication at www.environdec.com 	 IndiBreathe:Flex® Product LCA																								
Ryder  IndiNature: IndiTherm® Product LCA	Environmental Product Declaration according to ISO 14025 and EN 15804 MRPI milieu relevante product informatie This declaration is for: Heraklith, Heratekta Provided by: Knauf Insulation SPRL  program operator Stichting MRPI® publisher Stichting MRPI® www.mrpi.nl MRPI® registration 1.1.00100.2020 date of first issue 21-02-2020 date of this issue 21-02-2020 expiry date 21-02-2025																								
Environmental Product Declaration according to ISO 14025 and EN 15804 MRPI milieu relevante product informatie This declaration is for: Heraklith, Tektalan Provided by: Knauf Insulation SPRL  program operator Stichting MRPI® publisher Stichting MRPI® www.mrpi.nl MRPI® registration 1.1.00101.2020 date of first issue 21-02-2020 date of this issue 21-02-2020 expiry date 21-02-2025	LIÈGE université Faculté des Sciences Appliquées Chemical Engineering PEPs - Products, Environment, and Processes Prof. Angélique Léonard PEPs PRODUCTS ENVIRONMENTAL ENGINEERING GRAMITHERM® Sustainable Grass Insulation  Complément à la B-EPD 23.0183.001 Panneaux Gramitherm® 100 GUIDE DE LECTURE Format d'affichage Pour des raisons pratiques, la notation pour les nombres est la convention anglo-saxonne : - le séparateur pour les décimales est le point "." - le séparateur pour les milliers est la virgule "," Dans les tableaux suivants 2.532 E-06 doit être lu : 2.532 x 10⁻⁶ (écriture scientifique). Les valeurs sont présentées avec quatre chiffres significatifs. Abréviations Voir la B-EPD pour la description des impacts "ressources" <table> <tbody> <tr> <td>ACV</td> <td>Analyse du cycle de vie</td> </tr> <tr> <td>B-EPD</td> <td>Belgium-Environmental product declaration</td> </tr> <tr> <td>EPD</td> <td>Environmental product declaration</td> </tr> <tr> <td>PE RE</td> <td>Primary energy content - renewable - used for energy</td> </tr> <tr> <td>PE RM</td> <td>Primary energy content - renewable - used as raw material</td> </tr> <tr> <td>PE RT</td> <td>Primary energy content - renewable - total</td> </tr> <tr> <td>PR NRE</td> <td>Primary energy content - non renewable - used for energy</td> </tr> <tr> <td>PE NRM</td> <td>Primary energy content - non renewable - used as raw material</td> </tr> <tr> <td>PE NRT</td> <td>Primary energy content - non renewable - total</td> </tr> <tr> <td>SM</td> <td>Secondary material</td> </tr> <tr> <td>RSP</td> <td>Use of renewable secondary fuels</td> </tr> <tr> <td>NRSF</td> <td>Use of non renewable secondary fuels</td> </tr> </tbody> </table>	ACV	Analyse du cycle de vie	B-EPD	Belgium-Environmental product declaration	EPD	Environmental product declaration	PE RE	Primary energy content - renewable - used for energy	PE RM	Primary energy content - renewable - used as raw material	PE RT	Primary energy content - renewable - total	PR NRE	Primary energy content - non renewable - used for energy	PE NRM	Primary energy content - non renewable - used as raw material	PE NRT	Primary energy content - non renewable - total	SM	Secondary material	RSP	Use of renewable secondary fuels	NRSF	Use of non renewable secondary fuels
ACV	Analyse du cycle de vie																								
B-EPD	Belgium-Environmental product declaration																								
EPD	Environmental product declaration																								
PE RE	Primary energy content - renewable - used for energy																								
PE RM	Primary energy content - renewable - used as raw material																								
PE RT	Primary energy content - renewable - total																								
PR NRE	Primary energy content - non renewable - used for energy																								
PE NRM	Primary energy content - non renewable - used as raw material																								
PE NRT	Primary energy content - non renewable - total																								
SM	Secondary material																								
RSP	Use of renewable secondary fuels																								
NRSF	Use of non renewable secondary fuels																								

Güncel ısı yalıtım malzemeleri EPD belgeleri
(EPD belgesini açmak için görselin üzerine tıklayınız.)

epd-norge Bouw program operator Environmental product declaration In accordance with 14025 and EN15804+A2 JACKPOR EPS NORWAY  BEWI Owner of the declaration: Bewi Insulation Scandinavia Product: JACKPOR EPS NORWAY Declared unit: 1 m² This declaration is based on Product Category Rules: CEN Standard EN 15804:2012+A2:2019 serves as core PCR NPCR 012:2022 Part B for thermal insulation products Program operator: The Norwegian EPD Foundation Declaration number: NEPD-4452-3704-EN Registration number: NEPD-4452-3704-EN Issue date: 08.05.2023 Valid to: 08.05.2028	epd-norge Bouw program operator Environmental product declaration In accordance with 14025 and EN15804+A2 JACKOFOAM XPS NORWAY  BEWI Owner of the declaration: Bewi Insulation Scandinavia Product: JACKOFOAM XPS NORWAY Declared unit: 1 m² This declaration is based on Product Category Rules: Program operator: The Norwegian EPD Foundation Declaration number: NEPD-4437-3687-EN Registration number: NEPD-4437-3687-EN
Berger External Thermal Insulation & Composite Systems (ETICS) Environmental Product Declaration ISO 14020:2000, ISO 14025:2006, ISO 14040:2006, ISO 14044:2006, EN 15804:2012  EPD registration number: S-P-01418 Publication date: 2020-08-04 Validity date: 2025-08-03 Geographical scope: India	ENVIRONMENTAL PRODUCT DECLARATION In accordance with ISO 14025, ISO 21930 and EN 15804+A2 for: CLASSIC 037, Expert IPR 037, KI FIT 037, NATUROLL 037, ULTRACOUSTIC R, ULTRACOUSTIC, UNIFIT 037, TI 140W, TP 416 ACOUSTIFIT with ETechnology® From knaufINSULATION  Program: The International EPD® System www.epdint.org Programme operator: EPD International AB EPD registration number: S-P-04975 Publication date: 2021-10-22 Validity date: 2026-10-22